

## **DINAMICA EROSIVA DEL PIPING: UN EJEMPLO EN LA DEPRESION DEL EBRO**

**Fco. Javier Gracia Prieto\***

### **RESUMEN**

*En el área de las Bardenas se reconocen varios procesos de erosión hídrica, como son arroyada, reguerización, acarcavamiento y formación de barrancos con secciones en V y en U. A estos últimos están asociadas numerosas formas de piping, que señalan una gran actividad de la erosión subsuperficial.*

*Se propone una clasificación para estas morfologías, así como un ciclo erosivo para el piping. También se contempla la incidencia antrópica de este tipo de erosión en el área.*

### **ABSTRACT**

*In the Bardenas region we recognize some hydric erosion processes, as follows: sheet-wash and runoff, rilling, badlanding and forming of gullies with V and U section. This last type is relationed with certain piping forms, that indicate the importance of the subsurface erosion at these points.*

*We propose a classification for those forms, and an erosional cycle of piping. The anthropic incidence of this erosion type in the area is also considered.*

\* Departamento de Geomorfología y Geotectónica. Facultad de Ciencias. Zaragoza. El trabajo forma parte de la Tesis de Licenciatura del autor.

El piping, sufosión o pseudokarst (según la terminología usada por diversos autores) es un fenómeno erosivo ampliamente representado en toda la Depresión del Ebro. En este sentido, son varios los autores que ya han señalado su importancia en la región: MENSUA e IBÁÑEZ (1975), GALLART (1979), RODRIGUEZ (1983), GUTIERREZ y RODRIGUEZ (1984), y SANCHO (1984).

En el presente trabajo estudiaremos la dinámica general del piping como proceso erosivo de primer orden, centrándonos en el área de las Bardenas orientales como región especialmente afectada por este fenómeno. Esta zona se localiza (figura 1) en la Depresión del Ebro, al este de la provincia de Navarra, en su límite con la de Zaragoza. Climáticamente presenta un carácter semiárido.

La geología del área consiste en una serie de materiales de estructura tabular, sucesivamente más jóvenes hacia el sur, desde las areniscas en paleocanales de los montes de Sádaba, hasta las calizas y margas de la Bardena Negra, en la mitad meridional de la zona. Todos estos materiales presentan una edad miocena (CASTIELLA et al., 1978).

Geomorfológicamente domina el modelado tipo glacis, cuyos depósitos se encuentran frecuentemente encostrados. Estas zonas con desarrollo de caliche (figura 1) presentan una cierta resistencia a la erosión hídrica, y a los efectos se comportan como relieves estructurales.

En la figura 1 se muestra un mapa de formas de erosión hídrica del área, en el que se han representado los dominios de barrancos con secciones en V y U, áreas de intensa reguerización, cárcavas, y zonas afectadas por la erosión debida a la arroyada. También hemos añadido formas de influencia antrópica, como son los bancales artificiales y las áreas de conservación del suelo por cultivo intensivo (desarrolladas sobre terrazas y glacis cuaternarios carentes de encostramiento). La representación de los principales canales de riego y de los tramos de carreteras con taludes laterales tiene como fin señalar los lugares donde la acción del hombre crea una inestabilidad de la vertiente, que puede derivar en una degradación y retroceso de la misma. Desde la cabecera hasta el pie de la vertiente los procesos de erosión hídrica fundamentales en el área son arroyada, reguerización, formación de barrancos con sección en V, y cárcavas en la base, si los materiales aflorantes son suficientemente lábiles.

Finalmente se han señalado los puntos donde los procesos de piping tienen cierto desarrollo. En general se trata de barrancos con sección rectangular o en U, con una baja pendiente y una gran divagación. En ellos, la intensa actividad erosiva del piping origina una gran variedad de formas, cuya evolución es a veces muy rápida. Este tipo de barrancos se encuentra en ambientes muy distintos, desde valles de fondo plano y derrames subactuales hasta niveles recientes de terrazas, etc. Suelen asociarse a depósitos de limos masivos, fácilmente evacuables por erosión subsuperficial.

## 1. Los procesos de piping

Recopilando los datos de CARSON y KIRKBY (1972), JONES (1981) y HIGGINS (1984), podemos indicar que el piping en ambientes secos funciona de la siguiente manera:

La escorrentía superficial es interceptada por las grietas de desecación, galerías animales u otras aberturas, tanto en la vertiente como en un depósito de fondo de valle (glacis, terraza, derrame,...). El agua percola hasta que encuentra una capa de alta porosidad, o una abertura lateral en el subsuelo, o bien es bloqueada por una capa impermeable, o por una capa ya saturada en agua. En general se mueve lateralmente, hacia una pared o escarpe de terraza, o la pared de un barranco, etc. En el punto de surgencia el flujo remueve partículas de arcilla y limo, agrandando la abertura y extendiendo el conducto gradualmente hacia el interior del depósito, como un túnel. El sedimento es arrastrado no sólo en el punto de surgencia, sino a lo largo de todo el conducto, formando una abertura subterránea continua, desde un sumidero hasta la surgencia. El agrandamiento progresivo y el colapso del túnel crea socavones y dolinas (de pseudokarst) y amplía la extensión del barranco, o hace retroceder la vertiente de la terraza, etc.

Según los autores, hay una serie de factores necesarios para que se inicie la actividad erosiva del piping. En la zona estudiada los factores que creemos más importantes son:

- Una lluvia estacional o muy variable, combinada con unas altas temperaturas estivales, carácter típico de un ambiente semiárido.
- Abundancia de sedimentos de grano fino (limos), con zonas relativamente permeables o colectores. En nuestra zona estos colectores suelen ser lentejones de arenas y gravas, incluidos en los depósitos limosos o limoarcillosos de terrazas y de relleno de vales. En este sentido es importante también la presencia de un suelo permeable o profundamente agrietado, o de un sustrato rocoso impermeable que se sitúe por encima del nivel de base local (barranco o escarpe próximo).
- Otros factores secundarios pueden ser la actividad biótica en la generación de galerías, la influencia antrópica en el cultivo de legumbres y otras plantas de raíces profundas, y la textura abierta y contrastada del suelo.

La asociación de estos procesos de erosión subsuperficial con la formación de barrancos y cárcavas es muy común en climas semiáridos. JONES (1981) distingue en este sentido dos tipos básicos de barrancos según los procesos dominantes; i) por erosión en la cabecera debida a la arroyada, y ii) por erosión debida a un socavamiento subsuperficial ("tunnel-gullies"), colapsos de piping, etc. Este segundo tipo, que coincidiría con el que nosotros hemos designado como de sección en U, alcanza un desarrollo espectacular en casi todas las vales de la zona estudiada. Se localizan en áreas donde

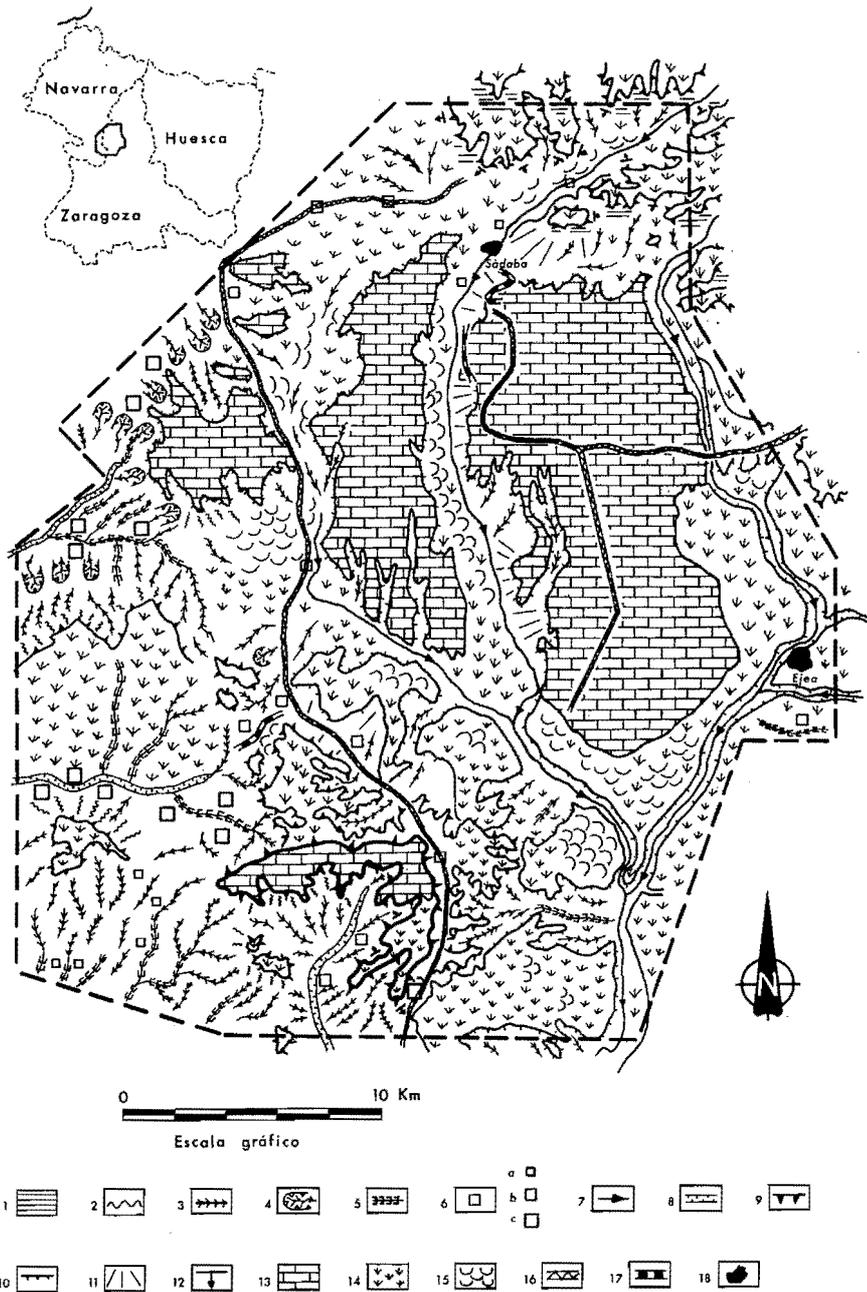
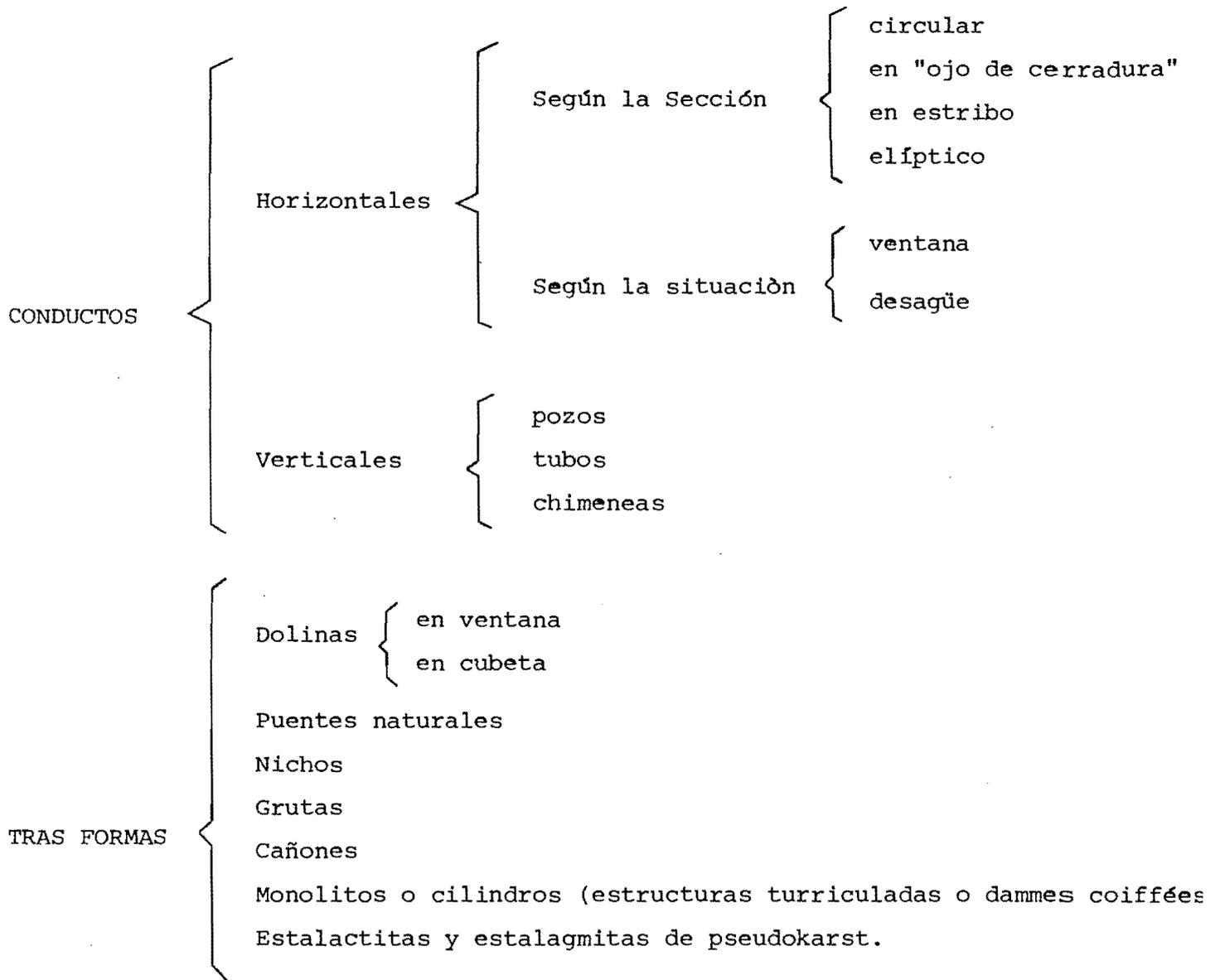


Figura 1

Mapa de formas de erosión hídrica de la zona estudiada. LEYENDA: 1.- Zona con influencia de la arroyada. 2.- Área con reguerización dominante. 3.- Área de barrancos con sección en V. 4.- Área de acarcavamiento. 5.- Área de barrancos con sección en U. 6.- Foco de piping; a) presente; b) muy activo; c) dominante. 7.- Corriente fluvial permanente. 8.- Corriente fluvial intermitente (rambla). 9.- Escarpe estructural. 10.- Escarpe de depósitos cuaternarios. 11.- Vertiente regularizada. 12.- Movimientos de masas en vertiente. 13.- Área con costra calcárea desarrollada. 14.- Zona llana de cultivo intensivo. 15.- Área de bancales antrópicos. 16.- Canal de riego. 17.- Carretera o ferrocarril con trincheras laterales. 18.- Núcleo de población.

PIPING EN LA DEPRESION DEL EBRO



CUADRO 1.- Clasificación de las formas de piping encontradas en el área de Las Bardenas.

el suelo está pobremente desarrollado (menos de 10 cms, de potencia), presentando normalmente una costra superficial endurecida, de 4-5 cm. de espesor, debida a la meteorización de los materiales margoarcillosos y a la sustentación por raíces.

Las cabeceras de estos barrancos muestran escarpes y paredes verticales. El socavamiento en la base de las paredes del canal y la existencia de la citada costra superficial son factores que ayudan a que esta verticalidad se mantenga. En otros puntos el retroceso de los escarpes se realiza por colapsamiento de pipes o conductos.

Dichos barrancos o "tunnel-gullies", constituyen auténticos "focos de piping", donde el progreso de conductos o túneles de pseudokarst es especialmente intenso. En el área de estudio este tipo de incisiones se localiza preferentemente en los fondos de vales, afectando a derrames holocenos y a depósitos de vertiente. En estos focos aparecen una gran variedad de formas de todo tipo y de tamaño variable, debidas a la actividad morfogenética del piping. Hemos creído conveniente clasificarlas, distinguiendo dos grupos generales de formas: las que tienen una configuración en canal cerrado (conductos) de las que no presentan este carácter (ver cuadro 1). A continuación pasamos a describir las diferentes morfologías observadas.

– *Conductos horizontales*. Su tamaño es variable, desde pocos centímetros hasta túneles de gran abertura (diámetro de hasta 1 m.). En la zona estudiada hemos observado que la relación longitud/diámetro no suele ser mayor de 20. Dentro de su clasificación hemos tomado la distinción que hace CANO (1975) entre conductos situados en las partes superiores de los taludes (ventanas), de los que se encuentran en la base de los mismos (desagües). Domina el primer tipo. Los pipes con sección en ojo de cerradura (foto 1), ya citados por GUTIERREZ y RODRIGUEZ (1984), se originan preferentemente en puntos con una anisotropía marcada de la permeabilidad, donde se favorece el drenaje subsuperficial en las partes bajas del conducto.

Es relativamente común encontrar pipes horizontales ocupados por aves y otros organismos. Otras veces, los microporos de origen biótico funcionan durante las tormentas como verdaderos pipes.

– *Conductos verticales*. Son mucho más abundantes que los anteriores, y con dimensiones también muy variables. Los *pozos* (GALLART, 1979) son conductos que se interrumpen súbitamente, debido a que el túnel ha llegado a un nivel rocoso impermeable, o a un lentejón de gravas, etc., con lo que el drenaje se continúa en la horizontal. Los *tubos* son túneles abiertos por ambos extremos, describiendo un trazado curvo, y terminando en un conducto horizontal (desagües, normalmente). Por lo general la sección del conducto aumenta en el sentido del flujo. Las *chimeneas* (CANO, 1975) son un caso especial de tubos incompletos, puestos al descubierto por el desplome de las paredes del talud (foto 2).

## PIPING EN LA DEPRESION DEL EBRO

La abundancia de todos estos conductos verticales se debe a los fuertes gradientes hidráulicos generados en las paredes de los barrancos.

– *Dolinas*. No alcanzan las dimensiones de sus equivalentes kársticos. La relación profundidad/anchura no suele ser mayor de 5, y dominan las depresiones con paredes verticales (dolinas en ventana). Estas últimas tienen su origen en el colapso de una masa de material intensamente afectado por piping, que ha llegado a la inestabilidad. La caída de los bloques se efectúa aprovechando conductos verticales preexistentes, que tras el desplome quedan como chimeneas. El fondo suele ser plano, y en él desembocan numerosos desagües, restos de pipes horizontales anteriores (foto 2), que facilitan la evacuación del material desprendido.

– *Puentes naturales*. Tienen dimensiones muy variables, con aberturas de hasta 2 m. (foto 3). Su origen puede ser múltiple, desde la progresión de pipes horizontales que unen dos dolinas próximas, hasta la formación de colapsos alineados a lo largo de un mismo conducto horizontal.

– *Nichos*. Como ya cita GALLART (1979), a veces son éstas las únicas formas pseudokársticas presentes en un determinado punto. Se trata de pequeños circos originados por desplome de un escarpe inicial, que van retrocediendo y ampliando su tamaño.

– *Grutas*. Son galerías tubulares de sección considerable (0,5–2 m.), y corto recorrido. Es típica la presencia de bóvedas, paredes verticales y fondos planos, lo que las diferencia de los conductos horizontales de gran tamaño. En su fondo suelen desarrollarse pequeños canales someros, así como abundantes grietas de retracción en los sedimentos arcillosos.

– *Cañones*. Término utilizado por GALLART (1979), corresponden a barrancos con sección en U. Muchas veces resultan del anastomosamiento y captura de dolinas. En ocasiones funcionan como auténticos valles ciegos, interrumpiéndose su recorrido bruscamente, con lo que el flujo pasa a circular en profundidad.

– *Monolitos o cilindros*. (CANO, 1975). Se trata de estructuras turriculadas o “dammes coiffées”, de forma y tamaño variables. Constituyen pequeños relieves residuales originados por el colapso de los materiales circundantes.

– *Estalactitas y estalagmitas de pseudokarst*. Suelen tener tamaños centimétricos. Se componen de barros arcillosos desecados, y son comunes en las paredes verticales de los cañones.

## 2. Dinámica erosiva del piping

Hemos realizado un análisis más detallado de un foco de piping, localizado en la vertiente sudoriental de la Plana de la Negra, al sur de la zona de estudio (figura 2). Se trata de una serie de barrancos con sección en U

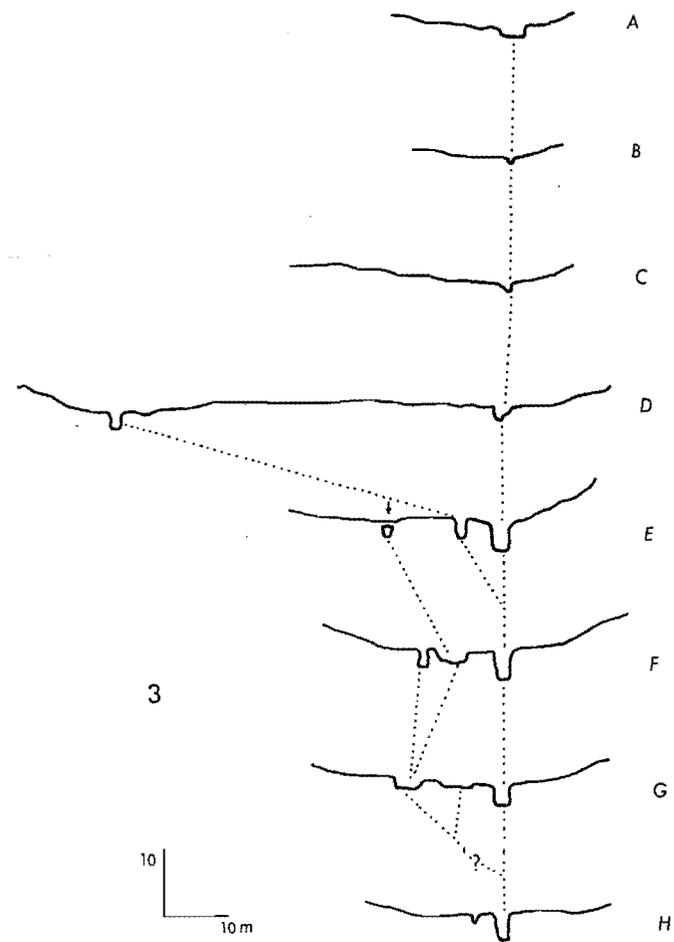
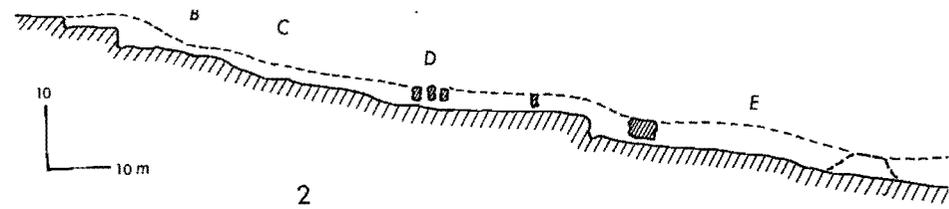
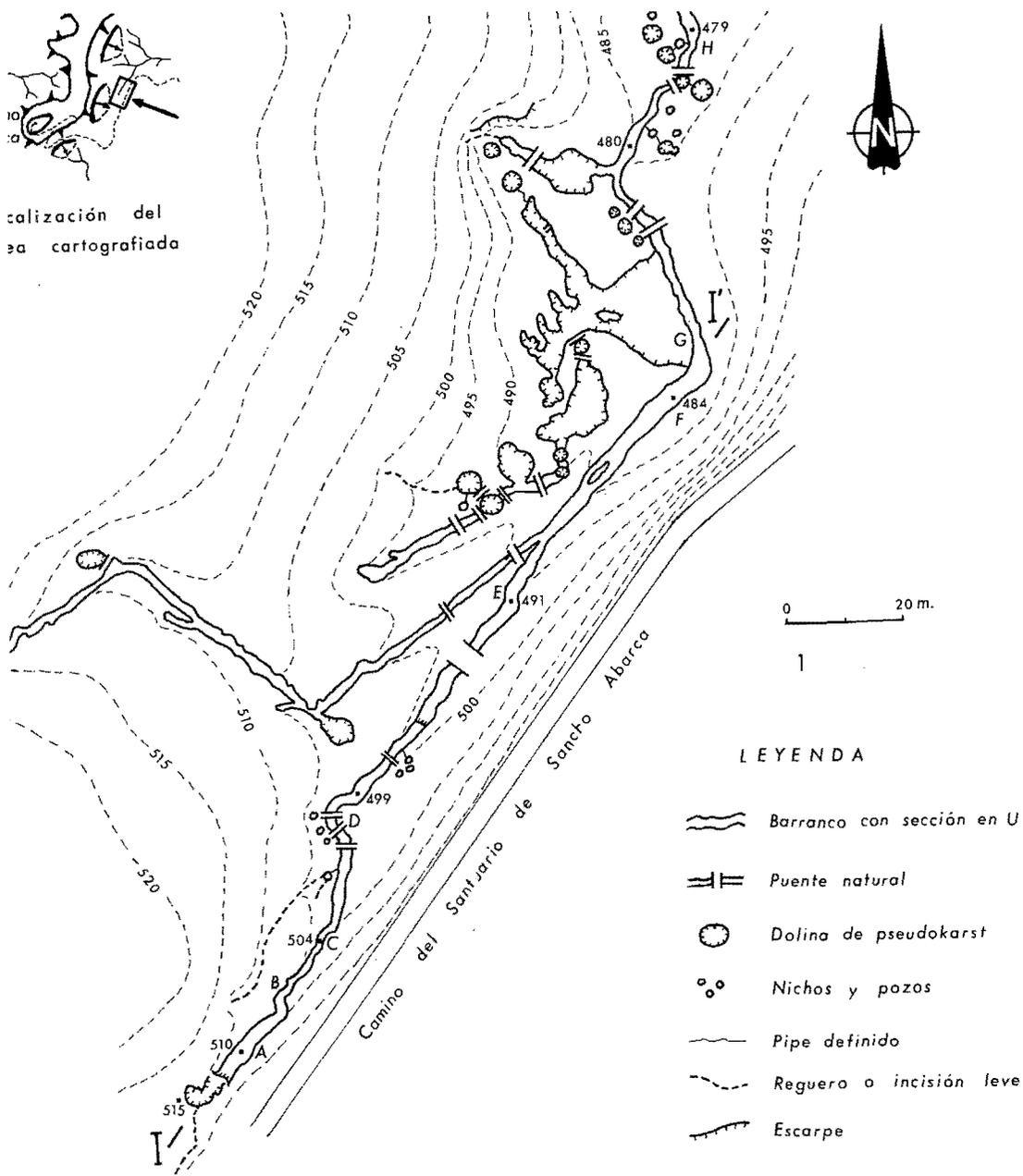


Figura 2

Modelado de incisión de la zona-tipo elegida. 1.- Cartografía geomorfológica (las curvas de nivel se han trazado de forma aproximada). 2.- Corte longitudinal del

que confluyen para formar finalmente un barranco con sección en V. La creación de cañones de piping en este punto viene controlada por la potencia y naturaleza de los depósitos de vertiente sobre los que se instala (unos 2 m. de limos con hiladas conglomeráticas), y del sustrato (alternancia de calizas y lutitas). Topográficamente se sitúa en una hombrera de la vertiente.

En la figura 2.1. vemos que, como hemos comentado anteriormente, la formación de cañones a veces se sitúa en la captura y anastomosamiento de dolinas. La figura 2.2. muestra el perfil longitudinal de uno de los barrancos, donde se observan escalones, formados por erosión diferencial de calizas y arcillas, y puentes naturales. En la figura 2.3. puede apreciarse entre los cortes G y H cómo uno de los barrancos se interrumpe, realizándose la conexión con el barranco principal mediante flujo subsuperficial.

En el barranco principal hemos observado que los conductos verticales son sucesivamente más abundantes conforme el cañón aumenta su profundidad. El lecho es únicamente utilizado por el agua de escorrentía durante las tormentas más fuertes, ya que por lo general circula por la red de conductos del subsuelo. Esto se manifiesta por un progresivo aumento de la vegetación en el lecho aguas abajo (a la altura del punto F de la figura 2.1. aparecen ya formas arbóreas de tamaño considerable, lo cual es indicativo de la poca funcionalidad del canal como colector del flujo superficial).

Sin duda es el piping el fenómeno erosivo en rocas incoherentes más extendido en toda la zona. La existencia de cualquier pequeño escarpe en un depósito de limos, arcillas o margas, inmediatamente pone en funcionamiento los mecanismos de erosión y transporte subsuperficial, y con ellos la degradación de la vertiente y el retroceso del escarpe. Por otra parte, colabora con las demás formas de erosión hídrica en el proceso general de evacuación de materiales en las laderas. Es relativamente común encontrar regueros que presenten pequeños puentes naturales, conductos horizontales, etc. En sí mismo, el piping puede llegar a suponer, en algunos casos, una forma de movilización de importantes cantidades de masa rocosa en vertientes (la formación de una dolina en ventana de tamaño medio supone la evacuación de más de 25 m<sup>3</sup> de roca). En menos de un año hemos tenido ocasión de observar la formación de una pequeña depresión de 25–30 cm. de diámetro por 50–60 cm. de profundidad, en las proximidades del Barranco de Tudela. La alta proliferación de estas formas y su velocidad de formación nos hablan de su gran importancia en la transformación del paisaje.

A continuación vamos a exponer brevemente los pasos principales en la creación y desarrollo de un hipotético foco de piping.

Partimos de la existencia de un escarpe en materiales lábiles. Durante una tormenta, el agua percola por las grietas de desecación, e inicia la erosión subsuperficial en dirección al nivel de base más próximo, reguero o barranco. Se generan así inicialmente pequeños socavones y nichos en las proximidades de los taludes del barranco, así como surgencias y conductos.

## PIPING EN LA DEPRESION DEL EBRO

La progresión de estas formas acentúa la verticalidad de las paredes del barranco y el retroceso de sus escarpes. Paralelamente, en las cercanías del canal las depresiones y socavones crecen en tamaño por formación de tubos y posterior hundimiento. Se crean así dolinas y galerías de pseudokarst, que facilitan el drenaje subsuperficial, acelerando los procesos de piping alrededor del cañón. Mientras todos estos fenómenos sigan actuando, el canal irá ampliando su lecho, llegándose a formar incluso barrancos de segunda generación en el interior del primitivo cañón. De aquél quedarán como únicos testigos los monolitos y cilindros residuales, que se irán degradando por erosión superficial (arroyada y reguerización).

Si no se originan barrancos de segunda generación, el aspecto final del área afectada será el de una zona amplia y llana, sobre la que resaltan algunas "dammes coiffées" y pequeños domos arcillosos agrietados y reguerizados (restos de monolitos en vías de desaparición). A su alrededor quedarán pequeños regueros de fondo plano y barrancos de dimensiones decimétricas, que ya suponen el inicio de un nuevo ciclo de piping.

Esta idea de inversión del relieve dentro de un ciclo de piping ha sido ya considerada por HEEDE (1974), quien lo asimila al ciclo kárstico. CANO (1975) postula una hipótesis semejante, aplicada a las torcas del campo de Guadix.

### 3. El factor antrópico. Prevención

Un uso incorrecto de la tierra y de las técnicas adecuadas de conservación del suelo pueden desencadenar la erosión subsuperficial. En las labores de arado de tierra los agricultores de esta comarca trazan los surcos preferentemente perpendiculares al sentido de la pendiente. Con esto se frena la arroyada, pero se facilita la infiltración. Las fincas situadas cerca de escarpes en arcillas o limos (como sucede en el valle del Bco. de Tudela) sufren así colapsos de piping. En otras áreas se recurre a la construcción de bancales y aterrazamientos, pero el mal cuidado de estas estructuras colabora nuevamente a que se intensifiquen los procesos de piping. En los alrededores de Sabinar, todos los canales artificiales construidos sobre bancales presentan conductos horizontales en sus paredes. También influye en este área el sobrerriego generalizado, que supone percolación del agua sobrante y creación de túneles incluso en los escarpes más pequeños.

Por otra parte, debemos destacar la importancia de la construcción de obras de ingeniería como desencadenante de estos procesos erosivos. Las trincheras abiertas sobre materiales limoarcillosos crean gradientes hidráulicos repentinos que ponen en funcionamiento los fenómenos de erosión subsuperficial. Esto es lo que sucede en los taludes abiertos para la instalación del canal de riego de Tauste, construido en 1954 dentro del Plan Bardenas de Riego, a cargo del M.O.P. En estos últimos treinta años algunos de sus tramos han sufrido retrocesos del escarpe de 2-3 m., como sucede en las proximidades de Sádaba (foto 4).

FCO. JAVIER GRACIA PRIETO

Los métodos más efectivos para detener la dinámica del piping son, según SELBY (1982) y JONES (1981): la destrucción de los conductos existentes; el relleno de las grietas superficiales; el tratamiento químico del suelo (bien para prevenir el agrietamiento, mediante sulfato amónico, o bien aplicando el efecto de "limado" de suelos con un gran contenido en sodio, para reducir su dispersión); disminuir la porosidad de la capa superficial del suelo e incrementarla en las capas inferiores; disminuir el sobrerriego, y plantar árboles de raíces profundas, que favorezcan la evapotranspiración y reduzcan la cantidad de agua subsuperficial. A excepción de este último, no tenemos noticia de que ninguno de estos métodos haya sido aplicado en el área.

## PIPING EN LA DEPRESION DEL EBRO

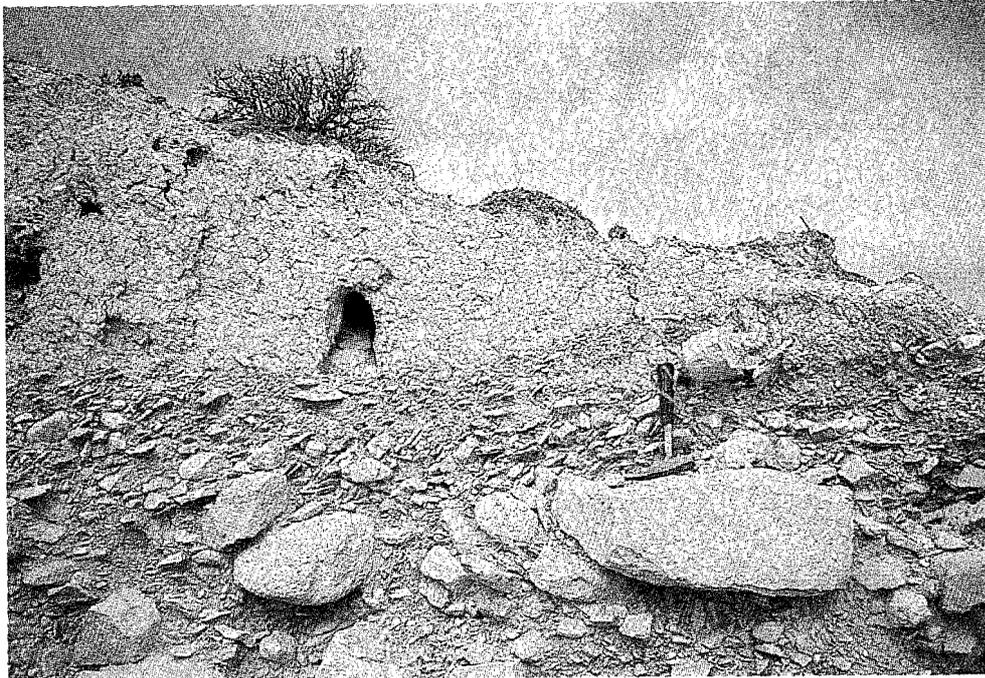


Foto 1: Conducto horizontal con sección en ojo de cerradura. Barranco de Tudela.



Foto 2: Dolina de pseudokarst. Vertiente sudoriental de la Plana de la Negra.

FCO. JAVIER GRACIA PRIETO



Foto 3: Puente natural. Vertiente sudoriental de la Plana y de la Negra.

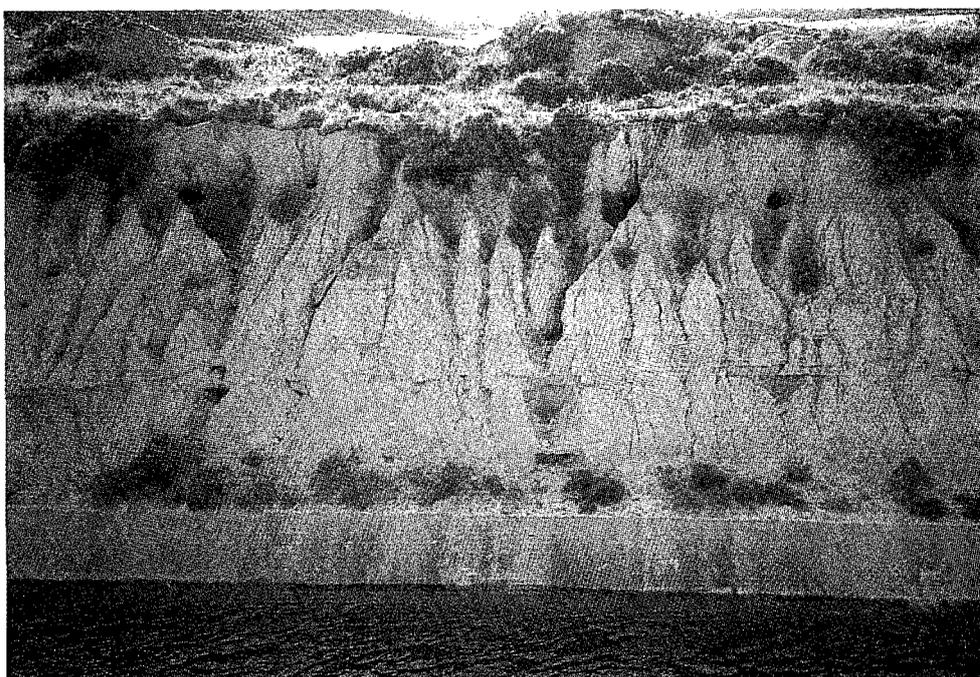


Foto 4: Procesos de reguerización, acarcavamiento y piping en una trinchera artificial del Canal de Riego de Tauste. Alrededores de Sádaba.

## PIPING EN LA DEPRESION DEL EBRO

### BIBLIOGRAFIA

- CANO, G. (1975). Un ejemplo de karst mecánico en rocas blandas: las torcas de Guadix. *Est. Geogr.*, XXXVI, 138-139, pp. 247-263.
- CARSON, M. y KIRKBY, M.J. (1972). *Hillslope form and process*. Cambridge Univ. Press. 476 pp.
- CASTIELLA, J.; SOLE, L. y VALLE, J. del (1978). *Mapa geológico de Navarra*, E. 1:200.000. Diputación Foral de Navarra. Dirección O.P. Servicio Geológico.
- GALLART, F. (1979). Observaciones sobre la geomorfología dinámica actual en la Conca d'Odena (alrededores de Igualada, prov. de Barcelona). *Actas de la III Reunión Nacional del G.E.T.C.*, pp. 123-134.
- GRACIA, J. (1985). *Geomorfología de las Bardenas Orientales*. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias, Zaragoza. 172 pp.
- GUTIERREZ, M. y RODRIGUEZ, J. (1984). Fenómenos de sufosión (piping) en la Depresión media del Ebro. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. Logroño. T.X., I Coloquio sobre procesos actuales en Geomorfología, Jaca. pp. 75-83.
- HEEDE, B.H. (1974). Stages of development of gullies in western Unites States of America. *Zeit für Geomorph.*, 18 (3): 260-271.
- HIGGINS, C.G. (1974). Piping and sapping: development of landforms by groundwater outflow. In: *Groudwater as Geomorphic Agent*. Ed. R.G. LaFleur. The Binghamton' Sym. in Geomorph.: Int. Series, n.º 13, pp. 18-58.
- JONES, J.A.A. (1981) *The nature of soil piping: a review of research*. Geobooks. BGRG Researach Monograph Series, 3. 301 pp.
- MENSUA, S. e IBAÑEZ, M.J. (1975). Alveolos en la Depresión del Ebro. *Cuadernos de Investigación. Geografía e Historia*. Colegio Universitario de Logroño. n.º 2, pp. 3-14.
- RODRIGUEZ, J. (1983). *Geomorfología de las Sierras Exteriores Oscenses y su Piedemonte*. Tesis Doctoral, Fac. Ciencias Zaragoza. 493 pp.
- SANCHO, C. (1984). *Geomorfología de la región Albalate de Cinca-Candasnos*. (prov. de Huesca). Tesis de Licenciatura, Fac. de Ciencias, Zaragoza. 160 pp.
- SELBY, M.J. *Hillslope materials and processes*. Oxford Univ. Press. 264 p.