

## Influencia de los procesos de sofusión (Piping) en la evolución del modelado. Bardenas Reales (Navarra)

G. Desir <sup>(1)</sup>, C. Marín<sup>(1)</sup>, M. Gutiérrez <sup>(1)</sup>

(1) Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna, 12, 50.009 Zaragoza (España). E-mail: [gdesir@unizar.es](mailto:gdesir@unizar.es)

### ABSTRACT

Piping processes are controlled by many interacting factors, such as the index of dispersion and the sodium content, SAR and ESP. To it is necessary to join the density of cracking and the slope of the hillsides on which it develops. In the study area climatic characteristics together with soil structure and chemical and mineralogical composition of the substrate has a key role in Piping's formation. Cracking is linked to the presence of dispersive clays with high contents in SAR and ESP, which give the rates of swelling until 12%.

The process presence of piping is linked to two concrete situations: the massive intermediate levels of the intermediate Holocene filling sediments and the sediments deposited by the gullies; whereas in the tertiary materials it does not manage to develop. The size and scale of the pipes studied show a clear relationship among the level thickness, slope and hydraulic gradient. In the Holocene landfills the principal bounding factor is the levels thickness since the lower laminated levels do not facilitate the continuity in depth of the process due to the high number of discontinuities, generating centimeter-scale conduits that are always on duty to the drainage network.

**Palabras clave:** Piping, Gullies, arcillas, propiedades físico-químicas, suelos dispersivos.

### INTRODUCCIÓN

La intensidad y el grado de desarrollo del *piping* en un área son reflejo de la interacción entre las variables climáticas, las propiedades del suelo o regolito y el gradiente hidráulico local (Bryan y Jones, 1997). En los medios áridos y semiáridos, como es la zona objeto de este estudio, el proceso de sofusión (de erosión *piping*) se desarrolla en áreas de badlands ligadas a suelos y regolitos con elevados contenidos en arcillas sódicas lo que implica altos porcentajes de hinchamiento y un comportamiento altamente dispersivo. Cuando nos encontramos en zonas donde el gradiente es bajo y la tasa de infiltración pequeña es difícil que se desarrollen *pipas* debido principalmente a la ausencia de un gradiente hidráulico y de un mecanismo que concentre el agua infiltrada (por ejemplo, un brusco cambio de permeabilidad entre los diferentes horizontes del suelo) (Faulkner et al., 2000).

En nuestra área de estudio el Piping aparece representado como uno de los principales procesos de erosión, generalmente ligado a procesos de reguerización y abarrancamiento (Desir y Marín, 2007). En nuestra área de estudio, los procesos de *piping* son muy frecuentes dentro de los materiales terciarios y cuaternarios que rellenan la Depresión erosiva de las Bardenas Reales. Ello se debe básicamente a la combinación de varios factores como son la presencia de lluvias con una gran variabilidad estacional e intensidad, materiales con elevados contenidos en SAR, elevado pH y especialmente a la presencia de materiales con capacidad de hinchamiento. El objetivo de este trabajo es conocer cuáles son los factores principales que controlan la aparición y el desarrollo de los procesos de *piping* en esta área.

### ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se engloba en el sector centro-occidental de la Depresión del Ebro. Las Bardenas Reales constituyen una depresión erosiva de 415 km<sup>2</sup> de extensión, formada por sedimentos de edad Miocena y Cuaternaria. Los sedimentos terciarios, arcillas miocenas de la Formación Tudela, aparecen en los márgenes de la cuenca dando lugar a pendientes escarpadas con una alta densidad de reguercización. Los depósitos cuaternarios, arcillas y limos holocenos procedentes del lavado de las arcillas circundantes, han sufrido una intensa erosión y el desarrollo de profundos gullies sobre ellos. La evolución de la cuenca es consecuencia tanto de la geología como del clima. Las Bardenas Reales se encuentran en una zona semiárida de carácter mediterráneo, con temperatura media anual de 13°C y una precipitación media anual de 350 mm. Las lluvias son de carácter tormentoso y van generalmente acompañadas de fuertes vientos.

### RESULTADOS

Se han podido diferenciar dos tipos diferentes de *piping* en función de su génesis. Uno que se ajusta a procesos de *see page*; comienza en las partes bajas y se propaga hacia la parte superior mediante la ampliación de los conductos y la erosión remontante. Y otro asociado a procesos de *tunneling*, en el que la erosión y la formación de los conductos progresan a través de las grietas superficiales hacia el interior. Son función del patrón de agrietamiento y del hinchamiento, y también de las variables climáticas. Su aparición está controlada por la alternancia de épocas de lluvia y épocas de sequía que controlan la formación de las grietas de retracción que facilitan la entrada de agua en el regolito y el inicio de los pipes.

La presencia de procesos de *piping* dentro del área de estudio está ligada a dos situaciones concretas: los niveles masivos intermedios del relleno holoceno de la cuenca y los sedimentos depositados por los *gullies*. Sobre los materiales terciarios no se llega a desarrollar *piping*, a pesar de que las propiedades físico-químicas muestran valores de SAR y ESP que indican lo contrario (Gutiérrez et al., 1997).

#### **Piping vs. rellenos holocenos**

Los *pipes* se concentran cerca y a lo largo de la red de drenaje. Se desarrollan básicamente en los niveles masivos intermedios de los materiales del relleno holoceno de la Depresión de las Bardenas Reales, aunque desde el punto de vista de las propiedades físico-química todos los niveles son susceptibles de desarrollarlo (Gutiérrez et al., 1997; Desir y Marín, 2007). Su presencia en los niveles laminados superior e inferior está condicionada y limitada por la potencia de los niveles masivos intercalados. Cuando la potencia es inferior a 20 cm, no se forman. En el nivel masivo intermedio los pipes suelen tener bajas pendientes y escasos diámetros. Gracia (1986) señala una relación entre la longitud y la anchura muy superior a 5. Son conductos circulares o con forma de ojo de cerradura (Fig.1a). Las dimensiones oscilan entre la escala centimétrica y decimétrica.

Por otro lado, también se pueden observar pipes de escasas dimensiones y extensión que están confinados a los regueros desarrollados en los rellenos. Estos son independientes del nivel en que se desarrollan y no suelen propagarse en profundidad, son superficiales (Fig.1b).

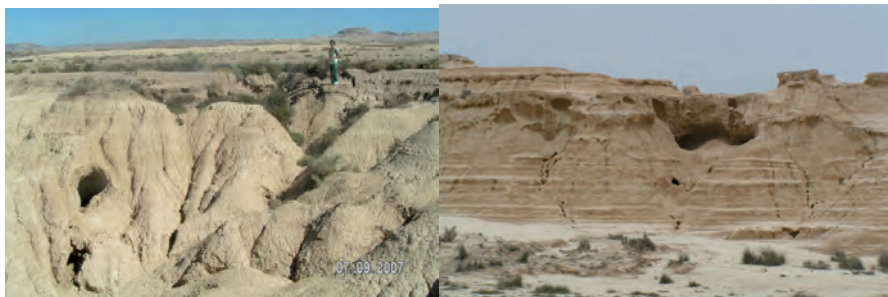


Figura 1. A) Pipes desarrollados en el nivel intermedio masivo. B) Pipes sobre los regueros del nivel laminado superior.

### Piping vs. gullies

En las Bardenas reales predominan los pipes con conductos verticales que están asociados a las facies de los depósitos de *gullies (ripples)* y se restringen a los márgenes de los barrancos. Tienen un trazado vertical hasta el límite de la capa laminada con el nivel más masivo y luego discurre paralelo al contacto entre ambas formaciones. Cuando alcanzan este nivel evolucionan mediante la ampliación del conducto. Se forman por proceso de *see page*, es decir desde arriba hacia abajo. El agua infiltrada a través de las grietas de extensión, progresa en profundidad hasta alcanzar el contacto con el nivel masivo que actúa como nivel local impermeable y se propagan siguiendo este contacto hasta alcanzar el *gully*. El *outlet* aparece colgado sobre el fondo del *gully*. El tamaño de los pipes es directamente proporcional al tamaño del *gully* y a la potencia del nivel sobre el que se desarrollan (Fig.2). Son equivalentes a los pozos de Gracia (1986), cuando el *gully* no profundiza hasta el nivel masivo inferior. Cuando alcanzan el margen del *gully* o están muy próximos a él se forman puentes naturales que temporalmente evolucionan por colapsos y que forman nuevas cabeceras laterales o bank *gullies* (Fig.2) cuyo fondo está relleno por bloques caídos y material proveniente de los vuelcos que son erosionados y exportados en eventos sucesivos.



Figura 2. Inlet de un pipe de grandes dimensiones en el margen de un gully permanente.

### Piping vs. Terciarios

Los materiales terciarios presentan un modelado acaravado con cuencas de elevada pendiente que hace que el *piping* no llegue a desarrollarse y favorece el movimiento de masas tipo *mud slides*. En este caso el *piping* se ve inhibido por la elevada pendiente de las laderas, por encima de 30°, la escasa penetración del sistema de grietas en profundidad unido a la reducida potencia del regolito, 2-5 cm, que impiden que el agua de escorrentía se infiltre y profundice más allá del este nivel de alteración. Por otro lado, las coladas de barro (*mud slides*) y los deslizamientos (*slumping*) inhiben el desarrollo del *piping* pues remueven los pipes incipientes y borran los posibles puntos en los cuales se puede desencadenar el

proceso. Sin embargo, es posible encontrar pequeños pipes de orden centimétrico y escasa longitud que se desarrollan en el contacto entre el regolito altamente meteorizado y la superficie inalterada por la arcilla. Las grietas están muy abiertas debido a los deslizamientos y existen nuevos planos de discontinuidad a favor de los cuales se produce la movilización del agua del agua infiltrada cuando se producen las lluvias de primavera.

La otra situación se circunscribe a las zonas próximas a los escarpes estructurales con saltos superiores a los 50 m donde los materiales terciarios están protegidos por un *caprock* de depósitos de glaciares pleistocenos del Rallón y el Piskerra. Las formas que se desarrollan son pipes de grandes dimensiones y puentes naturales.



Figura 3. Puentes naturales en los materiales terciarios y el depósito de glaciares, Rallón.

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La dimensión y magnitud de los pipes analizados, muestran una clara relación entre la potencia del nivel, la pendiente y el gradiente hidráulico. En los rellenos el principal factor limitante es la potencia pues los niveles laminares inferiores no facilitan la continuidad en profundidad del proceso debido al elevado número de discontinuidades. Los pipes son de escala centimétrica y siempre están en relación con la red de regueros.

En relación con los *gullies* aparecen asociados a los márgenes y son uno de los principales mecanismos de crecimiento de los mismos, estando ligados al retroceso de las cabeceras. El tamaño y diámetro de los pipes es función directa de las dimensiones del *gully* e inversamente proporcional a la proximidad al borde. Son conductos de escala métrica a decamétrica con un trazado netamente vertical cuyo desarrollo en profundidad está controlado por la potencia del nivel superior del relleno, pues se circunscriben a él+.

### REFERENCIAS

- ❖ Bryan, R.B. & Jones, J.A.A., 1997. The significance of soil piping processes: inventory and prospect. *Geomorphology*, 20, 209–218.
- ❖ Desir, G. & Marín, C. 2007. Factor controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). *Catena* 71, 31-40.
- ❖ Faulkner, H., Spivey, D & Alexander, R., 2000. The role of some site geochemical processes in the development and stabilisation of three badland sites in Almería, southern Spain. *Geomorphology* 35, 87–99.
- ❖ Gracia, F.J. 1986. Dinámica erosiva del Piping: un ejemplo en la Depresión del Ebro. *Cuadernos de investigación Geográfica*, 12, 11-24
- ❖ Gutiérrez, M., Sancho, C., Benito, G., Sirvent, J.& Desir, G.,1997. Quantitative study of piping processes in badland areas of the Ebro. Basin, NE Spain. *Geomorphology* 20, 237–253.