

**RESUMEN**

*La simulación del desarrollo de dolinas aluviales en un modelo a pequeña escala, permite que el alumno aprenda a relacionar los mecanismos que actúan en el subsuelo con el modelado externo, que observe la evolución temporal de estas formas y la sucesión de procesos que se producen, que relacione estos ejemplos a escala reducida con los casos reales y que compruebe por sí mismo que variables pueden influir de forma más importante en el desarrollo de dolinas en la Depresión del Ebro.*

**ABSTRACT**

*Simulation of the doline development in a small-scale model, allows the student to learn the relationships between the processes acting in the subsoil and the external landform, that they observe the temporal evolution of the landforms and the successive processes that participate, they have to relate this experiments with the actual cases in the field, they must check what variables cooperate in a most important way in the development of dolines in the Ebro basin.*

**1.INTRODUCCION**

Las dolinas aluviales se generan cuando los suelos u otros depósitos superficiales potentes que cubren rocas karstificables penetran en las fracturas y conductos ensanchados por disolución, produciendo depresiones en la superficie del terreno. Su forma y tamaño son muy variables, diferenciándose tres morfologías básicas (Cvijic, 1893): dolinas en ventana, embudo y cubeta.

En el desarrollo de las dolinas aluviales intervienen varios procesos: disolución, arrastre, colapso de cavidades y subsidencia, que suelen actuar combinados. Los dos primeros producen una movilización y evacuación por el agua subterránea de material infrayacente. A continuación pueden formarse cavidades manteniéndose la cubierta durante un tiempo antes de colapsar bruscamente, o bien producirse un movimiento paulatino de los materiales detríticos rellenando los huecos que se habían creado con lo que se produce una subsidencia lenta. La deformación se transmite hacia la superficie generándose una depresión (Trudgill, 1985; Yuan, 1988; White, 1988).

Las dolinas mostrarán bordes escarpados cuando se produzcan colapsos y bordes suaves cuando haya subsidencia. Las vertientes de estas dolinas son muy inestables y de las formas en ventana por degradación de sus paredes se evoluciona con rapidez a dolinas en embudo o en cubeta.

Los factores más importantes que intervienen en

la génesis de las dolinas aluviales son muy variados. En primer lugar están las características de los materiales afectados, la cantidad de agua que circule y el poder de disolución que ésta tenga. Son así mismo de destacar el bajo espesor de la cobertera, su composición y características geotécnicas, la existencia de un paleokarst, la presencia de fracturas, el elevado gradiente hidráulico, las variaciones estacionales importantes del nivel freático y escasa profundidad del nivel freático. Sobre estos factores puede intervenir la acción humana. (Palmquist, 1979; Beck, 1986; White et al., 1986; Yuan, 1988; Benito, 1987; Toulemont, 1987; Soriano et al., 1991).

En el sector central de la Depresión del Ebro existe un importante karst aluvial desarrollado como consecuencia de la disolución de los yesos neógenos presentes en la zona, sobre los que se disponen varios niveles acumulativos cuaternarios de terrazas y glacis. Se ha estudiado con detalle esta región (Soriano, 1992; Soriano et al. 1991; Simón et al, 1991) determinándose que los factores más importantes que intervienen concretamente en ella son el bajo espesor de la cubierta cuaternaria, el bajo contenido en sulfatos del agua subterránea, la existencia de zonas de vaguada en la superficie de contacto del Terciario y Cuaternario, el bajo porcentaje en materiales lutíticos del Cuaternario y elevadas variaciones anuales del nivel freático.

**2.OBJETIVOS**

El objetivo fundamental, de este tipo de experiencia es que el alumno observe los procesos y mecanismos que intervienen en la formación de dolinas aluviales, tanto en superficie como en profundidad. Ello va a permitir que comprenda la relación entre los procesos que se dan en ambas zonas. De esta manera, la *disolución* y *arrastre* de los materiales produce la formación de morfologías en embudo en profundidad y de dolinas en cubeta en superficie. Por otra parte, la *disolución* y *colapso*, provoca en el subsuelo la generación de cavidades con forma de bóveda y, en la superficie, dolinas en ventana. Si tras la disolución inicial se produce inmediatamente el arrastre de sedimentos a los vacíos que se han creado, encontraremos las morfologías del primer tipo mencionado. Si los vacíos se mantienen durante cierto tiempo, hasta que el peso del material de la cubierta supera la resistencia a la cizalla, ésta cae bruscamente y nos encontramos con las formas del segundo tipo.

La determinación de qué proceso actúa se produce para un instante determinado y representa, por lo tanto, una imagen estática en el tiempo, pudiéndose comparar con el fotograma de una película.

(1)Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza. España.

Sin embargo, al realizar el experimento se puede ver el desarrollo completo de los procesos, observar la sucesión de las formas que se generan primero en el sustrato y después en superficie e interpretar las pautas de evolución.

Un objetivo más secundario, es la comprobación de la importancia de alguna de las variables que facilitan el desarrollo de dolinas. Para ello, se puede diseñar el experimento de forma que actúe alguna de ellas de forma aislada, sin la interferencia de las demás.

Por otra parte, es de gran importancia que los alumnos analicen la conexión que existe entre realidad y experimentación. Para ello se puede efectuar una salida al campo viéndose ejemplos actuales en que los estadios evolutivos alcanzados son distintos. Si no se puede realizar ésta, siempre es posible mostrar material gráfico de las mismas. En cualquier caso, se pretende que ellos determinen que los resultados de los experimentos pueden aplicarse a la interpretación de los mecanismos reales.

### 3. MATERIALES

Se necesita una cubeta transparente, que en nuestra experiencia personal se elaboró de metacrilato y cuyas dimensiones son 40 x 26 x 15 cm. Se halla dividida en dos partes por un tabique del mismo material, de tal manera que una de ellas (con dimensiones de 6,4 cm x 26 cm) ejerce la función de depósito de agua, mientras en la de mayor tamaño se introducen los materiales con los que se realiza la simulación (figura 1). Tanto en la pared que separa los dos compartimentos como en la pared opuesta de la cubeta se han practicado orificios (siendo de menor tamaño aquellos que comunican el depósito con la cubeta) para posibilitar la entrada y salida del agua. Variando el nivel de agua en el compartimiento pequeño se controla el gradiente hidráulico a través de los materiales en el compartimiento grande.

Como material soluble se ha utilizado sal común y, en algunos casos, terrones de azúcar. Por una parte se ha intentado buscar un material muy soluble, fácil de conseguir y económico y, por otra, que se asemeje al que en el caso de la Depresión del Ebro está produciendo los mayores casos de presencia de dolinas. Como cubierta detrítica se han usado arenas y limos (con diámetros de 0.0039 mm a 2 mm). Es conveniente utilizar la sal húmeda por dos motivos: (1) para consolidarla y así evitar que el proceso de arrastre fuese anormalmente dominante sobre el de disolución, y (2) para poder modelarla y obtener la morfología adecuada según el tipo de experimento que se quiera realizar.

El agua, que es el agente que va a desencadenar todo el proceso se introduce en el depósito. De ahí pasa al compartimiento de ensayo a través de los orificios de entrada. Para que dicha entrada se haga de forma más lenta se puede colocar un papel de filtro en la pared que divide ambos compartimentos. Luego circula hacia la pared opuesta a través de la sal y de las arenas; cuando llega a ésta drena por los orificios de salida.

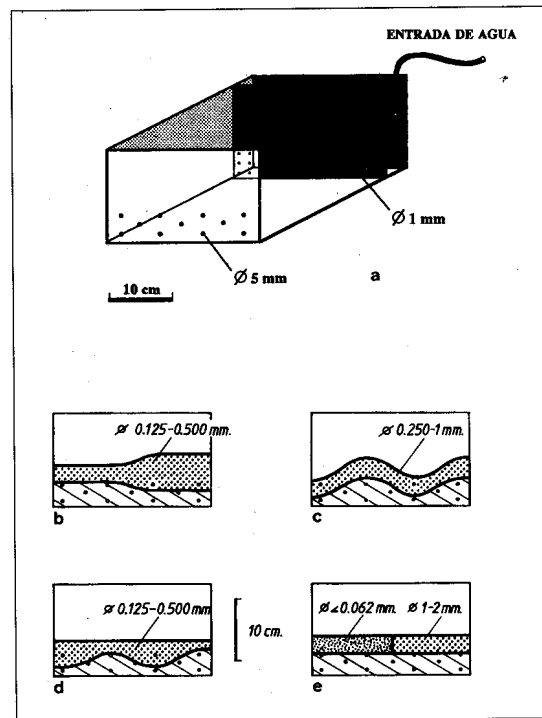


Fig. 1.- a: Dispositivo experimental. b-e: Esquemas mostrando la vista frontal de las diferentes disposiciones del material que pueden emplearse en los experimentos para simular y analizar la influencia de determinadas variables por separado. b: Variación del espesor de la cubierta. c y d: Contacto irregular entre el material soluble y la cubierta. e: Variación del tamaño de grano.

### 4. MONTAJE Y DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

El que existan unos orificios de drenaje para el agua en la pared del recipiente provoca distorsiones en el proceso de formación de dolinas, incrementándose el número de las mismas que se generan en esta parte final. Sin embargo, favorece la observación de la estructura interna de las mismas a través de la pared transparente.

Si bien la constatación de la importancia de alguna de las variables que intervienen en la formación de dolinas se considera como un objetivo secundario, su consideración es útil para comenzar a diseñar modelos de partida para efectuar la experimentación.

Se van a sugerir algunos ejemplos de disposición de los materiales según qué factor se quiera comprobar:

(1) *Zonas con distinto espesor de cubierta.* Longitudinalmente se diferencian dos zonas en la cubeta, una con un espesor de sal en torno a 4 cm y la otra 1,5 cm. Entre ambas se forma una pendiente de enlace. Sobre este material soluble se dispone el mismo tipo de arena en toda la cubeta, de tal forma que el mayor espesor se sitúe sobre la zona menos potente de sal que se había construido antes. La potencia de esta cubierta oscila entre 2.5 y 6 cm (figura 1b).

(2) *Irregularidades en la superficie de contacto entre la sal y la arena.* Se modela la sal de tal forma que se formen valles y cerros longitudinales. La arena puede tomar la misma disposición ondulada,

de tal forma que mantenga un espesor constante, o bien puede hacerse la superficie superior horizontal, con lo que dicho espesor será variable (figura 1c y 1d).

(3) *Diferente tamaño de grano de la cubierta.* Se pone una base de sal común de unos 3 cm de espesor de tal manera que su superficie sea horizontal. El espesor de la cubierta es constante, y puede estar situado en torno a los 3,5 cm (figura 1e). En su composición se diferencian dos zonas, una con arenas gruesas y otra con limos o arenas muy finas, con la línea de separación orientada paralelamente al flujo.

Hay que decir que los espesores que se han indicado anteriormente son meramente orientativos, y están referidos al modelo utilizado por nosotros debido a la posición de los orificios de entrada y salida de agua, ya que se pretende que el material que rellena la cubeta los cubra.

## 5. ACTIVIDADES QUE REALIZARÁN LOS ALUMNOS

Cada grupo de alumnos que lleva a cabo un experimento debe seguir con atención el desarrollo del proceso, y plasmar gráficamente las distintas estructuras que se vayan desarrollando, bien sea mediante dibujos, fotografías o filmación en vídeo. Si hay posibilidad de llevarlas a cabo, estas dos últimas opciones son más convenientes, debido a que en muchas ocasiones la evolución de las formas es tan rápida que apenas hay tiempo para poder plasmarla aunque sea en un esquema. En el caso del vídeo la gran ventaja es que se puede ver con posterioridad paso a paso los cambios que se hayan producido a lo largo del tiempo.

Tras la terminación del experimento, se comprobará qué estructuras se han formado y la relación que existe entre las que se encuentran en la superficie y en el interior de los materiales. Del mismo modo, se puede analizar si han ido cambiando a lo largo del desarrollo del experimento, con lo que se determinará qué pautas evolutivas se han producido.

Es conveniente mostrarles diversos ejemplos reales de karstificación a partir de los cuales ellos puedan comprobar la representatividad de los resultados obtenidos experimentalmente. Para ello se puede realizar una salida al campo o bien mostrar distinto material gráfico de tal forma que observen distintos "fotogramas" en la evolución de estos procesos. Serán ellos los que indicarán en qué punto del desarrollo de estos modelados se encuentran los ejemplos reales observados.

## 6. CONCLUSIONES

Mediante la utilización de modelos a escala reducida de dolinas aluviales se pretende que los alumnos determinen los mecanismos que intervienen en la formación de dichas formas, tanto en superficie como en el subsuelo, y que comprueben

la relación entre los procesos y la morfología resultante. A partir de la sucesión de formas que obtengan deberán hallar patrones o pautas evolutivas de las mismas, pudiendo cotejar los resultados con ejemplos reales. También es interesante comprobar la importancia de diferentes variables que intervienen en el desarrollo de las dolinas aluviales.

El hecho más interesante en su realización es sin ninguna duda el carácter interdisciplinar que tiene la observación del desarrollo de las dolinas aluviales. El experimento permite aproximarse y analizar multitud de aspectos y procesos geológicos entre los que se pueden señalar: la importancia de la litología de los materiales implicados en el proceso (sobre todo la diferencia de comportamiento dependiendo de la granulometría), la observación de las morfologías más comunes que presenta este fenómeno (tanto en superficie como en profundidad), la influencia de la estructura (se pueden simular redes de fracturas en el material soluble), la incidencia de la hidrogeología, especialmente a causa de las variaciones del nivel freático y del gradiente hidráulico y el comportamiento geomecánico de la cubierta detrítica frente a la formación de vacíos. La experiencia da pie asimismo para poner de relieve la importancia de ciertos procesos geológicos como factores de riesgo para el hombre, y la necesidad de abordar su estudio en profundidad para prever o minimizar dicho riesgo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Beck, B. (1986) A generalized genetic framework for the development of sinkholes and karst in Florida, U.S.A. *Environ. Geol. Water Sci.* vol 8, pp. 5-18.
- Benito, G (1987) Karstificación y colapsos kársticos en los yesos del sector central de la Depresión del Ebro. (Karst and collapse karst in the gypsum of the central Ebro basin). *Cuaternario y Geomorfología*, vol. 1, pp. 61-76.
- Cvijic, J. (1893) The dolines. Translation of *Geog. Abhandlungen* 5 pp. 225-276. In Sweeting, M.M. (ed.) 1981 *Karst Geomorphology*. Hutchinson.
- Palmquist, R. (1979) Geologic controls on doline characteristics in mantled karst. *Z. Geomorph. . Suppl. Bd.* 32, pp. 90-106.
- Simón, J.L.; Soriano, M.A.; Gracia, J. y Salvador, T (1991) Dolinas aluviales en las terrazas del Ebro al oeste de Zaragoza: Un análisis empírico de los factores de riesgo. *Cuaternario y Geomorfología* vol 5, pp 139-148.
- Soriano, M.A. (1992) Characteristics of the alluvial dolines developed because of gypsum dissolution in the central Ebro Basin. *Z. Geomorphology Suppl. Bd.* 85, pp. 59-72.
- Soriano, M.A.; Simón, J.L.; Gracia, J. y Salvador, T. (1991) Alluvial sinkholes over gypsum of the Ebro basin (Spain): Genetical factors and environmental impact. *Hydrological Sciences Journal* (en prensa)
- Toulemont, M. (1987) Les risques d'instabilité liés au karst gypseux lutétien de la région parisienne. Prevision en cartographie. *Bull. liaison Labo. P et Ch.* 150-151, pp. 109-116.
- Trudgill, S. (1985) *Limestone Geomorphology*. Ed. Longman. 196 p.
- White, W.B. (1988) *Geomorphology and Hydrology of karst terrains* Oxford University Press. 464 p.
- White, E.L. Gert, A. y White, W.B. (1986) The influence of urbanization in sinkhole development in central Pennsylvania. *Environ. Geol. Water Sci.*, vol.8, pp. 91-97.
- Yuan, D. (1988) Environmental and engineering problems of karst geology in China. *Environ. Geol. Water Sci.*, vol. 12, pp. 79-87. ■