

KARSTIFICACION Y COLAPSOS KARSTICOS EN LOS YESOS DEL SECTOR CENTRAL DE LA DEPRESION DEL EBRO (ARAGON, ESPAÑA)*.

Gerardo BENITO FERRANDEZ. Cátedra de Geología, Facultad de Ciencias. 50009 ZARAGOZA

R E S U M E N

El desarrollo de fenómenos kársticos en el ámbito de la Depresión del Ebro da lugar a la aparición de importantes campos de dolinas, cuya funcionalidad actual es intensa. Con el fin de determinar los factores y los procesos que intervienen en la génesis de dolinas aluviales, se han analizado tres sectores con diferentes coberteras localizados en las proximidades de Zaragoza. En los procesos de dolinización en áreas de terraza con materiales poco consolidados podrían intervenir, además de la disolución del sustrato yesífero, fenómenos de arrastre mecánico originados por variaciones del nivel freático. Por otro lado, la morfología de las dolinas resultantes estaría controlada por las dimensiones de la cavidad subsuperficial, el comportamiento geotécnico de la cobertera y la potencia de la misma.

Palabras clave: karst en yesos, dolinas aluviales, arrastre mecánico, Depresión del Ebro.

ABSTRACT

Sinkholes fields are very frequent in the Ebro basin area due to the importance of karstic processes. In order to know the factors and the processes that take place in the genesis of the aluvial sinkholes three areas with different covers have been analysed in the Zaragoza nearby. In the terraces with unconsolidated materials dissolution processes and subsurface mechanical erosion -originated by fluctuations of the water table- are the main factors in the sinkhole formation. On the other hand, the sinkhole morphology could be controlled by the subsurface cavity size, the geotechnical behavior of the cover and the thickness of this cover.

Key words: gypsum karst, aluvial sinkholes, subsurface mechanical erosion, karstic colapses, Ebro Basin.

*Proyecto CAICYT PB85-0392

INTRODUCCION

La depresión terciaria del Ebro se caracteriza por presentar en sus partes centrales extensos afloramientos de materiales yesíferos. Estos yesos aparecen fuertemente karstificados dando lugar a la generación de campos de dolinas aluviales instaladas sobre diferentes coberteras. El presente trabajo pretende abordar algunos aspectos genéticos de la dolinización, en base al análisis de fotografía aérea a escala 1:18.000 y a observaciones realizadas en el campo.

El desarrollo de fenómenos kársticos en el ámbito de la Depresión del Ebro ha sido objeto de numerosos trabajos. Zuidam (1976) estudia un campo de dolinas en el área de Casetas y señala la generación de 35 nuevas depresiones en un intervalo de tiempo de 18 años. Posteriormente Gutiérrez et al. (1985) analizan la dolinización generada sobre yesos subhorizontales, materiales yesíferos plegados y yesos cubiertos por aluviones. Soriano (1986) estudia las dolinas aluviales situadas al Sur del río Ebro entre el río Jalón y Zaragoza. Recientemente, Benito y Gutiérrez (1987) analizan algunos de los problemas que plantea la karstificación en los materiales yesíferos, centrándose en relación a su impacto en la agricultura y en las obras de ingeniería civil .

El análisis de los factores genéticos que determinan la dolinización se ha realizado en base de las características del material de cobertera en un sector de la Depresión del Ebro. Las áreas estudiadas se sitúan en las proximidades de Villamayor, La Puebla de Alfinden y Alfajarín (Fig.1). Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio presenta un sustrato terciario constituido por yesos con alternancias de margas y arcillas de edad miocena. La disposición general de estos materiales es subhorizontal, aunque en algunas zonas se puede apreciar pliegues de escala métrica. Sobre este sustrato y fosilizándolo parcialmente se localizan los depósitos cuaternarios de los sistemas Ebro y Gállego. Litológicamente están constituidos por gravas, arenas, y arcillas con modelados de glaciais y terrazas, y por limos yesíferos con morfologías de derrames y valles de fondo plano.

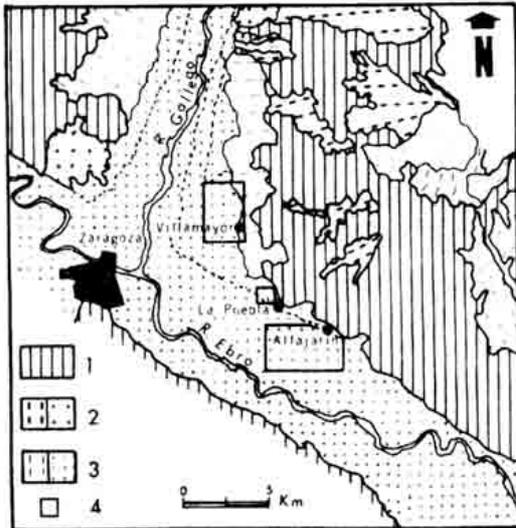


Fig. 1.- Localización geológica y geográfica de la zona estudiada
 1: Materiales yesíferos de edad miocena. 2: Niveles de glaciares y terrazas superiores. 3: Niveles de glaciares y terrazas inferiores. 4: Localización de los sectores afectados por el desarrollo de dolinas.

El método empleado para el estudio de estos campos de dolinas consiste en reconocer estas formas en fotografía aérea a escala 1:18.000. En cada dolina se describe la morfología, forma del contorno y cobertera sobre la que se instalan, midiéndose de forma aproximada la longitud máxima y mínima. Con todos estos parámetros se realiza un análisis estadístico que intenta establecer relaciones entre morfología, dimensiones de la dolina y cobertera aluvial. Estas relaciones nos permiten determinar algunos de los factores que intervienen en la génesis y desarrollo de las formas. Combinando estos parámetros y con la ayuda de observaciones de campo y laboratorio, se han elaborado diferentes esquemas que permiten explicar la génesis de las morfologías individualmente, a la vez que se intenta establecer la relación temporal entre las formas.

AREAS DOLINIZADAS.

Para la elaboración de este trabajo se han seleccionado tres sectores con dolinas aluviales instaladas sobre diferentes coberteras, situados en las proximidades de Villamayor, La Puebla y Alfajarín. Las dolinas que aparecen en las áreas descritas se han agrupado de acuerdo con la clasificación de Cvijic (1893) en tres tipos: ventana, embudo y cubeta. Estas últimas pueden presentar bordes difusos o bordes escarpados (tipo *pan* según Palmsquist, 1979). En la figura 2 b y d aparecen representadas las diferentes morfologías en relación con su longitud máxima en los sectores de

Villamayor y La Puebla respectivamente.

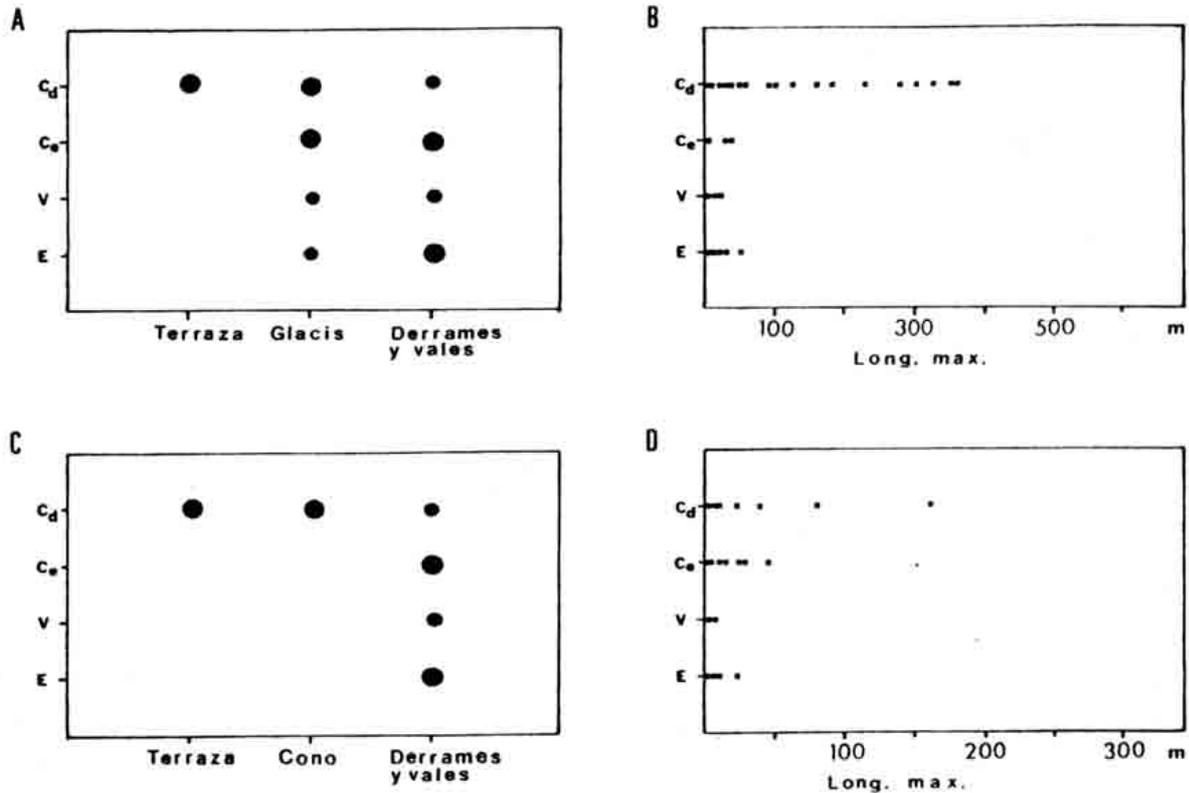


Fig. 2.- A y C: Relación entre la morfología de las dolinas y el tipo de cobertera aluvial en los sectores de Villamayor y La Puebla respectivamente. B y D: Relación entre la morfología de las dolinas y la longitud máxima que desarrollan en las zonas de Villamayor y La Puebla. C_d : Dolinas en cubeta con bordes difusos. C_e : Dolinas en cubeta con bordes escarpados. V: Dolinas en ventana. E: Dolinas en embudo. ● Relación alta. ● Relación baja.

Se observa que las dolinas de menor tamaño corresponden a las morfologías en ventana que raramente superan los 5 m de diámetro y los 7 m de profundidad. Las dolinas en embudo no son muy frecuentes y sus dimensiones pueden alcanzar los 20 m de diámetro y 12 m de profundidad. Las formas en cubeta de paredes escarpadas alcanzan en el sector de Villamayor los 180 m de diámetro y 5-10 m de longitud, mientras que en la Puebla (Foto 1 y 2) y Alfajarín no superan los 40-50 m de longitud y 4 m de profundidad. Las formas que presentan mayores dimensiones corresponden a las dolinas en cubeta de bordes difusos que pueden alcanzar los 360 m de longitud máxima y 10 m de profundidad, siendo más frecuentes aquellas que no sobrepasan los

50 m de diámetro y 4 m de profundidad.

En el sector de Villamayor situado al N de Zaragoza, se han contabilizado 82 dolinas situadas sobre depósitos de terrazas, glacis, derrames y valles de fondo plano. El depósito de terraza sobre el que aparece corresponde al nivel T_3 del río Gállego (Fig.1) y está constituido por gravas, arenas y arcillas con una potencia que puede alcanzar los 50 m. Los niveles de glacis arrancan de los relieves yesíferos situados al Este del Gállego y en la zona de contacto con la terraza aparecen fosilizandola. Su depósito está constituido por cantos de calizas y yesos, angulosos y de pequeño tamaño con matriz arenoso-limosa, con potencias de 3-8 metros. Como es de suponer la potencia de los glacis decrece hacia las zonas de raíz, donde se apoyan directamente sobre el sustrato mioceno. Los depósitos holocenos que rellenan fondos de vales están constituidos por limos yesíferos amarillentos con cantos de yesos y calizas dispersos. En cuanto a la distribución de las dolinas se observa que sobre el depósito de terraza se localiza preferentemente las dolinas en cubeta con bordes difusos, en valles de fondo plano dominan las formas en ventana y embudo, y en los glacis pueden aparecer todas las morfologías (Fig. 2 a). En los niveles de glacis las morfologías parecen estar controladas por la potencia de la cobertera En este sentido, en las áreas con escasa potencia de la cobertera predominan las morfologías en ventana y embudo, mientras que las dolinas en cubeta son frecuentes en áreas de contacto con la terraza donde la potencia de la cobertera es más importante.

A un kilómetro al NW de La Puebla de Alfindén se localiza una zona de intensa dolinización cuya funcionalidad actual es patente. El área afectada se encuentra recubierta por una fina capa de limos, de hasta 1.5 m de potencia, que arrancan de las zonas más bajas de los relieves yesíferos y tapizan las zonas más deprimidas con morfologías de vales y derrames. Estos materiales se sitúan directamente sobre el sustrato yesífero y en algunas zonas consigue fosilizar a la terraza T_3 del río Ebro. Así mismo, las depresiones pueden localizarse sobre un cono de deyección que fosiliza a la terraza T_3 del Ebro y que actualmente aparece colgado respecto a la

red de drenaje actual. En lo referente a la relación entre la morfología de la dolina y la cobertura se observa como las dolinas en cubeta de paredes tendidas se sitúan sobre la terraza del Ebro y sobre el cono de deyección, mientras que las depresiones en embudo y en cubeta con paredes escarpadas aparecen preferentemente sobre los derrames y los valles de fondo plano (Foto 2, Fig.2 c).



Foto 1.- Dolina en cubeta con bordes escarpados sobre un depósito de limos yesíferos en las proximidades de La Puebla.

En el sector de Alfajarín se han realizado medidas y observaciones de 140 dolinas situadas sobre la terraza T_1 del Ebro, constituida por gravas arenas y arcillas. La mayor parte de las dolinas presentan morfologías en cubeta con bordes tendidos, aunque también pueden aparecer dolinas en cubeta de paredes verticales. Dada la escasa altura de la terraza respecto al río Ebro las áreas más deprimidas, como es el caso del fondo de las dolinas, permanecen durante gran parte del año anegadas por el agua.

A partir de lo expuesto podemos concluir que la principal relación que se obtiene del estudio de estas dolinas se establece entre la morfología y el tipo de cobertura (Fig.2 a y c). En este sentido, se observa que sobre los depósitos de glaciares, derrames y vales se presentan todas las formas descritas, aunque con ciertas prioridades. Así, sobre los depósitos de glaciares y derrames predominan las dolinas en cubeta mientras que sobre los materiales que constituyen los valles de fondo plano son frecuentes las morfologías en cubeta de bordes escarpados, en ventana y en embudo. Por otro lado, las dolinas en cubeta de bordes difusos se instalan

predominantemente sobre depósitos de terraza. Este hecho pone en evidencia la importancia del comportamiento de la cobertera en la génesis de uno u otro tipo de dolinas. Por ello es conveniente indicar algunas características geotécnicas de estos materiales. De entre las diferentes coberteras que aparecen en nuestra zona de estudio, los materiales más fácilmente colapsables son los limos yesíferos. Sus características más relevantes (Faraco, 1975) son la alta porosidad (45-50 por 100), estructura muy floja, poco plástica y su cohesividad se pierde fácilmente en presencia de agua. Las características de los materiales que constituyen las terrazas y los glacis están relacionadas con el grado de encostramiento y grado de consolidación del sedimento, pero en general presentan una estructura plástica, comportándose como un material poco consolidado.

Finalmente, de la distribución espacial de dolinas se desprende que la potencia de la cobertera aluvial puede condicionar las pautas de comportamiento "dúctil" o "frágil" de la cobertera en la génesis de dolinas. Así, en las áreas de escasa potencia predominan las morfologías en ventana, en embudo o en cubeta con paredes verticales, mientras que en zonas de elevada potencia son frecuentes las dolinas en cubeta de bordes difusos.

GENESIS DE LAS DOLINAS ALUVIALES

El conocimiento de los mecanismos que actúan en la génesis y evolución de dolinas resultan de gran interés, especialmente en áreas donde el impacto ambiental de la dolinización sobre obras de ingeniería civil y agricultura son importantes. Del análisis de las dolinas desarrolladas en nuestra zona de estudio se desprende que los factores que intervienen en la generación de las morfologías descritas son las características geotécnicas del material de cobertera (composición, textura, estructura, cohesividad, comportamiento ante el esfuerzo, etc..), la potencia de esta cubierta aluvial, volumen y dimensiones de la cavidad que genera el colapso, además de otros parámetros provocados por las actividades humanas (bombeos, regadíos, incremento del gradiente en el freático etc...). Es evidente que existen otros factores que pueden inducir o ayudar a la generación de las diferentes formas, pero con los

medios disponibles no han podido ser determinadas su importancia.

Combinando estos factores y con al ayuda de observaciones de campo y laboratorio, podemos diferenciar desde el punto de vista genético dos grupos de dolinas. Por un lado, aquellas que se generan por subsidencia o colapso progresivo de la cobertera aluvial, dentro del cual se incluyen las dolinas en cubeta de bordes difusos. Por otro, se presentan las dolinas generadas como consecuencia de un colapso rápido y brusco, obteniéndose morfologías en cubeta de paredes verticales, en ventana y en embudo.

Antes de analizar los mecanismos concretos que intervienen en desarrollo de las formas encontradas en nuestra zona, es conveniente efectuar un repaso de los procesos generales que actúan en la génesis de las dolinas aluviales. Parece obvio que el principal mecanismo que provoca el colapso de la cobertera es la disolución del sustrato yesífero infrayacente. En efecto, la importancia del yeso como roca fácilmente karstificable radica en la elevada solubilidad que es del orden de 2.5 g/l a 18°C. La rapidez de este proceso y la debilidad física del yeso permite que las cavidades generadas sean fácilmente desmoronables.

Sin embargo, existen otros hechos que indican que además de los procesos de disolución se producen otros fenómenos que provocan el desarrollo de cavidades en el interior de la cobertera. Un aspecto que llama la atención es que la práctica totalidad de las dolinas relacionadas con el karst evaporítico mioceno se desarrollan cuando existe una cobertera aluvial. En el caso de terrazas afectadas por dolinización se ha observado mediante sondeos que pueden alcanzar los 25-30 m de potencia. Con estas potencias se requerirían enormes cavidades y en gran número para provocar la totalidad de los colapsos registrados.

En los sondeos rotatorios realizados por el MOPU para un informe sobre los hundimientos existentes en la autovía Zaragoza-Alagón (Gonzalez, 1970) se han localizado "tramos" de material cuaternario intercalados en los materiales yesíferos miocenos. Así mismo, en el informe hidrogeológico realizado por

Sahuquillo et al. (1976) en el aluvial próximo a Zaragoza se indica que en los sectores de Villamayor y Villanueva de Gállego (16 Km al N de Zaragoza), se han encontrado niveles de gravas intercaladas en el material mioceno. En ambos casos las gravas pueden interpretarse como material aluvial transportado a través de conductos kársticos. Esta hipótesis confirmaría la existencia de arrastre mecánico del material aluvial a través de cavidades de origen kárstico. De esta forma, un proceso alternativo que puede explicar la génesis de algunos dolinas es la sufosión o arrastre mecánico de partículas en áreas subsuperficiales. El mecanismo de desarrollo de la cavidad en estas zonas sería mixto ya que se requiere un conducto kárstico para evacuar el material arrastrado mecánicamente. Estos procesos ya han sido puestos de manifiesto por diferentes autores tanto en áreas con desarrollo de dolinas aluviales con sustrato yesífero (Ege, 1984) como con sustrato calizo (White et al.;1986; Daoxian, 1987;Newton y Tanner, 1987, entre otros). Tal como indican estos autores los procesos de arrastre mecánico están íntimamente ligados a las variaciones del nivel freático y aparecen inducidas por el incremento de gradiente y la velocidad de descenso del nivel freático.

Estos procesos podrían tener importancia en aquellas áreas donde las oscilaciones del nivel freático afecten a la cobertera, es decir en un sector del área de Villamayor y en Alfajarín. Así, en el área de Villamayor la recarga del acuífero se debe fundamentalmente a los excedentes de riego, lo que motiva oscilaciones estacionales del nivel freático muy fuertes. En Alfajarín las oscilaciones están provocadas por las crecidas y estiajes del río Ebro, así como las inducidas por el regadío tradicional a pie.

En la figura 3 se intenta representar la evolución que sufre una cavidad hasta su colapso. En A la cavidad se desarrolla en la cobertera y el proceso dominante es el piping que provoca el arrastre de partículas hacia conductos generados kársticamente en el sustrato. Así, el descenso del nivel freático provoca, por un lado la pérdida de soporte que ejercía el agua sobre el peso del material de la cobertera, y por otro produce un efecto de succión al ser reemplazada en la cavidad el agua por aire.

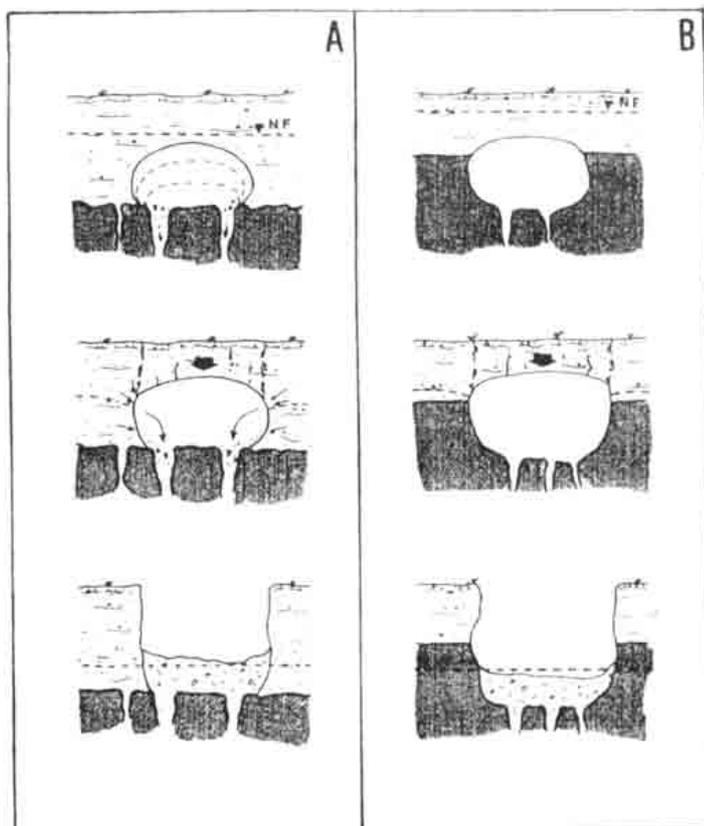


Fig.3.- Evolución de dolinas por colapso. A: La cavidad se desarrolla en la cobertera y los mecanismos de arrastre mecánico debido al flujo y a las variaciones del freático son importantes. B: La cavidad se desarrolla en el sustrato y el desarrollo se debe fundamentalmente a la disolución del material yesífero.

En B la cavidad se genera como consecuencia de la disolución del sustrato yesífero, aunque puede existir así mismo un adelgazamiento de la cobertera por arrastre mecánico y por procesos derivados del descenso del freático. Independientemente de los procesos dominantes en el desarrollo de una cavidad los mecanismos de colapso son los mismos. Para estudiar las condiciones y mecanismos de su génesis vamos a analizar cada una de las morfologías por separado.

Dolinas en cubeta con bordes difusos.

Este tipo de dolinas se pueden generar mediante dos mecanismos. El más sencillo consiste en la disolución progresiva del yeso en el contacto entre la cobertera y el sustrato, produciéndose un asentamiento paulatino del material aluvial que se adapta al espacio dejado por el yeso en la disolución (Fig. 4.a). El segundo

mecanismo consiste en la deformación "dúctil" de la cobertera como respuesta al desarrollo de una cavidad infrayacente (Fig. 4.b). En ambos casos se produce una subsidencia o colapso progresivo de la cobertera en donde la deformación del material no se concentra en planos preferenciales y afecta a bandas más o menos amplias.

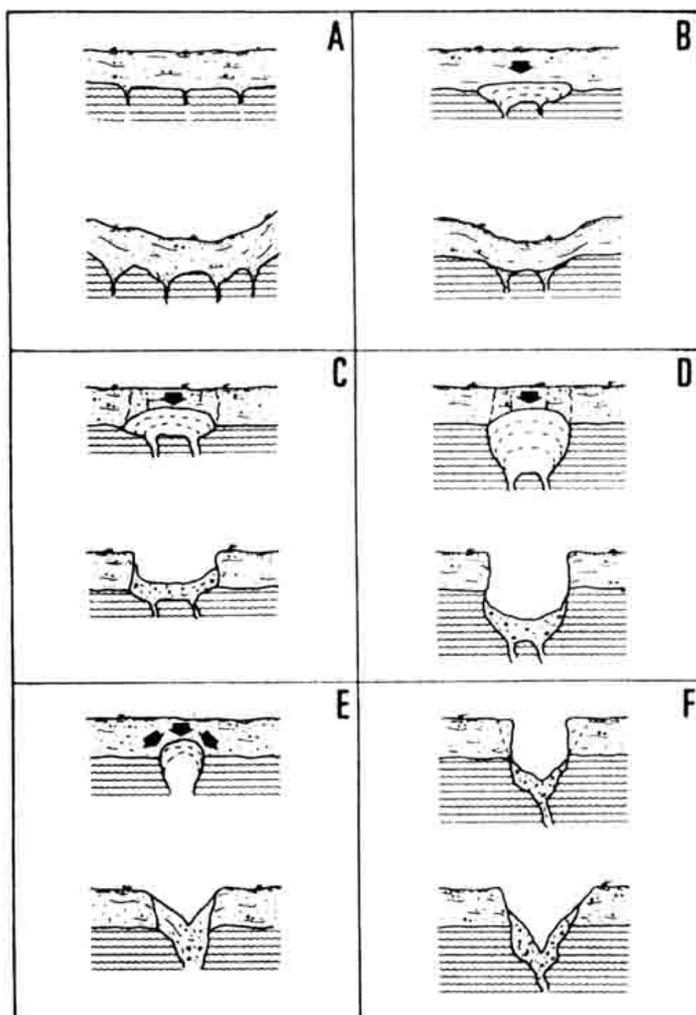


Fig. 4.- Génesis de dolinas aluviales. A y B: dolinas en cubeta con bordes tendidos. C: Dolinas en cubeta de bordes escarpados. D: Dolinas en ventana. E y F: Dolinas en embudo

Dolinas en cubeta de bordes escapados y dolinas en ventana

Se generan como consecuencia del colapso súbito de la

cobertera que tiende a ocupar el espacio vacío dejado por una cavidad (Fig.4 c y d). La principal diferencia entre estos dos tipos morfológicos está relacionada con las dimensiones del volumen vacío infrayacente. En ambos casos se produce un comportamiento frágil de la cobertera, concentrándose la deformación del material en planos bien definidos. Para que esto ocurra el esfuerzo que el techo de la cavidad ejerce como consecuencia del efecto de la gravedad debe sobrepasar la fuerza cohesiva del suelo. Además de la cohesividad del material existe otro factor que facilita la generación de este tipo de colapsos como es la potencia del sedimento. Este aspecto ha sido comprobado al analizar los tres sectores afectados por la dolinización, y está relacionado con la mayor facilidad a la ruptura que presentar el material poco potente.

En los estadios incipientes del colapso el esfuerzo de tensión se concentra en planos muy verticalizados y de disposición concéntrica que son visibles gracias a la aparición de grietas. Posteriormente estas grietas van a constituir planos de ruptura donde la componente del esfuerzo de cizalla que provoca la caída de la bóveda es próxima a la vertical. En la fotografía 2 se observa una dolina en cubeta de paredes verticales y de contorno pseudocircular-irregular. El fondo de la depresión presenta un aspecto caótico y aparece compartimentado por una serie de bloques. Alrededor del borde de la dolina y de forma más o menos concéntrica, aparecen algunas grietas que indican el perímetro de influencia del colapso y las zonas donde se ha abortado la fracturación. Así mismo, se observa un sumidero que recoge el agua de escorrentía del área de influencia de la dolina.

Dolinas en embudo

Esta morfología puede llegar a generarse mediante dos vías. El primer mecanismo consiste en la subsidencia y colapso de la cobertera con evacuación de parte del material por un sumidero. En los bordes de la dolina la componente de movimiento de la cobertera describe un abanico que converge hacia el interior de un conducto (Fig. 4.e). Dependiendo de las características del material de la cobertera puede presentar en los bordes grietas de tipo

concentrico. Otra vía para obtener la misma morfología consiste en la remodelación y/o retrabajamiento de las paredes y el fondo de otra dolina, consiguiéndose de esta forma una convergencia morfológica a partir de otras morfologías (Fig. 4.f).

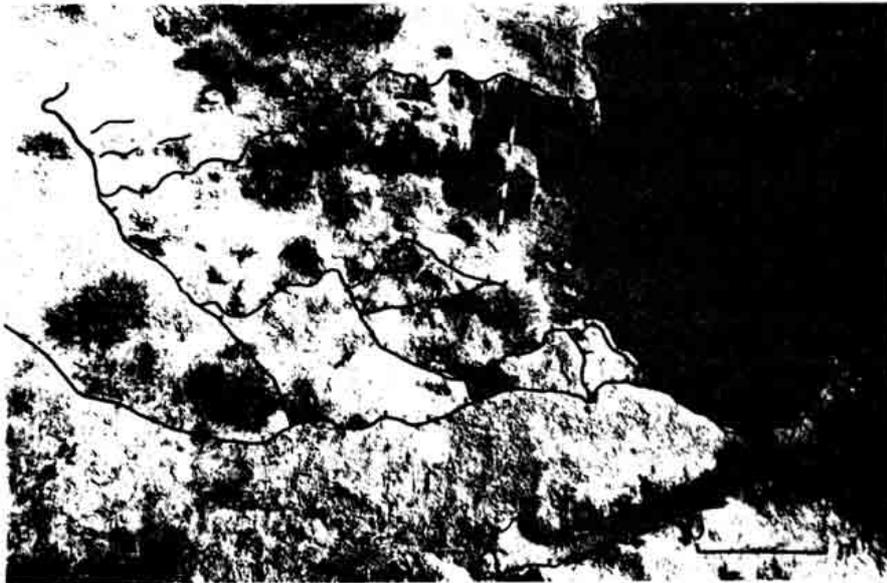


Foto 2.- Dolina en ventana sobre limos yesíferos en La Puebla.

↘ Escarpe. / Grieta. → Pendiente. ⊖ Sumidero.

La génesis de cada morfología puede producirse de forma independiente o puede desarrollarse como consecuencia de una evolución. Observaciones realizadas en el campo a lo largo de un periodo de tiempo (10-15 años), indican que en algunos casos existe una evolución temporal de las morfologías. Así se ha observado como una morfología que hace 10 años era en ventana hoy aparece como una forma en embudo, o como una dolina en cubeta con bordes difusos termina degenerando en una dolina en cubeta con bordes escarpados. En este sentido se ha comprobado mediante simulaciones realizadas en el laboratorio que puede existir una evolución más o menos continua desde las dolinas en cubeta de bordes tendidos a las forma en embudo, pasando por las dolinas en cubeta con bordes escarpados y las morfologías en ventana (Fig.5).

Este desarrollo se produce en tres etapas: subsidencia, colapso y remodelado. En la primera se presenta una subsidencia del material de la cobertera que da origen a las dolinas en cubeta de bordes difusos. Posteriormente el material que constituye la bóveda termina cediendo concentrando su esfuerzo en algunos planos o

grietas aparecidos en el estadio anterior, generándose las morfologías en cubeta de bordes escarpados y las dolinas en ventana. Finalmente y como consecuencia del retrabajamiento de las paredes y arrastre del material hacia el fondo de la depresión o hacia un sumidero pueden degenerar en formas en embudo.

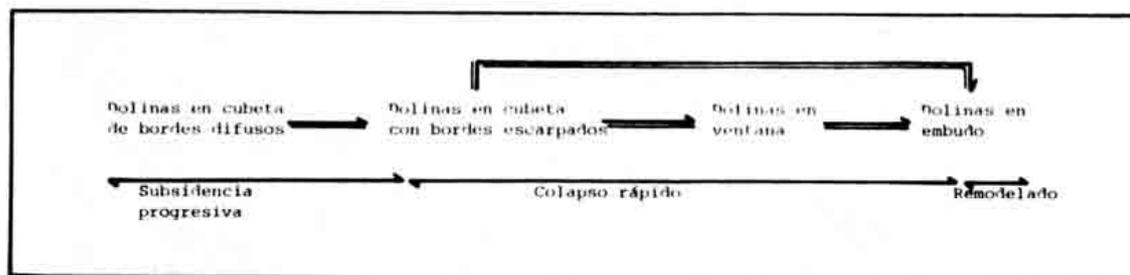


Fig.5.- Esquema sobre procesos y evolución de las diferentes morfologías

CONCLUSIONES

Se han estudiado tres campos de dolinas aluviales situados sobre diferentes coberteras con el fin de analizar las causas y mecanismos que originan su formación. Se han agrupado en base a la clasificación de Cvijic (1893) en tres tipos: ventana, embudo y cubeta; estas últimas pueden presentar bordes difusos o bordes escarpados.

El desarrollo de la cavidad subsuperficial, a partir de la cual se originará el colapso, puede estar ligada casi exclusivamente a procesos de disolución del yeso o pueden intervenir de forma importante procesos de piping o de arrastre mecánico de partículas debido al flujo y a las variaciones del freático. El material arrastrado por piping es transportado por conductos kársticos que pueden llegar a quedar obturados por material aluvial.

La morfología de las dolinas resultantes después de producirse el colapso parece estar condicionada por el tamaño de la cavidad subsuperficial, el comportamiento desde el punto de vista geotécnico del material de la cobertera y la potencia. Así, se ha observado en los sectores estudiados que las dolinas en cubeta de bordes difusos

se instalan preferentemente sobre depósitos de terraza, las morfologías en cubeta de ambos tipos en depósitos de glaciares y las formas en cubeta con bordes escarpados, en ventana y embudo son frecuentes sobre los limos yesíferos que constituyen los valles de fondo plano. Esta distribución está íntimamente ligada con las características del material de cobertura. En este sentido, los limos yesíferos presentan una estructura muy floja, poca plasticidad y gran cohesividad que se pierde fácilmente en presencia de agua, por lo que es un material muy colapsable. Los materiales de terraza presentan menor cohesividad y una estructura más plástica. Por otro lado, en las áreas de escasa potencia predominan las formas creadas por colapso rápido, mientras que en zonas de elevada potencia son frecuentes las dolinas en cubeta de bordes difusos.

Así, se pueden diferenciar dos grandes grupos de dolinas, unas que se generan por subsidencia progresiva y otras originadas por colapso rápido y brusco. En las primeras se encuentran las dolinas en cubeta de bordes difusos y en las segundas se originan las dolinas en cubeta de bordes escarpados, en ventana y en embudo. Además las dolinas en embudo pueden originarse por remodelado de otras dolinas, especialmente en ventana. Mediante simulaciones experimentales se ha observado un paso progresivo desde las dolinas en cubeta de bordes difusos hasta las dolinas en embudo, pasando por las dolinas con bordes escarpados y las morfologías en ventana. Finalmente, las prácticas agrícolas en áreas de riego y los conos de depresión generados como consecuencia de bombeos generan flujos y bruscas variaciones del nivel freático que aceleran los procesos de dolinización.

REFERENCIAS

- BENITO, G. y GUTIERREZ, M. (1987): Karst in gypsum and its environmental impact on the Middle Ebro Basin (Spain). 2nd Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Environmental Impacts of karst, Orlando, pp.137-141.
- CVIJIĆ, J. (1893): Das karstphänomen. Geog. Abhandlungen, 5, 225-276.
- DAOXIAN, Y. (1987): Keynote address: Environmental and engineering problems of karst geology in China. 2nd Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Environmental Impacts of Karst.

- Orlando, pp. 1-11.
- EGE, J.R. (1984): Mechanisms of surface subsidence resulting from solution extraction of salt. Geol.Soc.Am.;Reviews in Engineering Geology, Vol. VI, 203-221.
- FARACO, C. (1975): Estudio del colapso de la estructura de los limos yesíferos. Revista de Obras Públicas, 3127, 776-790.
- GONZALEZ, E. (1970): Informe sobre los hundimientos existentes en los perfiles P-112 y P-116 (margen derecha de la CN-232). Desdoblamiento Zaragoza-Alagón. Jefatura Regional de Carreteras (Inédito).
- GUTIERREZ, M.; IBÁÑEZ, M.J.; PEÑA, J.L.; RODRIGUEZ, J. y SORIANO, A. (1985): Quelques exemples de karst sur gypse dans la Depression de l'Ebre. Karstologia, 6, 29-36, Nimes
- NEWTON, J.G. y TANNER, J.M. (1987): Case histories of induced sinkholes in the eastern United States. 2nd Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Environmental Impacts of karst, Orlando, 15-23.
- PALMSQUIST, R. (1979): Geologic controls on doline characteristics in mantled karst. Z.Geomorph. N.F.Suppl. Bd., 32, 90-106.
- SAHUQUILLO, A.; LOPEZ-CAMACHO, B. y DE TOLEDO, F.D. (1976): Estudio hidrogeológico de las terrazas de los ríos Ebro y Gállego en la zona de influencia de Zaragoza. M.O.P.U. 118 pp. 12 figs.
- SORIANO, A. (1986): Dolinas de disolución normal y dolinas aluviales en el sector centro-meridional de la Depresión del Ebro. Bol. Geol. y Min. T XCVII-III, 328-337.
- WHITE, E.L.; ARON, G y WHITE, W.B. (1986): The influence of Urbanization on sinkhole development in Central Pennsylvania. Environ. Geol. Water Sci., Vol.8, Nos 1/2, 91-97.