

# KARSTIFICACION DE ROCAS ARENITICAS

## Generalidades y ejemplos del área valenciana

Policarpo Garay Martín  
(Grup Espeleològic Vilanova i Piera)

### 1. INTRODUCCION GENERAL SOBRE EL PROCESO KARSTICO

Con el término **karstificación** se conoce al proceso o conjunto de procesos por los que se produce la disolución química de las rocas carbonatadas por la acción del agua más o menos enriquecida en dióxido de carbono. El resultado de la interacción entre las aguas aciduladas y las rocas carbonáticas es el desarrollo, a menudo espectacular, de una variada tipología de fenómenos de denudación y formas típicas que se manifiestan tanto sobre la superficie (exokarst) como en el interior (endokarst) de los macizos calcáreos.

El modelado kárstico superficial llega a presentar características propias y exclusivas en cada una de las regiones climáticas de La Tierra, por lo que suele hablarse con frecuencia de karst mediterráneo, karst templado-húmedo, karst alpino, karst tropical, glaciokarst, karst semiárido, etc. (Llopis, 1970). Además de este condicionamiento climático, cuyo conocimiento es esencial antes de investigar cualquier aspecto relacionado con la geodinámica del karst, los procesos kársticos se encuentran igualmente condicionados por factores litológicos y estructurales.

La morfología hipógea de los macizos kársticos no refleja, al menos con tanta notoriedad como en superficie, esa extensa gama de variaciones tipológicas debidas al clima. La única gran variación morfológica del karst en profundidad se debe a su zonación hidrogeológica: zona epikárstica, zona vadosa, zona epifreática, zona freática... y dentro de ella son, principalmente, los aspectos estructurales (geología, evolución tectónica, estratificación...) los que gobiernan la tipología de estas formas y procesos en todo momento.

Además de todos estos factores condicionantes, existe otro elemento de fundamental importancia para el desarrollo del proceso kárstico: el tiempo y las modificaciones por él introducidas. En general, la magnitud y la complejidad morfológica de un área kárstica no es más que una consecuencia de la duración e intensidad de los procesos actuantes y de su evolución geohistórica. Por otra parte, la acción del agua subterránea produce con el tiempo un progresivo aumento de la permeabilidad del karst, y tiende a organizar tridimensionalmente la red de drenaje de estos acuíferos de forma convergente hacia sus puntos de drenaje (emergencias localizadas o salidas difusas hacia otros acuíferos, ríos, etc.). Precisamente es en este sentido como define el Dr. Alain MANGIN (1974, 1975, 1982...) al sistema kárstico: *impluvium*

*a nivel del cual las circulaciones de aguas subterráneas de tipo kárstico se organizan para constituir una unidad de drenaje.*

### 2. «KARSTIFICACION» DE ROCAS NO CARBONATADAS

Hasta ahora hemos hablado de un esquema conceptual en el que todo parece concretarse en el desarrollo de un proceso químico donde intervienen tres fases: agua, roca carbonática y dióxido de carbono. En realidad esto es así de forma genérica, pero, en la realidad pueden darse otra serie de situaciones y procesos paralelos y/o complementarios en los que pueden intervenir otros agentes corrosivos además del CO<sub>2</sub> atmosférico, como pueden ser el CO<sub>2</sub> generado por procesos biológicos, ácidos húmicos, ácido sulfúrico (por oxidación de piritas) y otros.

Asimismo, se puede comprobar el desarrollo de formas idénticas a las que se producen por la karstificación de las calizas, en otras rocas de las más variadas composiciones y origen. Los procesos responsables de cada uno de estos casos pueden ser, a su vez, muy variados.

Con gran acierto, ERASO (1975) pone de relieve esta clara convergencia de formas entre el modelado superficial y subterráneo de las rocas carbonatadas y otros tipos de rocas, algunas consideras prácticamente insolubles, como es el caso de las arcillas y de las pizarras. Nótese en este sentido la gran similitud entre algunos bad-lands o cárcavas (propios de rocas lutíticas) con los rillen-karren o acanaladuras del lapiaz calizo, semejanzas que resultan mucho más notables en otro tipo de microformas, como es el caso de las marcas de corriente (scallops y flutes), los pendants freáticos, las secciones de galerías, las concreciones estalactíticas y estalagmíticas, etc. que se pueden presentar lo mismo en rocas evaporíticas, como volcánicas, o en hielo, por poner sólo unos ejemplos.

El agente dinámico responsable de estos procesos es casi siempre el agua, ya sea como tal o con la presencia de determinados componentes o condiciones físicas; sin embargo, no siempre es así. En el caso del hielo, el principal agente del cavernamiento suele ser otro fluido: el aire. También resulta distinto el mecanismo del flujo formador de los tubos volcánicos, que se debe a la solidificación rápida de la zona subaérea de las coladas.

En cada caso, como decimos, el proceso generador puede llegar a ser muy diferente. Desde este punto de vista, y aunque basado en un análisis no demasiado riguroso, CIGNA (1978) propuso una clasificación de los fenómenos kársticos (sensu lato) que resumimos a continuación:

Clase	Fase de equilibrio	Subclase
1. HYPERKARST	más de 3 componentes	—
2. KARST	3 componentes	2.1. Holokarst
2. KARST	3 componentes	2.2. Merokarst
3. PARAKARST	2 componentes	3.1. Brady
3. PARAKARST	2 componentes	3.2. Tachy
4. HYPOKARST	1 componente	—
5. PSEUDOKARST	0 componentes	5.1. Singenético
5. PSEUDOKARST	0 componentes	5.2. Epigenético

Para cada una de estas modalidades, el citado autor refiere los siguientes ejemplos:

1. ambientes hidrotermales específicos
- 2.1. calizas puras
- 2.2. dolomías, calizas margosas
- 3.1. cuarcitas, basaltos (disolución lenta)
- 3.2. yeso, sal (disolución rápida)
4. hielo, tubos volcánicos
- 5.1. atrapamiento de gas en la lava
- 5.2. cavidades tectónicas

A priori, esta clasificación resulta gratamente sugestiva, sin embargo, un análisis más profundo la hace muy criticable, especialmente en dos aspectos. Primeramente la propia terminología usada, ya que, los términos karst-kárstico, por propia definición, hacen referencia a una serie de procesos y fenómenos bien conocidos y aceptados por las comunidades científicas relacionadas con su estudio o aprovechamiento, por ello y en un sentido estricto, estos términos deben ser relacionados con los mecanismos y efectos de la karstificación, esto es, de disolución-precipitación de rocas carbonatadas gobernados por la concentración carbónica de los flujos acuosos y gaseosos en contacto con ellas. En otro caso se podría hablar de *procesos parakársticos*, en base a las analogías geomorfológicas, o simplemente *formas kársticas sensu lato*, independientemente del proceso geodinámico.

Por otra parte, los propios términos y ejemplos propuestos por Cigna, son casi siempre imprecisos. Así, se puede hablar de *holokarst* y *merokarst* (términos introducidos por CVJIC, 1960, para referirse a *karst completo* y *karst incompleto*, respectivamente) independientemente de la composición de la roca carbonática; los procesos hidrotermales no implican, necesariamente, más de 3 componentes en su fase de equilibrio, es más, a menudo se producen tan solo con dos componentes, con la intervención siempre de altas temperaturas, la denudación en condiciones subaéreas de determinados grupos de rocas poco o nada karstificables, en cambio, sí se produce a veces por procesos complejos y mixtos en los que intervienen numerosos componentes, como sucede con muchas rocas ígneas sometidas a condiciones climáticas tropicales húmedas (URBANI *et al.*, 1975). El límite entre las dos subclases parakársticas es muy impreciso en su definición, puesto que las rocas silíceas pueden resultar relativamente solubles bajo determinadas condiciones de pH y temperatura, como veremos más adelante, los procesos

de disolución que se producen en el hielo suelen presentar una fase de equilibrio de dos componentes (aire-agua)...

Los comentarios precedentes nos recuerdan una vez más que las clasificaciones son herramientas artificiales y que, por lo tanto deben ser contempladas en su justa medida, sin descuidar las premisas y postulados sobre las que se apoyan. De ello da buena cuenta la clásica frase latina *qui incipit numerare incipit errare*. En el mismo sentido procede recordar las siguientes palabras del Profesor GORTANI (1933): *classification don't exist in nature, they are a product of our mind when we wish to make the knowledge, the description and the nomenclature of features easier*.

A modo de conclusión, y de acuerdo con las conclusiones de la Comisión de Físico-Química del Karst de la U.I.S., se recomienda la aplicación del término karst y todos sus derivados (kárstico, karstificación, etc.), en sentido estricto para aquellas regiones constituidas por roca carbonatadas, compactas y solubles, en las que se desarrollan formas superficiales y/o subterráneas características. Por extensión se puede aplicar también, en sentido general, a toda región constituida por rocas solubles. Por último, el término Kartología se define como el estudio científico de las regiones y los fenómenos kársticos y pseudo kársticos (MONROE, 1970, UNESCO-FAO, 1972 y GEZE, 1973).

### 3. PROCESOS DE DISOLUCION EN ROCAS SILICEAS

Tradicionalmente se consideraba que las rocas constituidas mayoritariamente por sílice presentaban siempre un comportamiento no kárstico, salvo en condiciones muy especiales con procesos ígneos o hidrotermales. De esta manera eran consideradas como procesos singulares y extraños los generadores de determinados enclaves morfológicos asentados sobre este tipo de roca (GEZE, 1951).

Prácticamente es, a partir de los años setenta, con escasos precedentes, cuando se pone de manifiesto la existencia de espectaculares formas kársticas desarrolladas enteramente en cuarcitas de gran pureza en sílice. Los descubrimientos más notables en este sentido son la exploración de dos gigantescas simas en la meseta de Sarisariña (WHITE *et al.*, 1966) y de una cueva localizada en el Cerro Autana (COLVEE, 1973), fenómenos desarrollados en las cuarcitas precámbricas denominadas Grupo Roraima, en la cuenca del río Orinoco, Territorio Federal del Amazonas (Estado de Venezuela). Estos fenómenos se ha visto que no constituían casos aislados, lo que ha permitido realizar significativos inventarios sobre los mismos (URBANI, *et al.*, 1974 y SZCZERBAN *et al.*, 1974).

En otras regiones del planeta han sido descritos fenómenos de la misma naturaleza, aunque quizá con dimensiones menos espectaculares que los de Venezuela, pero, curiosamente casi siempre en regiones intertropicales húmedas, como Australia (LASSAK, 1970) cerca de Sidney, Brasil (WERNICK, 1973) o Sudáfrica (MARKER, 1976). Este tipo de climas, por lo general, afecta a regiones poco pobladas y, a menudo con un bajo desarrollo económico y social, por lo cual suelen ser áreas poco y mal estudiadas. Ello explica en gran parte el retraso de estos descubrimientos, sin embargo, los procesos que los originan no son del todo ajenos en las regiones templadas y frías, donde también han comenzado a ser considerados estos fenó-

menos; eso sí, con un desarrollo morfológico mucho más modesto que el de aquellos.

Hasta hace pocos años, en algunos manuales y tratados de química, la sílice era considerada insoluble en agua y algo soluble en alcalis. De esta forma, se postulaba que la denudación profunda de las rocas silíceas estaba relacionada con períodos de hidrólisis alcalina (DUCHAUFOR, 1965). Posteriormente se ha comprobado que esto deja de ser así bajo determinados condicionantes ambientales propios de las regiones intertropicales húmedas. Estudios geoquímicos acerca de la sílice han demostrado que las solubilidades de todos los polimorfos de  $\text{SiO}_2$  son virtualmente independientes de la concentración de cualquier otro componente en el agua, así como del pH de ésta siempre que sea inferior a 9, sin embargo, su solubilidad aumenta rápida y considerablemente cuando se supera este valor de pH (ANDERSON, 1972 y CONDIE, 1972-74). Para valores inferiores a  $\text{pH} = 5$ , el proceso de disolución es además lentísimo, pudiendo durar varios meses, mientras que para  $\text{pH} = 8$  el gel formado puede llegar a saturarse en una sola noche (ops. cit.).

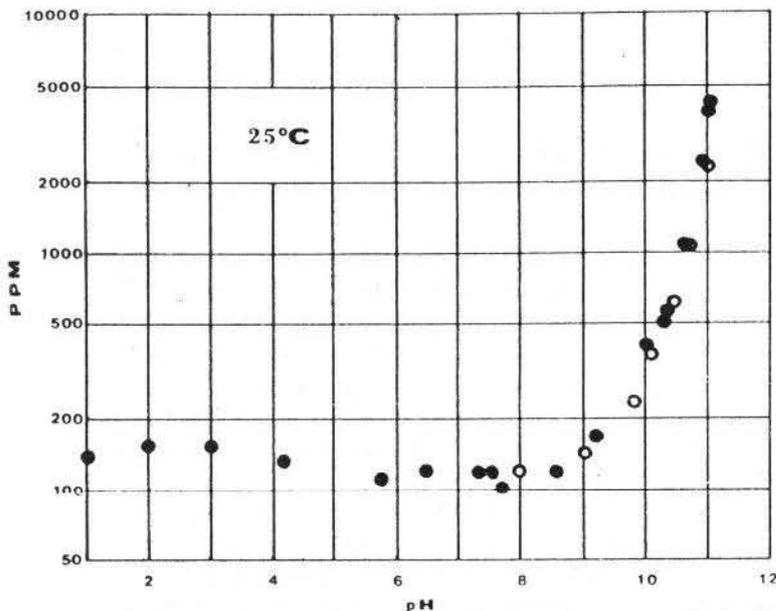


Figura 1.- Variación de la solubilidad de la sílice respecto al pH del agua (según Anderson, 1972).

Otro factor que puede incidir notablemente en la disolución de los distintos polimorfos silíceos es la temperatura (ALEXANDER *et al.*, 1954 y ANDERSON, 1972) según se representa en la figura 2. En este ajuste de la capacidad de disolución frente a las altas temperaturas se fundamenta la utilización del contenido en sílice de las aguas jóvenes como indicador geotermométrico, sin embargo, esto sólo será relativamente fiable en la medida en que se conozca, realmente, el origen de las aguas que hayan sido sometidas a este examen, y siempre que su concentración en sílice sea superior, o muy superior, a 100 ppm.

Esta diferencia de solubilidad observable entre la sílice amorfa y la sílice cristalizada (cuarzo), ha sido reconocida igualmente por DERRUAU (1978), para quien la primera, movilizada por hidrólisis de los silicatos, es treinta veces más soluble que el cuarzo como tal. También señala el referido autor que la disolución de las rocas silíceas es mucho más rápida en las regiones intertropicales que en las templadas.

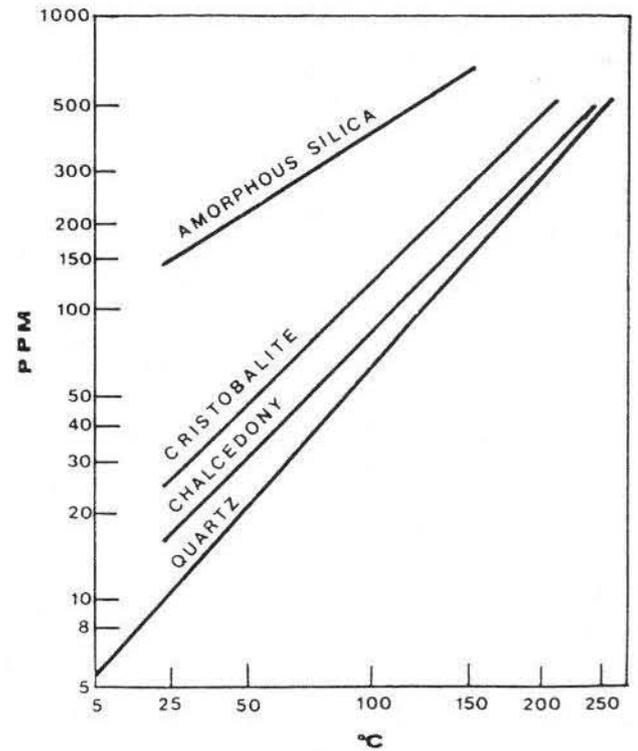


Figura 2.- Variación de la solubilidad de diversos polimorfos silíceos en función de la temperatura (según Alexander *et al.*, 1954)

Estos procesos de disolución de la sílice, ya sea bajo clima templado o tropical, afectarán de forma primordial a las rocas areníticas, tanto si las partículas están formadas por granos de sílice como de feldespatos. En este caso la posibilidad de disolución será mayor, para iguales condiciones ambientales.

#### 4. ASPECTOS QUÍMICOS DE LA KARSTIFICACION DE LAS ARENITAS

Los procesos químicos de meteorización de las rocas comprenden, principalmente dos acciones diferentes, la disolución y la hidrólisis. En el primer caso, se produce la disociación iónica de la red cristalina de los minerales que forman las rocas, con la simple intervención de las cargas iónicas propias del agua ( $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$ ) o recogidas por ésta en su recorrido a través de la atmósfera o del suelo ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc.), con lo que resulta posible, cuando las condiciones de equilibrio se inviertan, la reprecipitación de esos mismos minerales. En cambio, la hidrólisis supone un cambio químico profundo del mineral atacado, que se transforma en otro mineral diferente. El agente de esta descomposición es igualmente el agua, que aprovecha el hecho de que los minerales hidrolizables contienen en su fórmula elementos solubles en estado catiónico, los cuales son liberados por la acción de los grupos  $\text{OH}^-$ , mientras que el residuo insoluble se reorganiza dando lugar a una nueva estructura mineral.

En el caso de las rocas areníticas, existe una total diferencia entre la meteorización química que sufren las calcarenitas y las restantes areniscas clásicas. En el primer caso, el proceso que las ataca es una disolución kárstica en sentido estricto, por lo que no volveremos a insistir sobre ellas dado que la bibliografía

sobre este tipo de procesos es suficientemente extensa y completa a la vez que conocida.

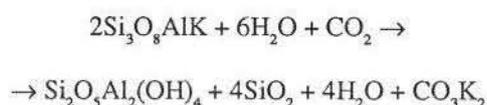
Por lo que respecta a las restantes rocas areníticas cementadas, presentan generalmente una composición a base de cuarzo, feldespatos y fragmentos de rocas, por lo que los procesos de meteorización son producidos por hidrólisis.

Los ejemplos más representativos de este proceso de hidrólisis corresponden a la destrucción química de los silicatos, principalmente de los feldespatos y micas. El resultado de estas reacciones es la formación de una serie de silicatos hidratados que reciben la denominación de arcillas o *minerales de la arcilla* que, junto a los granos de cuarzo constituyen el considerado *residuo insoluble* químicamente estable que se acumula en las depresiones y llanuras sedimentarias de las regiones templadas.

La estabilidad físico-química de un mineral, recordemos que, de acuerdo con la Ley de Goldich, es función inversa de su temperatura de formación, lo cual permite comprender que, precisamente el cuarzo que cristaliza a 570 grados C resulte mucho más estable que los feldespatos y micas que lo hacen por encima de los 600 grado C, y asimismo, las arcillas generadas a temperatura ambiente resulten prácticamente indestructibles salvo en condiciones muy extremas.

Las siguientes reacciones sintetizan algunos de los procesos característicos de la hidrólisis que tienen lugar bajo climas templados:

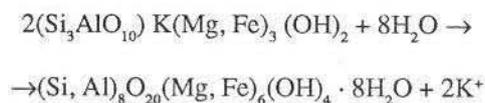
- a) formación de caolinita a partir de la ortosa



- b) formación de montmorillonita a partir de la anortita



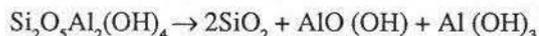
- c) formación de vermiculita a partir de biotita



A su vez, la vermiculita reaccionaría nuevamente con agua para dar lugar a caolinita más limonita.

Todos estos equilibrios químicos resumen una serie de reacciones y procesos intermedios de cierta complejidad, que pasan por la formación de coloides de sílice que se estructura en complejos paracristalinos previamente a su configuración arcillosa final. Esta última depende siempre en mayor o menor grado de las condiciones ambientales (clima), y no tanto de la especie mineralógica original.

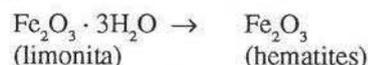
En línea con la afirmación anterior se puede referir el siguiente ejemplo: en climas semiáridos, la ortosa se suele transformar por hidrólisis en illita, en lugar de caolinita, mientras que, bajo condiciones tropicales húmedas, la caolinita resulta inestable y da lugar, a su vez a compuestos aluminicos que con frecuencia devienen en suelos lateríticos y bauxita, según la siguiente reacción:



AlO(OH): bohemita

Al(OH)<sub>3</sub>: gibbsita

Asimismo, la limonita se suele deshidratar por evaporación cuando tienen lugar estos procesos bajo condiciones tropicales, dando lugar a hematites, que es otro de los componentes de color de suelos y depósitos detríticos tropicales:



En condiciones de clima tropical húmedo, la actividad de las reacciones de hidrólisis es del orden de cien veces superior a la propia de los climas templados, debido sobre todo al efecto de la temperatura (por encima de los 20 grados C).

## 5. FORMACIONES ARENTICAS DEL AREA VALENCIANA

En diversas ocasiones he tenido posibilidad de reconocer formas kársticas, especialmente cavidades subterráneas, íntegramente desarrolladas sobre areniscas silíceas de las Península; en concreto participé en la exploración de varios covachones de boca espaciosa -4 a 10 m. de anchura y alrededor de 5 de altura- y escaso desarrollo, casi siempre inferior a los 15 metros de recorrido, ubicadas en diferentes crestones cuarcíticos paleozoicos de los alrededores del Sinclinal de Sequeros (Cáceres). También resulta de interés referir la existencia de numerosas cavidades -generalmente simas- de cierta profundidad, e igualmente de particulares formas de lapiaz y alguna que otra pequeña dolina, excavadas todas ellas en areniscas silíceas de muy bajo o nulo contenido carbonático, pertenecientes a un potente complejo detrítico-recifal de edad Aptiense situado en el macizo del Porracolina (Cantabria). Sobre estos fenómenos me remito a los trabajos de MUGNIER (1969) y GARAY (1981).

Otro dato que puede resultar significativo sobre la disolución de sílice es el contenido de esta sustancia que se encuentra presente en las aguas naturales procedentes de áreas en las que abundan las rocas silíceas, como es el caso de algunos sectores de Pirineos. Así, las aguas minerales embotelladas con la marca Fontdor (Sant Hilari Sacalm, Gerona) presentan un contenido en sílice (Si O<sub>2</sub>) de 17 mg/l frente a un residuo seco (a 110 grados C) de 108 mg/l. Las aguas embotelladas del Balneario de Panticosa (Fuente de San Agustín, Huesca) todavía presentan una concentración mayor: 35 mg/l de Si O<sub>2</sub> para un residuo seco similar (104'5 mg/l). Estas cifras, aunque sensiblemente inferiores al contenido en bicarbonatos, calcio y magnesio que generalmente presentan las aguas kársticas, son bastante significativas de la capacidad de disolución de los minerales de la sílice frente al agua subterránea y, consecuentemente de la incidencia que la migración de la sílice debe suponer para la configuración geomórfica de estas áreas.

Estamos refiriéndonos a las condiciones de disolución actuales, sin entrar todavía en consideración de la historia

geológica y la paleoclimatología que hubiere podido existir. Vemos pues que, a lo largo de un período de tiempo de actuación suficientemente prolongado, no harían falta muchos cronos para que llegara a configurarse un paisaje típico de disolución. Precisamente por el efecto prolongado de las condiciones de intemperismo actuantes desde el Precámbrico se ha explicado recientemente la generación y crecimiento de todas las formas kársticas reconocidas en las cuarcitas del Grupo Roraima de Venezuela.

En lo que respecta a la Comunidad Valenciana, han sido reconocidos algunos fenómenos kársticos, de escasa importancia y desarrollo, que se desarrollan sobre rocas areníticas más o menos silíceas. Con el fin de determinar las posibilidades de ocurrencia de este tipo de fenómenos, lo más sensato es proceder al reconocimiento litoestratigráfico de las diferentes series sedimentarias que caracterizan dicha área. De esta manera es posible destacar todas las formaciones litoestratigráficas de composición arenítica, susceptibles por lo tanto de albergar algún tipo de morfología o modelado kárstico. Su relación, por orden cronoestratigráfico decreciente, es la siguiente:

1) Areniscas del Triásico Inferior (Buntsandstein)

Entre las series detríticas rojas del Triásico Inferior (facies Bunt) destaca la presencia de un característico tramo de areniscas cuya potencia oscila generalmente entre 85 y 130 m. Los afloramientos más representativos de estos materiales se encuentran en las sierras de La Calderona y L'Espadà, donde han sido definidos como Formación Arenisca del Garbí en el marco de la Tesis Doctoral del autor, en curso de realización (Figura 3). También afloran extensamente equivalentes laterales de esta formación en los alrededores de Chelva, donde corresponde a la Formación Areniscas del Cañizar (LOPEZ-GOMEZ *et al.*, 1986), y en el anticlinal de la Rodana (Vilamarxant, Camp de Túria), El dessert de les Palmes y Vilafamés (Plana Alta). Litológicamente se trata, al menos en los afloramientos de L'Espadà y La Calderona, de cuarzoarenitas, a diferencia de las arcosas y subarcosas que resultan predominantes en los términos equivalentes laterales situados más hacia el Oeste (en casi toda la Cordillera Ibérica). Esta variación lateral entre las arcosas interiores y las cuarzoarenitas de esta áreas, responden simplemente a un mayor grado de evolución-selección de las partículas conforme aumenta su distanciamiento del área madre suministradora, de acuerdo con GARCIA-PALACIOS *et al.* (1977).

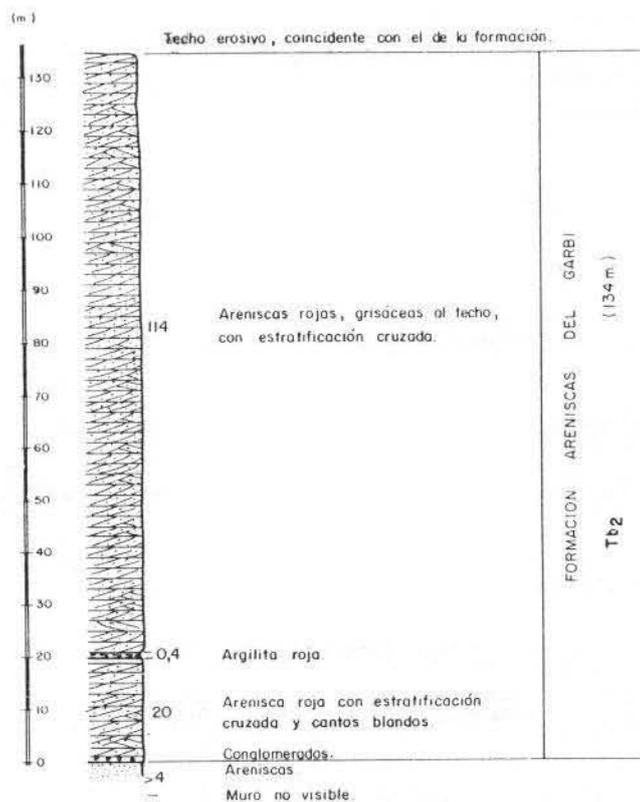
Los componentes principales de esta roca son los granos de cuarzo monocristalino, más o menos redondeados y anhedrales, aunque también se reconocen, con menor frecuencia, otros granos policristalinos y micas; más raramente resultan visibles fragmentos de esquistos y circón. Algunos de estos granos de cuarzo presentan extinción ondulante y Líneas de Bohem, relacionables éstas con presiones tectónicas y/o producidas durante la diagénesis. La matriz es principalmente clorítica y se dispone en pobres masas policristalinas desconectadas entre sí. Esta matriz es el principal componente de color de la roca, que se encuentra fuertemente cementada por cuarzo de sobrecrecimiento sintaxial a partir de los granos monocristalinos. Son frecuentes en los bordes intergranulares, lo que produce una práctica ausencia de porosidad intergranular. Los niveles basales de esta formación suelen contener pasadas conglomeráticas de variable desarrollo, que llegan a alcan-

zar hasta 7 m. (Pina de Montalgrao).

Desde el punto de vista hidrogeológico esta formación se comporta como un acuífero permeable por fisuración, que es capaz de proporcionar importantes caudales hídricos instantáneos, los cuales menguan en pocas horas, con una deficiente capacidad de recuperación de niveles (SANCHIS MOLL *et al.*, 1984).

La circulación subterránea del agua da pie a la posibilidad de disolución de la roca a partir de su red de fisuras, aspecto que ha podido ser comprobado in situ merced a las numerosas galerías mineras abandonadas que existen a lo largo y ancho de la sierra de L'Espadà. En el interior de una de estas minas (Concesión Virgen del Amparo, en Artana) ha sido observada una estrecha galería tectónica agrandada por disolución hasta una anchura de 0'5 m. y más de 5 m. de recorrido transitable.

FORMACION ARENISCAS DEL GARBI  
COLUMNA DE SANT ESPERIT.



Donde mayor densidad de huecos y cavidades presentan estas areniscas es, lógicamente, en aquellos lugares que se encuentran sometidos a procesos ambientales más acusados: zonas escarpadas, cauces fluviales, altiplanos..., de los cuales existen numerosos ejemplos en la región. A pesar de la relativa abundancia y frecuencia de formas asimilables al efecto de la disolución, éstas no alcanzan magnitudes sobresalientes que puedan ser comparadas a las formas producidas sobre las rocas carbonáticas próximas.

2) Tramos sabulosos del Cretácico

En la región suroccidental de la provincia de Castellón (Hoja de Manzanera y su entorno, en prolongación por la

provincia de Teruel) es frecuente reconocer dentro del Aptiense algunos bancos de areniscas silíceas, a veces muy carbonatadas y siempre ferruginosas, en los que llegan a desarrollarse formas de disolución superficial (lapiaz) y, ocasionalmente pequeños conductos impenetrables y fisuras ensanchadas por disolución. La escasa potencia de estos niveles no permite la presencia de un desarrollo hidrogeológico especialmente significativo.

La Formación Arenas de Utrillas, en cambio, presenta en ocasiones potencias considerables, sin embargo, en este caso es la poca consistencia del depósito la que dificulta el desarrollo de morfologías que puedan ser consideradas kársticas. Los procesos dominantes en estas rocas son más bien de tipo erosivo, lo que, a lo sumo podrá dar lugar pequeños conductos temporales originados por procesos de tubificación o *piping*.

Mayor interés presenta la Formación Calizas arenosas de Sácaras, equivalente lateral carbonatado de las Arenas de Utrillas, y de su misma edad (Albiense), que se extiende por el sector central y occidental de la provincia de Valencia. En ella son frecuentes las formas de disolución superficial, así como pequeñas oquedades carentes de interés espeleológico. La composición de estas rocas varía entre calizas sabulosas y areniscas calcáreas, existiendo siempre un cierto componente carbonatado que, sin duda es el principal responsable de la morfología kárstica reconocida.

Algo parecido sucede con el tramo intermedio de la Formación Creu, definida por PULIDO-BOSCH (1979) para el dominio prebético nororiental (provincias de Valencia y Alicante), cuya edad es Campaniense, y que está formado por areniscas silíceas más o menos carbonatadas en las que son muy frecuentes las formas kársticas. A nivel espeleológico ha resultado ser una formación muy *agraciada*, como lo confirma la presencia de grandes cavidades desarrolladas total o parcialmente en estos materiales; tal es el caso del Avenc de Quatretonda (Vall d'Albaida), el sumidero de La Donzella (poljé de Barx, La Safor), la Cova del Suro (FERRER *et al.*, 1984) etc., así como otra serie de formas kársticas bien desarrolladas (campos de dolinas del Pla de Suro, en Pinet, comarca de la Vall d'Albaida).

### 3) Arenas y areniscas del Tortoniense

La depresión litoral de Valencia responde a una cuenca tectónica neógena cuyo interior se encuentra ocupado por dos series sedimentarias. La superior comprende un considerable espesor de materiales detríticos continentales del Cuaternario (más de 100 m.), y la inferior corresponde a materiales neógenos litorales (arenas y areniscas) sobre las que se superponen calizas y margas lacustres del Mioceno terminal-Plioceno.

Estas arenitas, de edad Tortoniense, presentan un grado de consistencia –cementación– variable, dando lugar generalmente a una arenisca poco consistente. Este depósito se caracteriza por una marcada granoselección, de calibre medio a fino y granulometría media, de composición cuarcítica. El cemento es carbonático pero no supera nunca el 40 por ciento del peso del depósito, si bien, con frecuencia suele formar concentraciones y concreciones de tipo calcítico. Presentan un tono amarillento característico.

Esta formación arenosa aflora discontinuamente a lo largo de la cuenca neógena, especialmente en los alrededores de Torrent, Picassent, Almussafes y otras localidades de la

comarca de L'Horta,

Desde un punto de vista hidrogeológico era de esperar que presentase un comportamiento de permeabilidad intergranular, en cambio, el rendimiento y comportamiento hidráulico de las captaciones de agua que se benefician de este acuífero abogan por un comportamiento más bien kárstico, según se desprende de la consulta de los diversos informes realizados por el I.G.M.E. (ahora I.T.G.E.) sobre el Sistema Hidrogeológico núm. 51 (Plana de Valencia) que es el que comprende a los materiales descritos.

No ha sido reconocido en superficie ningún indicio que permita asignar a estos materiales un comportamiento kárstico desde el punto de vista morfodinámico; quizás ello sea debido a que generalmente ocupan zonas deprimidas o llanuras, a menudo cubiertas por depósitos cuaternarios. No obstante, la ocurrencia de un singular fenómeno ocurrido hace unos años en un área vinculada a la presencia de estos materiales, marca sin duda un precedente de gran valor para el esclarecimiento del comportamiento hidrodinámico de estos materiales.

Nos referimos a un hundimiento repentino acaecido a primeros de noviembre de 1983, tras unos días de intensos aguaceros torrenciales (estado de *gota fría*), en el término municipal de Benifaió, concretamente en la partida del Pla de Les Clotxes, en las cercanías del pozo del Pedrenyal.

Tras un reconocimiento del fenómeno, la situación resultó ser la siguiente: el socavón de forma ovalada y con anchuras de 13 y 19 m., presentaba una profundidad máxima de -12 m. En él resultaba reconocible un nivel superior de materiales detríticos cuaternarios, tipo glacis, con una potencia variable de 2 a 5 m. y que servía de soporte a los cultivos cítricos existentes hasta el momento del hundimiento, y un tramo inferior de areniscas del Mioceno marino. Además, el socavón se produjo bajo el trazado de una pequeña acequia de riego. En el momento de la visita, días después del acontecimiento, no afloraba el nivel piezométrico dentro del hoyo.

Al observar de cerca las paredes del socavón comprobamos cómo estaban tapizadas en diversos sectores por concreciones blancas de textura cristalina fibrosa que, mediante el ensayo de Meigen resultaron ser de aragonito. Asimismo, las paredes presentaban una serie de ahuecamientos concoideos subsféricos con radios de 0'5 a 2 m., lo que era señal inequívoca de la cavitación kárstica existente en el seno de este material en las fases anteriores a la ocurrencia del hundimiento.

Aunque resulta prematuro explicar con precisión las causas que condujeron a la formación de este fenómeno, todo hace suponer, de acuerdo con otras observaciones realizadas sobre fenómenos similares (el de Bugarra en 1981, el de Pedreguer, en agosto de 1982, etc.) que el fenómeno, aún cuando responde a causas en sí naturales, estará catalizado, si no producido directamente, con la evolución y las variaciones hidrodinámicas introducidas por la acción del hombre en el uso de las aguas subterráneas. La situación podría ser similar a la que tuvo lugar en el caso del hundimiento de Pedreguer:

- Estado original sin aprovechamientos de las aguas subterráneas, con nivel piezométrico muy próximo a la superficie del terreno.
- Descenso progresivo y/o fuertes oscilaciones de la superficie piezométrica en el área durante varias décadas;

abismamiento de dicha superficie al final del período de sequía 1978-82.

- Prolongadas filtraciones por pérdidas en las conducciones o por la frecuencia de los riegos a manta.
- Cavitación en la zona vadosa y especialmente en la zona de fluctuación epifreática.
- Progresivo crecimiento del/los huecos hasta producir el colapso de la cobertera.

## 6. BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALEXANDER, G.B.; HESTON, W.M. e ILER, R.K. (1954) «The solubility of amorphous silica in water». *Journal Phys. Chem.* 58: 453-455.
- ANDERSON, G.M. (1972) "Silica solubility" in *The encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences*. Ed. R.W. Fairbridge. Van Nostrand Reinhold Co., 4A: 1085-1088.
- CIGNA, A.A. (1978) "A classification of karstic phenomena" *Int. J. of Speleology*, 10: 3-9. U.I.S. Milano.
- COLVEE, P. (1973) "Cueva en cuarcitas en el cerro Autana, Territorio Federal de Amazonas" *Bol. Soc. Venezolana de Espel.*, 4(1): 5-13
- COONDIÉ, K.C. (1972-74) "Silicon" in *Handbook of Geochemistry*. Ed. K.H. WEDEPOHL. Springer-Verlag.
- CVIJC, J. (1960) "La géographie des terrains calcaires" *Monogr. Acad. Serbe Sc. et Arts, CCCXLI, Cl. Sc. Math. Nat.*, 26: 141-207. Beograd.
- DERRUAU, M. (1978) "Geomorfología" Ed. Ariel, 2ª ed. ampliada, 528 pp. Barcelona.
- DUCHAUFOUR, P. (1965) "Precis de Pédologie" Masson & Cie., Paris.
- ERASO, A. (1975) "Nuevo método en la investigación del karst. Los modelos naturales y la convergencia de formas" *Cuad. Geogr. Univ. Granada. Serie Monogr.*, 1: 121-126. También en *Speleon*, 22: 35-42 (1975-76). Barcelona.
- FERRER, E. y GIMÉNEZ, R. (1984) "Cavidades del Mirador (Barx-Simat de Valldigna)" *Lapiaz*, 13: 54-62. Ed. Fed. Val. Espel.
- GARAY, P. (1982) "Resultados de una campaña espeleológica en Calseca (macizo del Porracolina - Cantabria)" *Lapiaz*, 8: 46-57. Ed. Fed. Val. Espel.
- GARCÍA-PALACIOS, M.C.; LUCAS, J.; DE LA PEÑA, J.A. y MARFIL, R. (1977) "La cuenca triásica de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. I) Petrografía y Minerología" *Cuad. Geol. Ibér.*, 4: 341-354. Madrid.
- GEZE, B. (1951) "Cavités souterraines et dolines dans roches non karstiques" *Ann. Spéléol.*, 6(2-3): 61-66.
- GEZE, B. (1973) "Lexique des termes français de Spéléologie physique et de karstologie" *Ann. Spéléol.*, 28(1): 1-20.
- GORTANI, M. (1933) "Per lo studio idrologico e morfologico delle regioni carsiche e semicarsiche italiane" *Att. Congr. Speleol. Maz.*: 109-115. Trieste.
- LASSAK, E. (1970) "A note on some noncalcareous stalactites from the sandstones of the Sydney Basin, N.S.W." *Royal Soc. N.S.W. Jour. Proc.*, 103: 11-14.
- LÓPEZ-GÓMEZ, J. y ARCHE, A. (1986) "Estratigrafía del Pérmico y Triásico en facies Buntsanstein y Muschelkalk en el sector sureste de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica (provincias de Cuenca y Valencia)" *Est. Geol.*, 42(4-5): 259-270.
- LLOPIS LLADO, N. (1970) "Fundamentos de Hidrogeología cárstica (Introducción a la Geoespeleología)" Ed. Blume, 269 pp. Madrid.
- MANGIN, A. (1974) "Notion des systèmes karstiques" *Spelunca, mém.*, 8: 65-68. Paris.
- MANGIN, A. (1975) "Contribution á l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques" *Ann. Spéléol.*, 29(3): 283-332; 29(4): 495-601; 30(1): 21-124.
- MANGIN, A. (1982) "L'approche systématique du karst, conséquences conceptuelles et méthodologiques" *Reun. Monogr. Karst*: 141-157. Larra.
- MARKER, M.E. (1976) "Note of some South African pseudokarst" *Bol. Soc. Venez. Espel.*, 7(13): 5-12. Caracas.
- MONROE, W.H. (1970) "A glossary of karst terminology" *U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper*, 1999-K, 26 pp.
- MUGNIER, C. (1969) "El Karst de la región de Asón y su evolución morfológica" *Cuad. de Espeleol.*, 4: 1-146. Santander.
- PULIDO BOSCH, A. (1979) "Contribución al conocimiento de la Hidrología del Prebético Nororiental" *Mem. del IGME*, tomo 95, Madrid.
- SANCHIS MOLL, E; DELGADO, S. y MORELL, I. (1984) "Consideraciones sobre el aprovechamiento del Buntsandstein Medio como acuífero para abastecimiento urbano en el área de la sierra del Espadán (Valencia)" *Iº Congr. Español de Geol.*, IV: 353-264. Segovia.
- SZCZERBAN, E. y URBAIN, F. (1974) "Carsos de Venezuela. Parte 4: Formas cársticas en areniscas precámbricas del Territorio Federal Amazonas y Estado Bolívar" *Bol. Soc. Venez. Espel.*, 5(1): 27-54. Caracas.
- UNESCO-FAO (1972) "Glossary and multilingual equivalents of karst terms" *First preliminary ed.* Paris.
- URBAIN, F. y SZCZERBAN, E. (1974) "Venezuelan caves in non-carbonate rocks: a new field in karst research" *N.S.S. News*, 32(12): 233-235.
- URBAIN, F. y SZCZERBAN, E. (1975) "Formas pseudocársticas en granito rapakivi precámbrico en el Territorio Federal Amazonas" *Bol. Soc. Venez. Espel.*, 6(12): 57-70. Caracas.
- WERNICK, E. (1973) "Cavernas en Arenito" *Not. Geomorfol.*, 13(26): 55-67. Brasil.
- WHITE, W.B.; JEFERSON, G.L. y HAMAN, J.F. (1966) "Quartzite karst in Southeastern Venezuela" *Int. J. Speleol.*, 2(4): 309-314. Lehre.