

Nota preliminar sobre la influencia climática en la evolución espeleogenética de los yesos con especial referencia a los afloramientos kársticos de Sorbas (España) y de Emilia-Romagna (Italia). (1)

Calaforra, J.M. *; Forti, P. **; Pulido-Bosch, A. ***

*Departamento de Geodinámica. Campus Universitario de Almería

** Istituto Italiano di Speleologia - via Zamboni 67- 40127 Bologna Italia

***Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada

(1) Trabajo efectuado en el ámbito de la Acción Integrada Italia-España (1A)

Abstract

Karst aquifers in evaporitic rocks (especially gypsum) are present in several regions worldwide and some of them have important water resources; nevertheless their knowledge is far lower than that of others fissured aquifers.

The present research has the aim to investigate the role of climate in the evolution of karst drainage in gypsum areas as well as its influence on hydrodynamics and hydrochemistry of the hosted waters.

This preliminary work analyses the influence of climate on the development of different hypogean and epigean morphologies in several areas of the world. Then a detailed analysis of the karst forms present in the two studied areas is presented.

Resumen

Los acuíferos kársticos en rocas evaporíticas (especialmente yesos) están presentes en muchas regiones de todo el mundo y en algunos casos representan recursos hídricos muy importantes; sin embargo no han sido todavía tan estudiados como otros tipos de acuíferos por fisuración.

Esta investigación se propone profundizar en el estudio de la influencia que el clima tiene en la evolución de los conductos kársticos que drenan la áreas kársticas yesíferas desde el punto de vista hidrodinámico e hidroquímico de las aguas que circulan en los mismos.

En este primer trabajo son particularmente analizados los mecanismos, esencialmente climáticos, que determinan una evolución particular de las formas kársticas epígeas en las distintas áreas climáticas mundiales. Se realiza un examen en detalle de

las similitudes y las diferencias encontradas entre las dos áreas de estudio.

Riassunto

Gli acquiferi carsici in rocce evaporitiche (segnatamente gessi) sono presenti in molte regioni di tutto il mondo ed in vari casi rappresentano risorse idriche non trascurabili: essi comunque risultano ancora in generale non ben conosciuti e studiati rispetto ad altri tipi di acquiferi fessurati.

Questa ricerca si propone di approfondire lo studio sull'influenza che il clima ha sia sull'evoluzione dei condotti carsici drenanti le aree carsiche gessose sia sull'idrodinamica e l'idrochimica delle acque circolanti nelle stesse.

In questo primo lavoro vengono in particolare analizzati i meccanismi, essenzialmente climatici, che portano all'evoluzione di particolari forme carsiche epigee nelle varie aree climatiche mondiali. Si passa quindi ad una disamina in dettaglio delle somiglianze e delle differenze riscontrate nelle due aree oggetto dello studio.

Introducción

Los acuíferos kársticos en rocas evaporíticas, en especial los yesos de distintas edades, afloran ampliamente por todo el mundo: dentro del arco mediterráneo están particularmente representados en España, Italia y Argelia (Fig. 1).

Sus reservas hídricas significan un recurso no desdeñable ya sea para riego o incluso para el aprovechamiento como agua potable como en el caso de Sicilia.

El aprovechamiento agrícola e incluso, en algunas ocasiones, la utilización como agua de consumo urbano de los recursos hídricos de acuíferos yesíferos, resulta especialmente importante en áreas subdesérticas como la depresión de Sorbas en Almería. La escasez de recursos hídricos mejorables desde el punto de vista de la potabilidad, implica que en áreas de estas características la explotación de aguas con alto contenido salino se convierta en un recurso nada desdeñable.

En otros casos, la presencia de aguas sulfatadas-cálcicas o cloruradas-sódicas relacionadas con acuíferos yesíferos, supone un verdadero problema de "contaminación" de otros acuíferos o aguas superficiales limítrofes de mejor calidad química. Tal es el caso del acuífero yesífero del Trías de Antequera (Málaga, España), donde el importante aporte salino de sus aguas inhabilita para el consumo humano el agua de escorrentía.

Estos factores demuestran la disparidad de situaciones a la hora de gestionar los recursos hídricos de un acuífero yesífero, de forma que no se puede establecer un caso genérico para su explotación, pues el plan de actuación depende de un contexto mucho más amplio donde intervienen múltiples elementos no sólo físico-químicos sino también sociales y económicos.

Las características de la circulación hídrica profunda en las formaciones yesíferas son del todo particulares, de forma que la evolución de los conductos de drenaje kárstico en los yesos resulta extremadamente rápida, condicionada por la elevada solubilidad de la roca que determina el peculiar quimismo de sus aguas.

Por estos motivos, para una correcta gestión de los recursos hídricos de este tipo de acuíferos, es necesario conocer las características hidrodinámicas e hidroquímicas con el fin de poder evaluar exactamente el riesgo de contaminación.

Además, para una correcta valoración de los recursos hídricos almacenados y por lo tanto potencialmente explotables es necesario conocer los mecanismos espeleogenéticos activos en el interior de estas formaciones y la morfología de las cavidades resul-

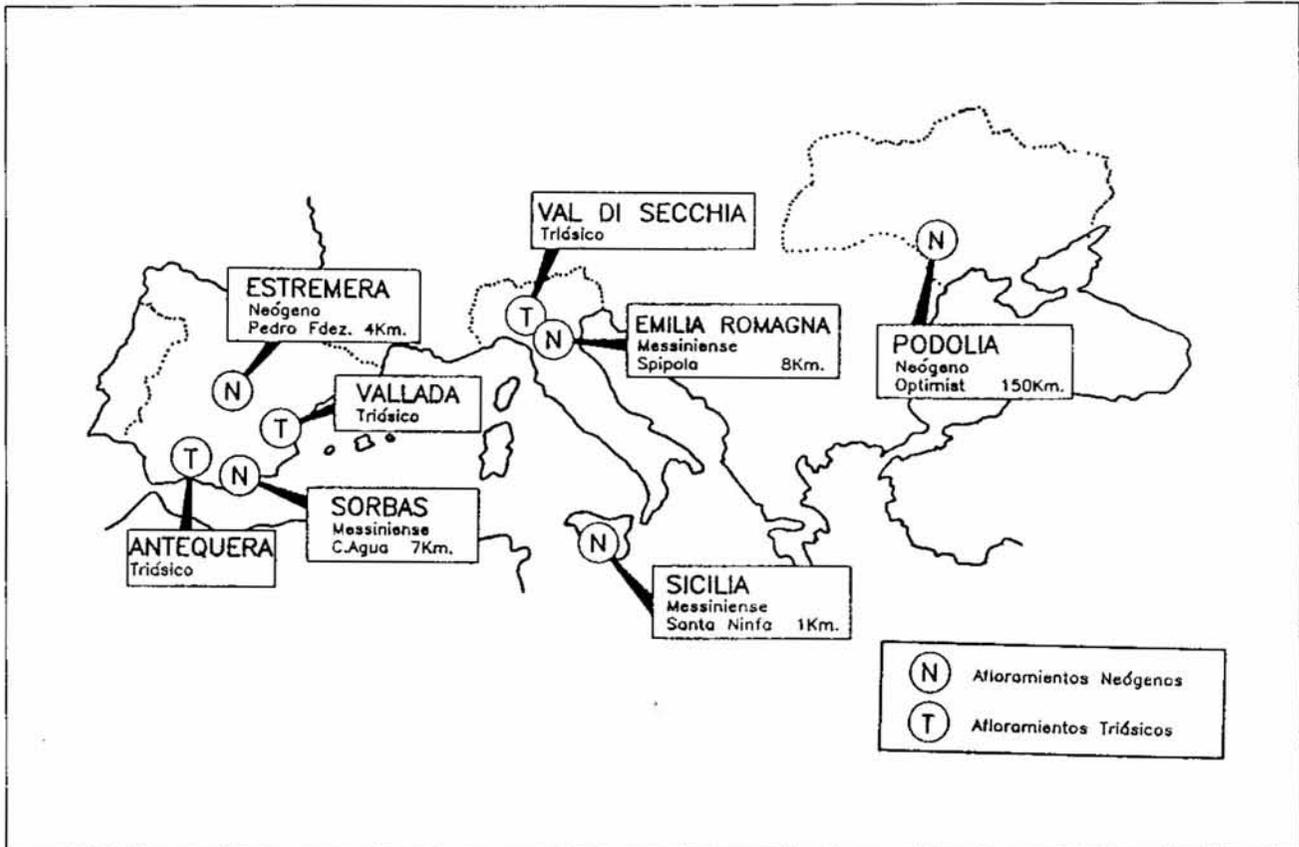


Figura 1. Principales áreas yesíferas karstificadas en el Mediterráneo

tantes, en función de las particularidades hidrodinámicas locales.

En este primer trabajo se considerará sobre todo la evolución espeleogénica y kárstica en los yesos, con atención particular a las condiciones climáticas.

Se pasa por consiguiente a considerar algunas de las posibles formas morfológicas resultantes que se pueden encontrar en las distintas áreas evaporíticas mundiales, con particular referencia a las áreas españolas e italianas.

La circulación hídrica en los yesos como factor condicionante de la espeleogénesis

La roca yesífera, especialmente la de tipo macrocristalina (tal como los afloramientos seleníticos messinienses) son en general poco permeables por porosidad. La infiltración inicial, y la circulación hipógea posterior, tiene lugar esencialmente a lo largo de líneas estructurales, que controlan y dirigen el desarrollo de la karstificación y, en última instancia, las direcciones del flujo subterráneo. Con ello no queremos

decir que la porosidad intrínseca de la roca yesífera macrocristalina no juegue también un papel importante en cuanto al régimen hídrico de los manantiales relacionados con este tipo de materiales. Sirva como ejemplo el karst en yesos de Sorbas, donde las surgencias kársticas de los niveles yesíferos presentan una gran inercia en cuanto a la variación de sus caudales de descarga: el manantial de Las Viñicas (Sorbas) mantiene caudales excesivamente elevados durante largos periodos, no explicables con la escasa precipitación de esta zona semiárida.

La evolución de la karstificación en yesos parece, a primera vista, más 'simple' que la evolución en rocas carbonatadas donde, a pesar de ser muy agresiva, el control estructural no es total, influyendo también en algunos casos particulares (PASSERI, 1972; MENICETTI, 1990) la porosidad primaria.

Sin embargo, es frecuente encontrar acuíferos yesíferos cuyo comportamiento hidrodinámico puede ser explicado si consideramos dichos acuíferos como de doble porosidad. En el karst yesí-

fero de Sorbas, la constancia en caudal de algunos manantiales durante periodos muy largos de estiaje hace pensar que la roca yesífera macrocristalina puede actuar como bloques acuitados que confiere una gran inercia a la misma (CALAFORRA, 1986; CALAFORRA y PULIDO BOSCH, 1987) Ejemplos similares se han descrito para materiales yesíferos del Triás donde el importante aumento en la concentración en sales de los mismos tras grandes lluvias, permite barajar como hipótesis inicial de trabajo que dichos acuíferos pueden tener una doble porosidad (CALAFORRA y PULIDO BOSCH, 1989).

La elevada solubilidad de los yesos (cerca de 2 g/l) hace que la evolución de los conductos sea generalmente muy rápida y por lo tanto que la evolución de estos tenga lugar en un tiempo del orden de 1-2 veces inferior a los registrados en ambiente carbonático. Esto lleva consigo la rápida formación de galerías que ligan directamente los puntos de entrada y la creación de cavidades muy simples y poco ramificadas.

Sólo en casos particulares, con



Foto 1. Aspecto general del afloramiento yesífero de la Reserva de Pinega en Siberia (foto: Paolo Forti)

grandes masas de agua que fluyen lentamente en condiciones epifreáticas en formaciones muy tectonizadas pero con disposición monoclinas subhorizontal, se pueden obtener "redes laberínticas bidimensionales", como en el caso de los yesos de Ucrania (JACUKS, 1977; FORD, 1988). En todos los otros casos la hidrodinámica en el interior de las formaciones yesíferas, debido a la rápida circulación del agua, dará lugar a la formación de cavidades bien individualizadas con recorridos rectilíneos controlados claramente por la fracturación.

La velocidad de desarrollo de los conductos kársticos en los yesos tiene como consecuencia, por una parte, el dimensionado de los mismos por el máximo caudal posible (es decir, el caudal de avenidas), con una oscilación mínima del nivel freático; por otro lado, la formación de las cavidades kársticas en distintos planos

superpuestos se desarrolla a medida que varía la cota del punto de emergencia, o bien en acuíferos multicapa con niveles impermeables o semipermeables interestratificados. El equilibrio con el nuevo nivel de base es breve en el tiempo aunque puede variar según los lugares en función del caudal del curso de agua subterráneo y del gradiente hidráulico.

Sin embargo, quisiéramos realizar la siguiente consideración: aunque la velocidad de desarrollo de conductos kársticos en materiales yesíferos pueda ser mayor que en terrenos calcáreos, no implica directamente que las formas desarrolladas en yesos tengan que ser más recientes que las desarrolladas en calizas. El "desarrollo geomorfológico" de una cavidad está en relación con las características físico-químicas del medio. Es decir, si en un mismo área, con la misma influencia de agentes geomorfológicos, encon-

tramos un karst calcáreo y otro evaporítico (caso de *Salinas y Sierra Gorda* en Granada, España), no hay motivo para pensar que el karst evaporítico es más reciente que el karst calcáreo, sino que más bien ambos son consecuencia de los mismos procesos desarrollados en el mismo intervalo de tiempo, lo único que puede variar es la magnitud, en suma, la "intensidad de karstificación".

De acuerdo con esta idea, en el sistema Spipola-Aquafredda en el afloramiento yesífero de Bolonia, se ha podido observar cómo debido a un descenso de la superficie freática de cerca de 10 m por debajo del nivel de la surgencia, descenso repentinamente inducido por los trabajos de explotación en una cantera, se ha activado un proceso espeleogenético de carácter remontante; después de poco más de 10 años el río subterráneo, incluso en los periodos de crecida, no discurría en su antiguo nivel más allá de 500 m del punto de descarga, mientras que en periodo de aguas bajas permanecía seco en los 300 m ulteriores. Se puede deducir que un conducto kárstico dimensionado al menos para un caudal de unos 200 l/s (tal es el caudal de crecida de dicho sistema) ha sido "excavado" a una velocidad de cerca de 50 m/año (FORTI y FRANCAVILLA, 1990).

La elevada velocidad de flujo y la relación con el nivel de base local hace que, en general, las cavidades kársticas en yesos estén caracterizadas por largos conductos subhorizontales, enlazados con los puntos de entrada por pozos verticales.

La misma morfología de los conductos en el interior de las formaciones yesíferas, vista la baja capacidad de almacenamiento, depende directamente, como veremos más adelante, de la circulación del agua posterior a la infiltración y, en última instancia, de la precipitación.

Otra característica de las cavidades kársticas en yesos es que, a diferencia de lo que ocurre en rocas calcáreas, su desarrollo en la zona saturada debe ser explicado mediante mecanismos espeleogenéticos particulares tales como la inyección de aguas profundas no sulfatadas (mezcla de aguas) o incremento en el contenido de cloruros (aumento de la

fuerza iónica). Este hecho tiene una notable importancia para la capacidad de almacenamiento ya que esta resultará, en general, inferior a la que se pueda producir en rocas calcáreas.

Influencia climática sobre la evolución de las formas kársticas epigeas

La velocidad de disolución de los yesos hace que en la evolución de las principales formas kársticas epigeas, un papel fundamental sea jugado por el clima y especialmente por la cantidad y tipo de precipitación.

En la *zona ártica* el clima está caracterizado por abundantes precipitaciones en forma de nieve, temperaturas inferiores a cero grados incluso a varios metros por debajo del suelo durante muchos meses al año, un periodo muy corto de deshielo y un breve periodo seco.

Estas condiciones no permiten una disolución difusa del yeso en afloramiento y por tanto las microformas superficiales son raras (FORTI, 1990) y se encuentran normalmente en zonas protegidas, tales como cercanas a las bocas en las surgencias o en pequeñas represas de los ríos, que garantizan un microclima tal que el flujo de agua sobre la roca no sea de carácter episódico.

Entre las macroformas, las más comunes son las dolinas de disolución subcutánea (foto 1) o bien las de hundimiento: en ambos casos la disolución del yeso tiene lugar desde pocos metros a 20-30 metros por debajo de la superficie, en zonas en las que es posible un flujo continuo y por lo tanto una renovación de agua.

En los pocos lugares en los que los torrentes alimentados por el agua de deshielo encuentran la roca yesífera descubierta se desarrollan rápidamente grandes pozos verticales con secciones subcirculares que con una elevada velocidad de desarrollo tienden a enlazar inmediatamente el curso epigeo con el nivel de base hipógeo donde se desarrollan las galerías horizontales de unión con el punto de descarga: un ejemplo clásico de esta morfología es el *Pozo Golubinski* (con una profundidad de unos 40 m) que se abre en la reserva de Pinega en Siberia septentrional (FORTI,

1990).

En las *zonas alpinas*, caracterizadas por abundantes precipitaciones, parcialmente en forma de nieve, y un periodo variable por debajo de cero grados, se observa siempre un evolución rápida de las formas kársticas epigeas e hipógeas, generalmente representadas por profundos pozos circulares de un diámetro no demasiado grande, circundado de pináculos y agujas residuales. En estas condiciones, en los yesos que afloran en el entorno de Courmayeur en el Valle de Aosta (CONSIGLI, comunicación personal), pozos de unos 10 m de profundidad y un metro de diámetro pueden ser excavados en el transcurso de un solo año. La extrema velocidad de la disolución hace que las formas kársticas resultantes no se conserven en extensión

y por lo tanto no se puedan desarrollar grandes macroformas como dolinas o valles ciegos.

En las *zonas templadas-húmedas*, como las de prácticamente toda Italia, donde se tienen precipitaciones de medias a abundantes y distribuidas por todo el año, se nota un gran desarrollo de macroformas, sobre todo grandes dolinas (hasta de 500 m de diámetro y 100 m de profundidad) y valles ciegos (foto 2).

La evolución de estas formas tiende invariablemente a transformar los cursos de agua hipógeos en epigeos (FORTI y FRANCAVILLA, 1988) debido a la erosión-disolución remontante, que caracteriza los valles fluviales, y a la disolución-corrosión por condensación, particularmente activa en este clima en el interior de las cavidades kársticas (CIGNA y FOR-

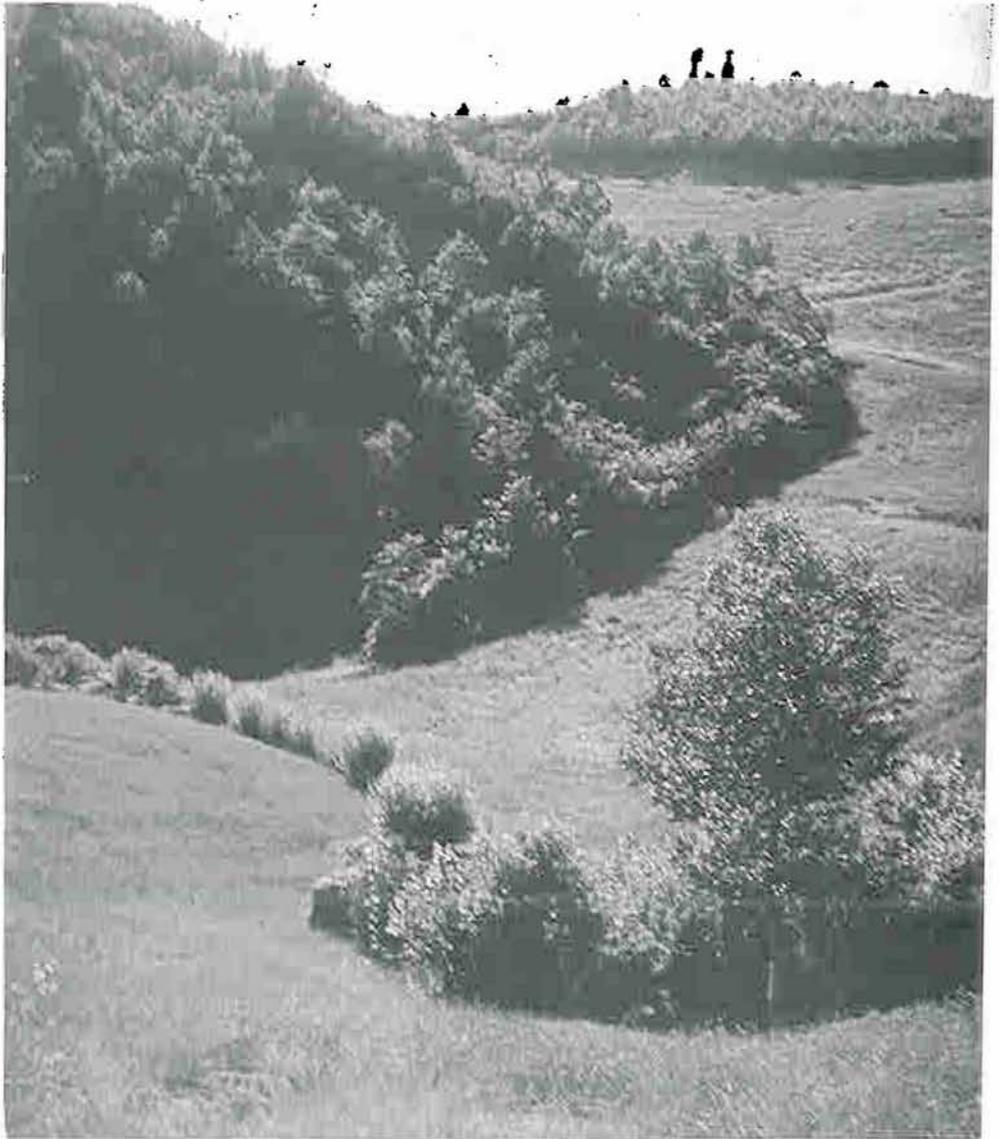


Foto 2. Dolina de la Spipola, Bologna (Italia). (foto: L. Donini)

TI, 1986).

El desarrollo de las microformas, en estas condiciones, está estrechamente controlado por el tamaño de cristal del yeso: en el de tipo microcristalino, de hecho, se puede encontrar una gran abundancia de karren y otras microformas, mientras que en los yesos microcristalinos la disgregación de la roca en cristales corroídos impide, en parte, la génesis de tales formas (MACALUSO y SAURO, 1992).

En la zona templada-árida (como en los yesos de Sorbas en España) la casi ausencia de precipitaciones no permite el desarrollo de grandes macroformas: grandes dolinas y valles ciegos están prácticamente ausentes, mientras que son muy comunes pequeñas dolinas bastante verticales en los mismos puntos de infiltración del agua (depresión de la Cueva del Agua, foto 3) que finalizan con "candelas" de dimensiones generalmente mucho mayores que las presentes en la zona templada.

Los yesos de Sorbas presentan un gran desarrollo de "túmulos" (*bolle di scollamento*) que, aunque presentes también en la zona templada-húmeda, tienen unas dimensiones horizontales y verticales mucho mayores (PULIDO-BOSCH, 1982; CALAFORRA, 1986; FORTI, 1987).

En las regiones tropicales-húmedas los fenómenos kársticos en yesos no están todavía bien estudiados, debido tal vez a que las zonas en las cuales pueden darse tales fenómenos están muy arealmente limitadas y sobre todo porque la extrema solubilidad de la roca yesífera hace que las formaciones aflorantes en zonas pluviales sean rápidamente demolidas.

Una de las áreas tropicales (CHIESI et al, 1992) donde la morfología kárstica en yeso puede ser observada es en Cuba, donde existen dos pequeñas estructuras diapíricas: en *Punta Alegre* el relieve yesífero está protegido en parte por un estrato calizo poco potente (2-5 m de espesor) que impide que el yeso subyacente sufra una excesiva y generalizada erosión.

Toda este área está caracterizada por la existencia de dolinas bastante amplias (100-200 m de diámetro) y una profundidad de 30-

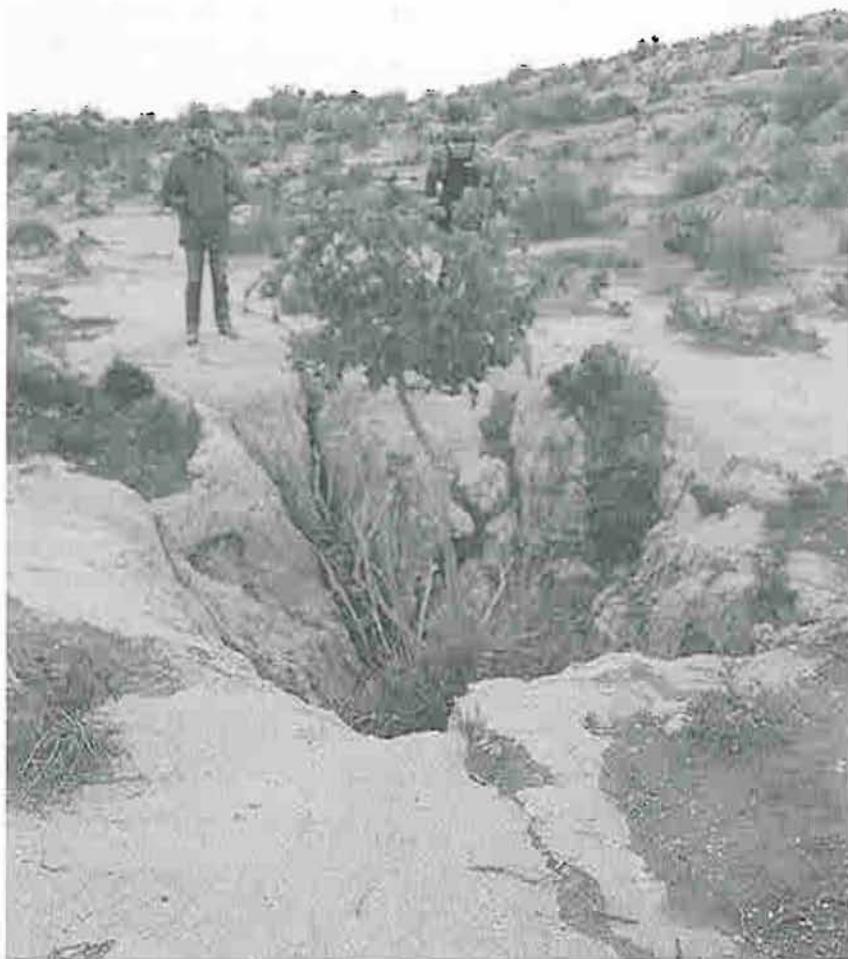


Foto 3. Pequeñas dolinas en la Cueva del Agua, Sorbas (España). (foto: J. García Sánchez)

40 m: en todos los lugares donde el yeso no está protegido por los niveles calizos la erosión-disolución hace que el afloramiento yesífero se encuentre de 80 cm a 150 cm más bajo que en las zonas donde el yeso está parcialmente protegido por las calizas.

Las microformas kársticas están siempre bien desarrolladas y presentan en estas condiciones climáticas dimensiones y desarrollo similar a la de rocas calcáreas.

En ambiente tropical la denudación de la roca yesífera en superficie procede no sólo con el método kárstico clásico de disolución y corrosión sino también mediante la disgregación térmica: de hecho, las superficies descubiertas, sobre todo aquellas orientadas al Sur, sufren una fuerte deshidratación con transformación del yeso a basanita con la consiguiente pulverización de la roca que se ve desmantelada rápida-

mente por la acción del viento u otros agentes atmosféricos (CHIESI et al, 1992).

Influencia climática sobre la evolución de las formas kársticas hipógeas

Si la influencia climática está bien marcada en el desarrollo de las formas kársticas epígeas, tal y como ha sido brevemente ilustrado en el apartado precedente, mucho mayor es la influencia del tipo y de la cantidad de precipitaciones sobre la espeleogénesis.

No sólo varían con el clima las dimensiones de las cavidades en yeso, sino que también se encuentran entre ellas diferencias geomorfológicas.

En las zonas polares (como las de Siberia Nor-occidental) se observan casi exclusivamente grandes conductos freáticos subcirculares (FORTI, 1990; foto 4), que se

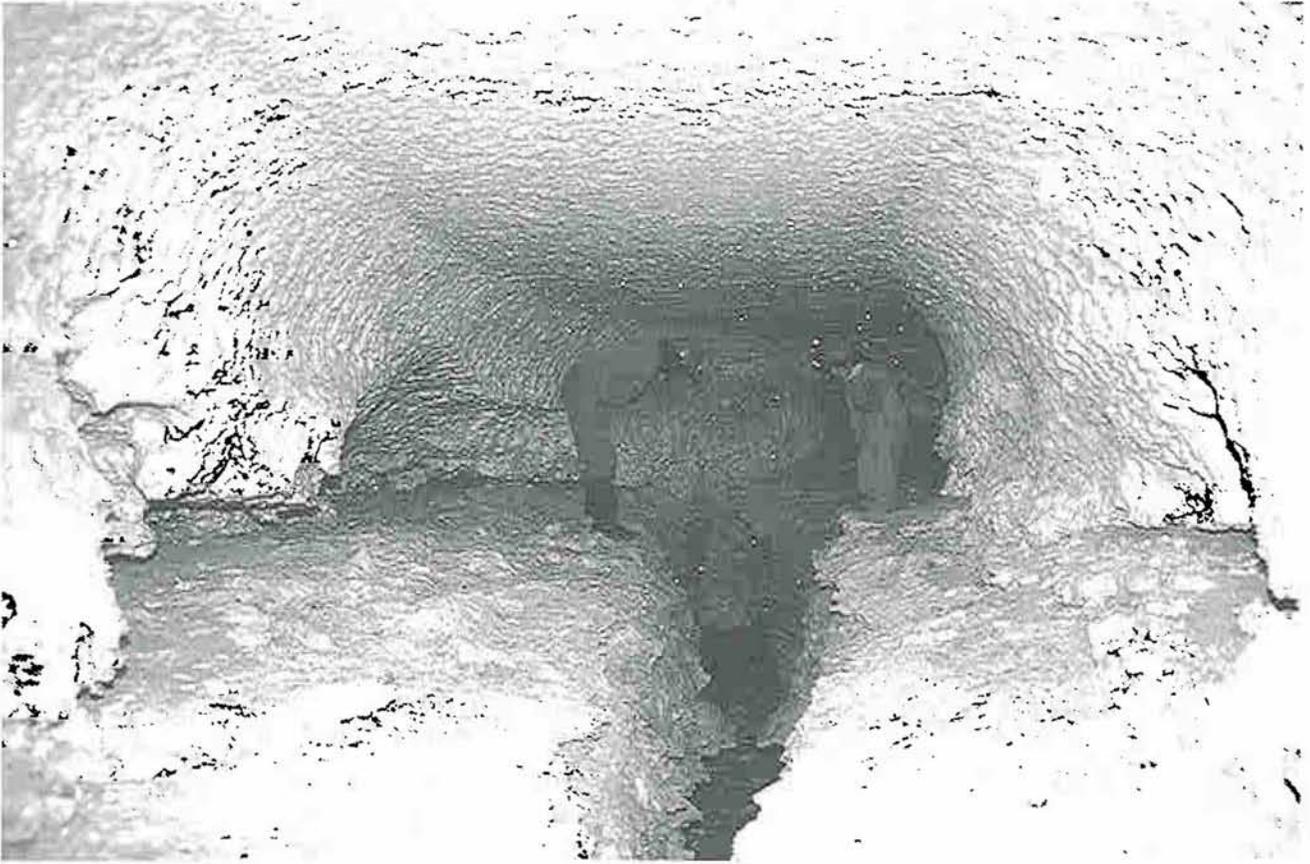


Foto 4. Conductos subcirculares en galerías de las cavidades de la Zona Polar (foto: P. Forti)

originan gracias a los grandes aportes hídricos en los meses de deshielo; estos conductos subhorizontales se desarrollan de forma lineal desde el punto de descarga (normalmente una resurgencia a nivel de un río) hasta el pozo vertical de entrada, que cuando es accesible corresponde siempre a un pozo en cascada clásico: a lo largo de su desarrollo se pueden encontrar, si bien no es demasiado frecuente, galerías laterales que corresponden a los aportes hídricos que provienen de los diferentes puntos de acceso.

En los yesos de Almería en España, por el contrario, donde el clima es *subárido* con precipitaciones muy escasas (150-200 mm/año) y concentradas en más de un 30% en una única lluvia torrencial, la forma de las galerías está más condicionada por la erosión de los interestratos margoso-arcillosos que por la propia disolución del yeso, con el consiguiente desarrollo de morfologías mixtas estructurales y graviclásticas (CALAFORRA, 1986). También en este caso, las cavidades son suficientemente simples, con largas galerías subhorizontales

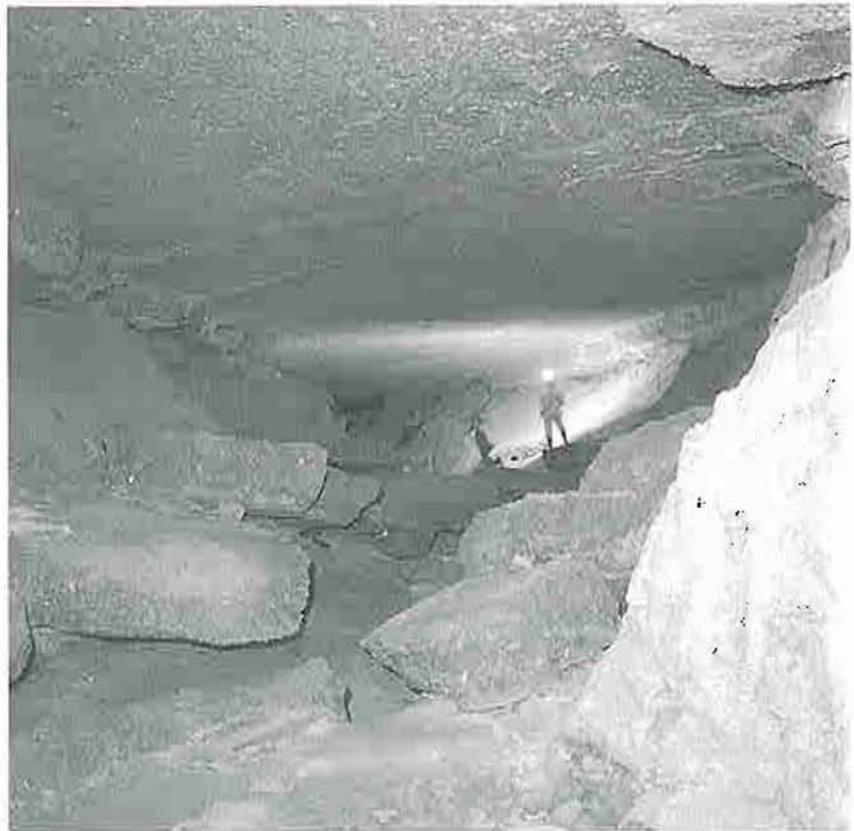


Foto 5. Galería desarrollada en un interestrato margoso (Sorbas, España) (foto: J. García Sánchez)

correspondientes a los niveles sucesivos de profundización de la karstificación (foto 5), correlacionables con la incisión externa del macizo yesífero. Los distintos planos de la cavidad se unen entre ellos por pozos verticales que, en ocasiones, intersectan el sistema kárstico en toda su profundidad.

En las regiones *templadas-húmedas*, como las italianas, las formas observables son complejas y variables: dependen del dominio de la erosión sobre la disolución y de la hidrodinámica local del sistema (FORTI, 1987). Las cavidades presentan morfologías tanto vadosas como freáticas, con presencia de toda una serie de morfologías complejas ya sean estructurales o de disolución: entre estas podemos citar los clásicos pozos en cascada, grandes salas clásticas, galerías paragenéticas (foto 6), cañones, etc... El desarrollo de las cavidades puede ser notable y sobre todo la profundidad puede superar los 240 m (que representa actualmente el récord de profundidad mundial en yesos).

En las regiones *tropicales* las cavidades en yeso son en general muy pequeñas, con tan sólo unas decenas de metros de profundidad y longitud como máximo: se trata siempre, al menos en el caso de *Punta Alegre* en Cuba, de pequeños sumideros subverticales que finalizan, antes de alcanzar el nivel de base, en pequeños y estrechos meandros impenetrables rellenos de material detrítico que las lluvias torrenciales llevan al interior de la misma cavidad.

Influencia del clima sobre el concrecionamiento

Si los efectos climáticos son bien evidentes en la karstificación superficial y profunda de los yesos, mucho más estrecho es el control que el clima y las precipitaciones tienen sobre el tipo de depósitos químicos que podemos encontrar en las cavidades en yeso.

El concrecionamiento de estas cavidades, en general, no es tan abundante como en las cavidades calcáreas, aunque existen excepciones de cavidades yesíferas especialmente ornamentadas como en el caso de los yesos de *Sorbas*.

Dos son los tipos de concrecio-

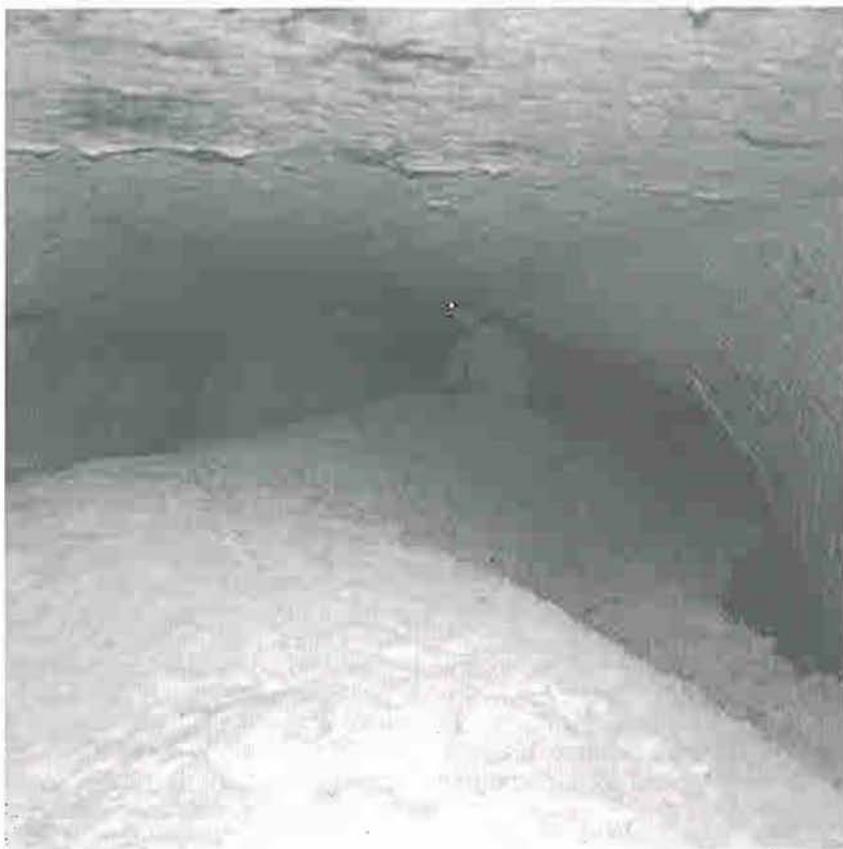


Foto 6. Galería paragenética en el sistema Spipola-Acquafredda, Bologna (Italia) (foto: J.M. Calaforra)



Foto 7. Concreciones carbonatadas en la Grotta Novella, Bologna (Italia) (foto: J. García Sánchez)

namiento que pueden encontrarse en las cavidades en yeso: espeleotemas yesíferos y espeleotemas de carbonato cálcico (normalmente calcita).

En algunas cavidades estos dos tipos de concrecionamiento pueden estar presentes contemporáneamente, mientras que en otras encontramos alternativamente uno u otro tipo.

El mecanismo de depósito de estos dos minerales en ambiente kárstico es totalmente diferente: de hecho, el yeso sólo puede depositarse por sobresaturación debida a la evaporación, mientras que la calcita se deposita por desprendimiento del anhídrido carbónico en ambiente aéreo.

Estos dos mecanismos están influenciados de manera netamente diferente por las variaciones climáticas, y por tanto, el control sobre qué tipo de concrecionamiento se podrá formar en el interior de una cavidad yesífera está determinado claramente por el clima.

En las *áreas polares* está totalmente ausente cualquier tipo de concrecionamiento ya sea calcítico o yesífero porque la temperatura, extremadamente baja, impide la evaporación y por tanto el depósito de yeso debido a que el rápido aporte de grandes cantidades de agua poco mineralizada durante el deshielo impide la formación de una costra calcítica. La única forma de depósito químico observable es una particular forma de yeso pulverulento que se acumula en el periodo invernal sobre las coladas de hielo (FORTI, 1990b): estos depósitos se deben a la sobresaturación del agua de percolación producida por la congelación total de la solución en el interior de la cavidad.

El concrecionamiento carbonatado predomina en las *áreas templadas-húmedas* (foto 7) donde resulta particularmente activo el mecanismo hiperkárstico de la corrosión del yeso, que comporta en consecuencia un depósito de carbonato cálcico (FORTI y RABBI, 1981). En estas regiones está también presente normalmente el concrecionamiento yesífero, sobre todo en aquellas zonas de la cavidad (base de pozos ascendentes, pasos estrechos, etc...) donde la corriente de aire, al ser más fuerte, facilita la evaporación y por consiguiente la sobresatura-

ción en yeso.

En estas áreas, a medida que el clima se vuelve más extremo el concrecionamiento carbonatado tiende a ser predominante, sino el único presente: esto es debido, obviamente, a la progresiva disminución de la posibilidad de evaporación.

En las *áreas templadas-áridas* como la de Almería en España, el concrecionamiento yesífero está muy extendido (foto 8), mientras que el carbonatado prácticamente no aparece.

La ausencia casi total de concrecionamiento carbonatado es debida al hecho de que el clima árido prácticamente impide que sobre el afloramiento yesífero se desarrolle una cobertura vegetal capaz de garantizar que el agua de infiltración tenga un elevado contenido de anhídrido carbónico por lo que se disminuye notablemente la efectividad del proceso de corrosión hiperkárstica del yeso. Por lo tanto, en estas condiciones, el agua de percolación en el interior de la cavidad, exceptuando los pocos días de lluvia, procede casi totalmente de la condensación, y por tanto el único depósito posible a partir de este agua será de tipo yesífero.

En *ambientes tropicales*, dada la gran cantidad de vegetación que recubre normalmente toda la superficie externa, y considerando el clima tan cálido, tenemos un equilibrio en la presencia de concrecionamiento carbonatado y yesífero.

Vale la pena resaltar el hecho de que el concrecionamiento calcáreo de las cavidades en yeso puede resultar un indicador paleoclimático óptimo: de hecho la presencia actual de tales concreciones, en avanzado estado de descomposición, en el interior de alguna cavidad siberiana, sugiere que la cavidad ya existía antes de la última glaciación, en un periodo climáticamente más favorable, con flujo hídrico más lento y constante a lo largo de todo el año.

Si bien los factores climáticos son los que en última instancia determinan la presencia o ausencia de depósitos carbonáticos y/o yesíferos, al menos en climas templados y semiáridos la influencia del régimen hídrico de la cavidad se muestra como un factor especialmente influyente. En los yesos de Sorbas (Almería) encontramos

cavidades con un caudal constante durante todo el año donde el depósito actual se limita a concreciones carbonáticas pavimentarias. En otras ocasiones, en cavidades sin flujo hídrico, el depósito es casi exclusivamente yesífero. Es frecuente que se localicen cavidades donde el depósito carbonatado sea un claro indicador de épocas anteriores con una mayor pluviosidad. En estas cavidades las concreciones carbonatadas se encuentran corroídas, y sobre éstas aparece un depósito de concreciones yesíferas más recientes o actuales correspondientes al clima árido o semiárido que rige en la actualidad. El tipo de concrecionamiento en cavidades yesíferas se muestra como un indicador paleoclimático enormemente válido.

La datación radiométrica de estos depósitos permitirá determinar fácilmente el periodo exacto en el cual el clima cambió.

Consideraciones finales

En la tabla 1 se recogen las características geomorfológicas de cada uno de los karsts yesíferos comentados en el texto. Cualitativamente se indica la importancia de cada una de las formas kársticas presentes agrupadas en formas superficiales, subterráneas e importancia del concrecionamiento yesífero y/o carbonatado.

De la observación de la tabla podemos deducir alguna de los rasgos definitorios de cada karst de acuerdo con la influencia climática. De este modo, en la zona polar el karst en yeso podría caracterizarse por la ausencia total de concrecionamiento yesífero y escasez de microformas superficiales. El karst de la zona templada húmeda vendría diferenciado por la importancia que adquiere el concrecionamiento carbonatado y las grandes formas kársticas superficiales. EL karst yesífero en las áreas subáridas tendría como principal característica el importante desarrollo de concreciones yesíferas en sus cavidades, mientras que en el karst tropical yesífero la característica más llamativa y diferencial sería el gran desarrollo de microformas superficiales.

Estas diferencias morfológicas tienen una aplicación inmediata en paleoclimatología. La observa-

**CARACTERISITICAS GEOMORFOLOGICAS DEL KARST EN YESO
INFLUENCIA CLIMATICA**

		Formas Kársticas Epígeas					
		Macroformas			Microformas		
		A(-)	P(+)	Tipo	A(-)	P(+)	Tipo
Zona Polar	Pinega (Siberia)	■		Dolinas de disolución subcutánea	■		Casi total ausencia
Zona Alpina	Valle de Aosta (Italia)	■		Pozos circulares	■		Agujas Pináculos
Zona Templada-Húmeda	Bologna (Italia)	■		Macro-dolinas Valles ciegos	■		Karren Candelas
Zona subárida	Sorbas (España)	■		Gran número de pequeñas dolinas	■		Karren, candelas Túmulos
Zona Tropical	Punta Alegre (Cuba)	■		Amplias dolinas con dolinas interiores	■		Gran desarrollo de microformas

		Formas Kársticas Hipógeas			
		A(-)	P(+)	Tipo	
Zona Polar	Pinega (Siberia)	■		Conductos horizontales subcirculares	
Zona Alpina	Valle de Aosta (Italia)	■		Pozos subcirculares	
Zona Templada-Húmeda	Bologna (Italia)	■		Morfologías complejas	
Zona subárida	Sorbas (España)	■		Fenómenos erosivos interestrato	
Zona Tropical	Punta Alegre (Cuba)	■		Cavidades muy pequeñas	

		Concrecionamiento en cavidades					
		Yesífero			Carbonatado		
		A(-)	P(+)	Tipo	A(-)	P(+)	Tipo
Zona Polar	Pinega (Siberia)	■		Prácticamente ausente	■		Ausente
Zona Alpina	Valle de Aosta (Italia)	■		Escaso	■		Escaso
Zona Templada-Húmeda	Bologna (Italia)	■		Zonas de gran aireación	■		Predominante
Zona subárida	Sorbas (España)	■		Predominante	■		Muy localizado
Zona Tropical	Punta Alegre (Cuba)	■		Equilibrio entre distintos depósitos	■		Equilibrio entre distintos depósitos

A(-): Ausencia o escaso desarrollo
P(+): Presencia o gran desarrollo

Tabla 1. Tabla resumen de las características geomorfológicas diferenciales de distintos karst en yesos de acuerdo con la influencia climática en el desarrollo del karst



Foto 8. Concreciones yesíferas en las cavidades de Sorbas (España)
(foto: I. Ayuso)

ción geomorfológica del karst yesífero junto con técnicas depuradas de datación puede ser un instrumento eficaz para dilucidar las características y variaciones del clima en periodos relativamente recientes.

BIBLIOGRAFIA

- CALAFORRA J.M., 1986 Hidrogeología de los yesos karstificados de Sorbas (provincia de Almería) Tesis Licen. Universidad de Granada, p.1-152
- CALAFORRA J.M., PULIDO BOSCH, A., 1987 Síntesis hidrogeológica sobre los yesos karstificados de Sorbas y su entorno (Almería, España). *Geolís* 1: 37-49.
- CALAFORRA J.M., PULIDO BOSCH, A., 1989 Les gypses triassiques de Fuente Camacho et ses alentours (Granada-Málaga, España). Reunión Franco-española sobre los karst mediterráneos de Andalucía Occidental. pp 67-82. Sevilla 1989.
- CHIESI M., FORTI P., PANZICA LA MANNA M., SCAGLIARINI E., 1992 Osservazioni preliminari sui fenomeni carsici nei gessi di Punta Alegre (Cuba). In stampa
- CIGNA A.A., FORTI P., 1986 The speleogenetic role of air flow-caused by convection. 1st contribution *Int. J. of Speleol.* 15, p.41-52.
- FORD D., 1988, Characteristics of dissolutional cave systems in carbonate rocks in James N.P. & Choquette P.W. "Paleokarst", Springer -Verlag, New York, p.25-57
- FORTI P., 1987 Il carsismo nei gessi dell'Emilia-Romagna *Natura e Montagna*, 34(1), p.13-22
- FORTI P. 1987 Le bolle di scollamento: una forma carsica caratteristica dei gessi bolognesi, non ancora sufficientemente nota. *Sottoterra* 77, p.10-18
- FORTI P., 1990 I fenomeni carsici nei gessi permiani della Siberia *Sottoterra* 85, p.18-25
- FORTI P., 1990b Curiosita' mineralogiche: nella grotta di Kungur in Siberia cristalli di gesso separati dal ghiaccio. *Not. Miner. Paleont.* 67, p.3-7
- FORTI P., FRANCAVILLA F., 1988 Hydrodynamics and hydrochemical evolution of gypsum karst aquifers: data from the Emilia-romagna region *Proc. Int. Conf. "Karst Hydrogeology"*, Guilin
- FORTI P., FRANCAVILLA F., 1980 Gli acquiferi carsici dell'Emilia Romagna: attuali conoscenze e problematiche L'Ateneo Parmense, *Acta Nat.*, 26(1-2), p. 69-80.
- FORTI P., RABBI E., 1981 The role of CO₂ in gypsum speleogenesis: 1st contribution. *Int. J. of speleol.* 11, p. 207-218.
- JAKUCS L., 1977 Morphogenetics of karst regions A.Higler, Bristol, p.1-284
- MENICETTI M., 1990 Influenze tettonico-strutturali nello sviluppo del carsismo nella gola di Frasassi. *Ist. It. Spel. Mem.*, s.2.4, p. 65-92
- PASSERI L., 1972 Ricerche sulla porosità delle rocce carbonatiche nella zona di M.te Cucco (Appennino Umbro-Marchigiano) in relazione alla genesi della canalizzazione interna Grotte d'Italia, s.4, 3, p.5-55.
- PULIDO BOSCH, 1982 Consideraciones hidrogeológicas sobre los yesos de Sorbas (Almería). Reunión monográfica sobre el karst-Larra 1982. 257-274 pp.■