

EXPLOTACIÓN TURÍSTICA Y CONSERVACIÓN DE LA GRUTA DE LAS MARAVILLAS. ARACENA (HUELVA)

W. Martín Rosales

GEOINVES. Aracena (Huelva)

M. López Chicano, A. Vallejos, A. Pulido Bosch, J.M. Calaforra
G.I. Recursos Hídricos y Geología Ambiental (Universidad de Almería)

I. Gómez Jiménez

Geotécnica del Sur, S.A. (Granada)

C.M. Rodríguez Navarro

Departamento de Mineralogía y Petrología (Universidad de Granada)

RESUMEN

La Gruta de las Maravillas (Aracena), es una de las cavidades turísticas con mayor riqueza de espeleotemas de nuestro país. Sus más de 150.000 visitantes/año la convierten asimismo en un recurso geológico de indudable peso en la actividad socioeconómica de la localidad de Aracena. Sin embargo, como sucede con otras tantas cavidades del mundo, un medio de tal fragilidad no tiene más remedio que resentirse ante tal afluencia de visitantes, especialmente si no se toman las debidas precauciones. Las Autoridades Municipales, conscientes de dicha problemática, pusieron en marcha en 1993 un Proyecto de Investigación encaminado a identificar y evaluar los principales impactos ambientales de origen antrópico en la cavidad. Tras el diseño e implementación de una red de control automatizada de parámetros ambientales, tanto en el interior como en el exterior de la cavidad, se pudieron identificar tres grandes grupos de afecciones al medio natural y estrechamente interrelacionadas. En primer lugar se detectaron diversos impactos sobre el medio aéreo -variaciones bruscas en la temperatura, humedad relativa y el contenido en anhídrido carbónico-, así como en el medio acuoso -descenso del nivel de los lagos como conse-

cuencia de los bombeos en pozos próximos a la cavidad-. Por último se identificaron afecciones al soporte geológico de la cavidad, consistentes fundamentalmente en alteraciones graves a los espeleotemas, debidas a procesos de polución vegetal favorecida por los sistemas de iluminación artificial.

INTRODUCCIÓN

La Gruta de las Maravillas constituye uno de los elementos más notables y atractivos de la oferta turística que actualmente ofrece la Sierra de Aracena (Huelva) y, desde el punto de vista espeleológico, es una de las cavidades acondicionadas con mayor diversidad y abundancia de espeleotemas de nuestro país. Desarrollada en un pequeño afloramiento de mármoles calizos de edad Cámbrico Inferior y en pleno casco urbano de la Ciudad de Aracena, su acondicionamiento para las visitas turísticas tuvo lugar en el año 1911, aunque las primeras referencias históricas relativas a la misma y halladas hasta la fecha por nosotros corresponden a Gonzalo Tarín (1886, *in* Martín Rosales *et al.* 1995a), quien la describía como «...una caverna de difícil acceso, revestida con vistosas concreciones calcáreas, con un lago en su fondo...», haciendo además numerosas referencias a la abundancia de agua existente en su interior. Posteriormente, Puig y Larraz (1896) también menciona la Gruta -denominada en aquella época *Cueva de Aracena*- en su obra «*Cavernas y simas de España*». Las circunstancias en las que se desarrolló su descubrimiento siguen siendo una incógnita en la actualidad, aunque algunos indicios sugieren la posibilidad de que una antigua explotación minera -abandonada casi inmediatamente por problemas de drenaje- interceptara la galería de acceso al complejo subterráneo (Martín Rosales *et al.*, 1995a). Hay que indicar no obstante que aún prosigue la labor de búsqueda de fuentes bibliográficas que confirmen esta hipótesis y/o que aporten nuevos datos sobre el hallazgo de la cavidad. Lo que sí parece indudable es que su cierre y acondicionamiento para el turismo a comienzos de siglo han sido acciones claves en su conservación (Martín Rosales *et al.*, *op. cit.*), habida cuenta de las graves agresiones que con total impunidad estaba sufriendo durante aquella época por parte de furtivos y desaprensivos. Dicho cierre puso fin a tales agresiones, que dejaron su impronta en sectores de la Gruta tales como la *Galería de los Bárbaros*, situada en donde hoy se ubica la plataforma de fotografía, en las inmediaciones de la *Sala de los Brillantes* (figura 1).

MORFOLOGÍA DE LA CAVIDAD

La Gruta presenta un desarrollo total conocido de 2.130 m (González Ríos y Ramírez Trillo, 1989), fundamentalmente horizontal, aunque en ella se pueden identificar al menos tres niveles de karstificación superpuestos. El primero de ellos está constituido por las áreas permanentemente inundadas en la actualidad, de cota baja, que incluiría el *Gran lago*, los lagos 1º y 2º y las galerías adyacentes. Topográficamente, a este nivel pertenecerían además la *Sala de los Desnudos* y la *Galería de los Garbanzos* (figura 1), actualmente secas, las cuales tuvieron un desarrollo independiente del resto (Martín Rosales et al., 1995b). Las zonas inundadas o nivel de karstificación actual se caracterizan por la ausencia generalizada de espeleotemas, lo cual es lógico si pensamos que en estas zonas predomina la corrosión sobre la precipitación. Numerosas *muescas de corrosión* en diversas partes de las galerías -*corrosion notches*, en la literatura anglosajona, formas típicas de cavidades con niveles de agua muy estáticos, así como numerosas morfologías de disolución, avalan esta hipótesis. La acción corrosiva de las aguas pudo verse incrementada por la abundancia de mineralizaciones de sulfuros, muy abundantes -pirita, sobre todo- en la roca de caja. Las galerías correspondientes a este nivel presentan, en general, morfologías mixtas entre freáticas o «forzadas» y vadosas. En efecto, la sección transversal de dichos corredores suele ser subredondeada o subelíptica en su parte superior y en trinchera o en «cañón» en la inferior, lo que sugiere una reconducción del flujo y el consiguiente paso de condiciones freáticas a vadosas. A veces esta morfología freática se ve enmascarada o es difícilmente observable debido a la heterogeneidad litológica -tamaño de grano variable y presencia de restos de material insoluble en el seno de la masa carbonatada-. Evidencias de una fase freática pueden observarse en la *Galería de los Lagos*, donde se aprecian espeleotemas subacuáticos bien desarrollados en el techo.

En la *Sala de los Desnudos* y la *Galería de los Garbanzos*, ambas incluidas actualmente en el recorrido turístico, se encuentran magníficos ejemplos de espeleotemas subacuáticos. Con más de 95 m. de longitud, este conjunto se encuentra profusamente adornado con varias generaciones de espeleotemas de distinta génesis y morfología. Se puede observar una primera generación constituida por elementos de aspecto redondeado o botroidal y correspondiendo a los mayores tamaños (hasta 60 cm de diámetro). La altura alcanzada en la galería por esta «formación» parietal

puede llegar a los 10 m en algunos sectores, y constituye el precipitado de aguas saturadas en CaCO_3 en el interior de un macrogour actualmente desfondado. Sobre ésta se desarrollan formaciones secundarias de carácter vadoso, lo que implicaría un descenso del nivel del gour por desagüe del mismo, o bien por procesos de evaporación intensa. La presencia de aragonito acicular en las partes elevadas del sector suroriental de la galería justifica en cierta forma un progresivo aumento de la temperatura del aire junto a un incremento de los procesos de evaporación.

Por último, una tercera generación, o al menos contemporánea de la anterior, estaría formada por espeleotemas acuáticos, también de forma esferoidal o botroidal (de ahí el nombre de *Sala de los Garbanzos*), pero con diámetros sensiblemente menores a los de la 1ª generación (unos 2-3 cm, aproximadamente). La altura alcanzada por este depósito en la galería es de aproximadamente 1 m, también en clara relación con un gour residual mucho menor que el que debió existir durante la primera generación.

Una de las características intrínsecas de este primer nivel de galerías es la existencia de una tipología de depósitos autóctonos de carácter clástico denominados *derrumbes*, *caos de bloques* o *desplomes* y son perfectamente reconocibles en las dos mayores salas de todo el complejo: el *Gran Lago* y la *Sala de las Conchas*, ésta última próxima a la entrada. La primera de ellas es sin duda la más espectacular y posee una bóveda que rebasa los 40 m de altura. En su parte oriental existe un gran desplome constituido por bloques de gran tamaño que exceden del centenar de metros cúbicos de volumen y dispuestos de forma anárquica, lo que da una idea de la violencia con la que se produjo el derrumbe. Tal episodio debió ocurrir hace al menos varios miles de años, habida cuenta de la abundancia y dimensiones de las concreciones (hasta un metro de altura) desarrolladas sobre los bloques desprendidos. El fuerte buzamiento de las capas, observable en toda la sala y galerías adyacentes, jugó sin duda un papel decisivo en el desplome de la bóveda original. Un puente de roca situado a unos 18 metros de altura quedó como testigo precario de aquél evento, el cual pudo haber obstruido una hipotética continuación de la cavidad hacia el SE.

La otra zona con predominio de los procesos graviclásticos es la correspondiente a la *Sala de las Conchas*. También posee notables dimensiones, aunque inferiores a la anterior, incluyendo asimismo bloques de gran tamaño. A diferencia del *Gran Lago*, el techo en la *Sala de las Conchas* es

plano, y no se aprecian espeleotemas asociados a los cantos desprendidos. Esto último parecería indicar una menor antigüedad del desplome respecto del anterior. Hay que indicar que la potencia de mármoles en este sector de la cavidad es mínima, tal y como lo demuestra la existencia de raíces vivas en la zona septentrional de la sala. Una clara fisura de dirección N120E, coincidente con la dirección de estratificación, atraviesa longitudinalmente el techo de la sala.

La acción de aguas agresivas infiltradas a través de planos de estratificación casi verticales pudo traer consigo el debilitamiento por disolución y posterior derrumbe en los dos casos descritos. No se descarta la influencia de posibles movimientos sísmicos, a juzgar por la fuerte desviación respecto a la vertical de algunas estalagmitas en sectores como la *Catedral*. Existen otros depósitos de este tipo distribuidos en otras partes de la Gruta, aunque de mucha menor importancia que los descritos anteriormente; tal es el caso de la *Sala de los Banquetes*.

El segundo nivel, situado a 10-20 m por encima del anterior corresponde a las salas de *La Catedral*, *Cristalería de Dios* y la *Esmeralda* o *El Volcán*, así como a las *Galerías Nuevas*, éstas últimas no accesibles al público en la actualidad. Dicho nivel tiene como característica esencial la extraordinaria abundancia de espeleotemas de muy diverso origen, constituyendo la parte más atractiva desde el punto de vista turístico. En *La Cristalería* se pueden contemplar formaciones excéntricas, coraloides, epifreáticas y multitud de diminutos cristales tapizando techo y paredes; posee un gour central de notables dimensiones cuyo fondo se encuentra cubierto de cristalizaciones subacuáticas. Además, en la sala se pueden contemplar las evidencias de antiguos niveles de agua, casi un metro por encima del que presenta el citado gour en la actualidad. Existe también un bonito ejemplo de formación fungiforme, término acuñado por Núñez (1984) para definir a formaciones de origen epifreático y con morfología redondeada, a modo de geoide. El hecho de que dicha formación presente en su centro el cuerpo de una estalactita (que la sostiene), evidencia que se originó sólo después de haberse generado en el núcleo central estalactítico. Las secciones de las galerías son difíciles de reconocer por la precipitación de CO_3Ca , aunque cuando se observan, se muestran como conductos forzados o freáticos -acceso a *La Sultana*, por ejemplo-. Especialmente vistosos son los espeleotemas desarrollados en las *Galerías Nuevas*, de entre los cuales destacan *la Palmatoria*, formación epifreática en cuyo centro se

desarrolla una estalagmita, o la *Marmita de los Gigantes*, un magnífico ejemplo de gour aún activo y en cuyos bordes se pueden observar *aceras de calcita*. Esta galería, de pequeña altura, posee, además de los espeleotemas asociados al relleno de gour, gran cantidad de excéntricas y calcita coraloide.

Se pueden observar asimismo mineralizaciones de óxidos diversos rellenando fracturas, las cuales a menudo resaltan sobre la roca de caja por tratarse de un material más insoluble (Martín Rosales *et al.*, 1995b). Algunos de los numerosos espeleotemas de este sector de la Gruta muestran coloraciones azuladas y rojizas, en relación con la existencia de elementos cromóforos, tales como cobre y hierro, respectivamente.

El tercer nivel, el de menor desarrollo longitudinal, corresponde a la *Galería Superior*, sólo accesible mediante la utilización de técnica alpina. Está situado a unos 25 m del segundo nivel, y al igual que en el caso anterior, las formas de reconstrucción litoquímica son muy abundantes, tanto vadosas como epifreáticas. El sector más representativo de este nivel es la denominada por nosotros *Sala de los Romboedros*, cuyas paredes están tapizadas por cristales romboédricos casi perfectos de calcita. Su tamaño es decimétrico y se desarrollan hasta alturas superiores a los 12 m desde el fondo de la galería. Una gran colada situada en la parte meridional de la sala indica la antigua fuente de alimentación de este macrogour, cuya actividad se restringe en la actualidad a pequeñas depresiones pavimentarias que sólo permanecen rellenas de agua de forma estacional. En este nivel superior se han encontrado además restos de *calcita flotante*, consistente en finas láminas de calcita de espesor milimétrico y originadas en la superficie del agua. Su génesis requiere condiciones de extremada quietud de las aguas y por supuesto una sobresaturación en carbonato cálcico. También son abundantes las *perlas de las cavernas* o *pisolitos*, formaciones esféricas originadas por el depósito de finas películas de calcita alrededor de un núcleo. Las aquí representadas poseen formas desde esféricas hasta arriñonadas, dependiendo del núcleo a partir del cual fueron generadas, y del aporte hídrico que recibe la zona donde se encuentran.

Es frecuente la existencia de gour de muy diversos tamaños. En el extremo final de la Galería Superior -*Sala de las Raíces*- son particularmente abundantes los espeleotemas afectados por antiguos procesos de corrosión, probablemente a consecuencia de una atmósfera muy rica en CO₂ coincidente con la zona radicular de la antigua cobertura vegetal que

cubría el Cerro del Castillo. Sobre estos espeleotemas corroídos se han depositado en los últimos tiempos otros de gran frescura y lustre. Al igual que en el nivel infrayacente, las secciones de estas galerías se observan difícilmente debido a la gran cantidad de precipitados que cubren las paredes y techo de las mismas.

INFRAESTRUCTURA Y ACONDICIONAMIENTO TURÍSTICO

La Gruta ha sido objeto de numerosas modificaciones encaminadas a permitir la visita turística de la misma. Caben destacar entre ellas las galerías excavadas en la roca, cuyo ejemplo más espectacular es sin duda el túnel de conexión entre la *Galería de los Lagos y Los Desnudos*, obra realizada en los años veinte, o el de las *Esmeraldas*, que permite bordear el gour del mismo nombre. Dignos de mención son asimismo los túneles y el acondicionamiento de la *Galería de los Lagos*, y que permiten bordear y contemplar los mismos en toda su longitud, lo cual, unido a un extraordinario sistema de iluminación subacuática, confieren un especial atractivo a la Gruta.

Las escalinatas, muchas de ellas excavadas sobre coladas estalagmíticas -la que permite el descenso a la *Galería de los Garbanzos*, por ejemplo-, son otro de los aspectos relevantes en lo referente a obras de infraestructura. Uno de los ejemplos más notables lo constituyen las escaleras o peldaños que comunican el *Gran Lago* con la *Catedral*, y que superan un desnivel de más de 25 metros. No debieron ser nada fáciles de ejecutar estas obras, sobre todo si se tiene en cuenta la parvedad de medios técnicos con los que se contaba para realizarlas.

En los sectores del recorrido turístico donde existe cierto desnivel, o bien donde se bordean los *Lagos*, existen pasamanos instalados como medida de seguridad, en un principio de hierro y que recientemente han sido sustituidos por otros de acero inoxidable, atendiendo a las recomendaciones de un estudio de impacto ambiental realizado entre los años 1993 y 1995 y en el que se recogían otras medidas a tener en cuenta con la finalidad de permitir la preservación del complejo monumental subterráneo (Martín Rosales *et al.*, 1996).

Otra de las peculiaridades de la infraestructura de acondicionamiento

turístico es el sistema de iluminación con el que está dotada la cavidad. Dicho sistema fue diseñado en 1974 por la empresa *Oficina Técnica Buigas* de Barcelona, si bien ha sufrido diversas modificaciones hasta la actualidad. Tales variaciones han sido debidas fundamentalmente al cambio de color en diversos puntos de luz con respecto al diseño original, y en otros casos se trataba de puntos de luz deteriorados que no han sido repuestos, debido a la inaccesibilidad de sus emplazamientos. La modificación más importante en lo que al sistema de iluminación se refiere es la sustitución progresiva de todos los puntos de luz por otros del tipo *luz fría*, labor que se encuentra en fase de ejecución en la actualidad, y también como resultado de las recomendaciones del estudio técnico mencionado anteriormente. El sistema de iluminación posee un diseño de gran eficacia paisajística, al destacar de forma artística las bellezas naturales de las formas subterráneas y conseguir la luz propicia para este tipo de ambiente. De hecho, la intensidad de iluminación permite observar los detalles más interesantes de la cavidad, así como apreciar duros contrastes que hacen resaltar - y en ciertos casos, imaginar- grandes profundidades. Con este contraste entre las zonas profundas -intensamente iluminadas-, y los primeros términos o planos -oscuros-, se consigue aumentar de forma aparente el tamaño de la Gruta.

Todos los puntos de luz están rigurosamente ocultos, con el objeto de evitar que pueda verse cualquier tipo de artificio y/o impedir el deslumbramiento, razón por la cual es necesaria la delimitación exacta de la ruta a seguir por los visitantes, así como la prohibición de salirse de la misma -hay que indicar al respecto que todos los recorridos se efectúan con un guía, cuyas funciones son la descripción y exposición de las distintas partes de la cavidad, así como el control y vigilancia de las distintas formaciones-.

Al igual que ocurre con los puntos de luz, los conductores eléctricos están ocultos del recorrido turístico, para lo cual se han aprovechado fisuras, diaclasas y grietas, aún a costa de recorridos más largos. Además, una vez instalados, han sido camuflados mediante trabajos de albañilería, imitando las rocas y espeleotemas adyacentes. La tensión de servicio es de 380/320 voltios, con la reglamentaria precaución de conexión a tierra de las cajas de derivaciones y las armaduras metálicas de cierta importancia. Todos los mandos se encuentran centralizados en un recinto inaccesible al público. El sistema de iluminación divide la Gruta en 16 Zonas, que a su vez se

subdividen en sectores, y que, según datos recogidos del proyecto de instalación, contemplaban un total de 2.058 puntos de luz -incluyendo lámparas tipos *par*, *reflectoras* y *stándar*-, y que suponen una potencia total de 168.700 watios.

Para evitar que el sistema de iluminación esté funcionando en su totalidad durante el recorrido, se dispuso una instalación dividida en siete grupos, con líneas de alimentación independientes desde el cuadro general exterior, y controladas por contactores accionados a distancia mediante juegos de pulsadores, e instalados antes y después de los tramos de cueva cuya iluminación controlan. De esta forma los visitantes nunca perciben el encendido y apagado de los tramos de instalación. Evidentemente, dichos pulsadores están emplazados estratégicamente para que el visitante no pueda percibir las operaciones de apagado y puesta en funcionamiento de la iluminación de los sectores objeto de visita.

Por último, se completó la instalación mediante una línea de alumbrado de emergencia para evitar y prevenir que un fallo de energía en la línea de alimentación pudiera inquietar a los visitantes que eventualmente se encuentren en el interior.

AFLUENCIA DE VISITANTES AL COMPLEJO TURÍSTICO SUBTERRÁNEO

Desde que en 1911 comenzaron los trabajos de acondicionamiento para el turismo en la cavidad, ésta no ha cesado de recibir visitas, a veces de personajes ilustres. En el periodo comprendido entre los años 1957-1960 -casi 50 años después de su apertura al público-, visitaron la Gruta un total de 132.000 personas, lo que implica una media de 33.000 visitantes por año -el precio de la entrada en aquella época oscilaba entre 15 y 20 pesetas-.

Las visitas aumentaron de forma más o menos rápida hasta alcanzarse valores máximos de 160.000 y 170.000 entradas, correspondientes a los años 1990 y 1991, respectivamente. De haberse mantenido esta tendencia, en el año 1996 se habría superado la cifra de 194.000 visitantes, circunstancia que no ha tenido lugar gracias a las medidas de restricción de visitas emprendidas en 1992 por la Administración Local con motivo del

deterioro ambiental detectado en la cavidad. De este modo se ha venido observando un descenso paulatino de visitantes desde 1992 hasta la actualidad, estableciéndose la media de entradas en unos 153.000 turistas/año, tal y como se puede observar en la figura 2a. Esta cifra se reparte de forma muy desigual durante el año, de manera que los meses de Agosto y Septiembre, con una afluencia media de 43.000 visitantes, representan casi un tercio del total anual, mientras que durante el periodo correspondiente a los meses de Enero y Febrero, la Gruta es visitada en término medio por unos 5.000 y 7.500 visitantes, respectivamente, lo que en conjunto supone un 8 % de las visitas anuales. Quiere esto decir que durante el mes de Agosto entran diariamente en la Gruta una media de 865 personas, mientras que en Enero esta cifra queda reducida a sólo 167. El valor medio anual estimado es de 411 visitantes diarios.

En lo referente a datos mensuales, el valor medio se ha cifrado en 12.700 visitantes/mes –periodo 1990-1996–, por lo que podrían considerarse meses medios Marzo –11.100–, Junio –11.100–, Julio –12.200–, Octubre –13.400– y Noviembre, con 11.800 visitantes de media. Si se analizan los registros a nivel diario, lógicamente, estas cifras no resultan ser demasiado significativas y representativas de la realidad, habida cuenta de la gran irregularidad en la afluencia de visitantes –cabe destacar al respecto, como dato anecdótico, el día 15 de Agosto de 1978, fecha en la cual el número de entradas a la cavidad fue 2.559, la cifra más elevada de todos los registros consultados–. Así pues, no es raro superar los mil visitantes en un solo día; valga también como ejemplo de ello el año 1994, durante el cual se rebasó esta cifra en veinte ocasiones, tres de ellas con valores por encima de 1.500 turistas/día, tal y como se puede apreciar en la figura 2d. De su observación se deduce que el grueso de las entradas se localiza en el periodo estival y en Semana Santa, coincidiendo con épocas de vacaciones. Existe además un máximo con periodicidad semanal correspondiente a los sábados y domingos, fechas durante las cuales se concentra gran parte de la afluencia de toda la semana, y rebasando casi siempre el límite máximo aconsejado.

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Un medio tan frágil no tiene más remedio que resentirse ante tal afluencia de visitas, especialmente si no se toman determinadas precaucio-

nes. Las autoridades municipales, conscientes de la problemática, solicitaron en 1993 la realización de un estudio detallado tendente a identificar los principales impactos, el grado de alteración actual y la elaboración de una serie de medidas protectoras y correctoras frente a dichas afecciones (Martín Rosales *et al.*, 1996, 1997 y Pulido Bosch *et al.*, 1997). Como labor inmediata y con el fin de dar respuesta al interrogante planteado se procedió a diseñar una red de observación de parámetros ambientales (figura 3). Se instalaron cinco sensores para medir temperatura y humedad del aire con un intervalo de 15 minutos, que era la frecuencia máxima de visitantes durante los días festivos. Paralelamente se registró el contenido en CO₂ y la evolución del nivel piezométrico en los lagos, todo ello mediante sendos *datalogger*.

Además, se han realizado numerosos perfiles con equipos portátiles a lo largo de la gruta, en los que se midió la humedad relativa, temperatura y velocidad del aire. Dado que era preciso comparar los parámetros medidos con los de los sectores no influenciados por el hombre, se instaló un equipo en el tercer nivel, bien alejado del recorrido turístico.

El aire es el soporte o medio más inmediatamente afectado por la entrada de visitantes, tal y como se muestra en las figuras 4 y 5a. En la primera de ellas, la temperatura llega a aumentar cerca de un grado con la entrada de un grupo de visitantes. La afección es más marcada en Julio y Agosto, al ser mayor el número de visitantes y el contraste térmico interior-exterior.

Este efecto térmico es, en cierta medida, acumulativo para cortos períodos, función de la distancia a la entrada de la Gruta; también es bien visible el efecto termorregulador de los lagos, cuyas aguas atenúan la fluctuación térmica (Pulido Bosch *et al.*, 1997). El aumento de la temperatura se acompaña de una disminución de la humedad ambiental que baja hasta un 3 %. El actual sistema de iluminación tiene idéntico efecto al de los visitantes ya que provoca el aumento de la temperatura -por la gran energía liberada- y la disminución de la humedad (Martín Rosales *et al.*, 1994).

La concentración de CO₂ suele ser, de manera natural, más elevada en la cavidad que en el exterior, debido a la menor ventilación; esta afirmación se ha podido constatar en esta cavidad, donde la concentración cercana a la entrada es de 600 ppm, y alcanza 1500 ppm en los sectores más

distales. Los visitantes hacen que se superen 5000 ppm (figura 5b). Un aumento tan considerable de la presión parcial de CO₂ en la cavidad tiene lógicamente un impacto sobre el medio, por tratarse de una atmósfera mucho más agresiva con respecto a la roca encajante.

La afección al agua subterránea es más patente en la «*Galería de los Lagos*», en donde un gran número de lámparas subacuáticas iluminan las numerosas formas allí presentes. El nivel alcanzado por el agua coincide con el nivel piezométrico del acuífero ligado al afloramiento carbonatado en el que se desarrolla la Gruta; este acuífero se alimenta esencialmente a partir del agua de lluvia que alcanza un valor medio de 900 mm/año. La sequía extrema de los años 1992 a 1994 y la existencia de un sondeo cercano que extraía un caudal de 7 l/s contribuyeron a favorecer de manera sensible el descenso del nivel (figura 5c); la paralización de las extracciones y las intensas precipitaciones ocurridas durante los últimos años han hecho recuperar rápidamente el nivel en la cavidad. La iniciativa de hacer pequeñas cascadas artificiales ha tenido una influencia negativa bien visible, consistente en el cambio de coloración de la roca, debido a la presencia de precipitados de diversa índole.

La roca manifiesta visibles impactos ligados estrechamente a los ya reseñados. En efecto, el cambio de los parámetros ambientales -aumento de CO₂ y temperatura, disminución de la humedad, gran cantidad de energía luminosa- y el transporte hacia el interior de la cavidad de esporas y microorganismos en el calzado y vestimenta de los visitantes han provocado la proliferación de algas, líquenes y hongos, especialmente abundantes en el entorno de los focos luminosos. Estos microorganismos alteran los espeleotemas tanto mecánica como químicamente (Viles, 1987), que acaban por su disgregación mecánica. El estudio comparativo de 25 muestras mediante técnicas de *Miscroscopía de Luz Polarizada* y *Microscopía Electrónica de Barrido* («Scanner») ha permitido detectar la existencia de corrosiones múltiples en los cristales que, de no tomar las medidas adecuadas, podrían deteriorar de forma irreversible numerosas áreas.

Como consecuencia del estudio realizado se propusieron las siguientes medidas correctoras:

– Disminución del número de visitantes por grupo y de la frecuencia de entrada de los mismos.

- Sustitución progresiva del sistema clásico de iluminación por otro constituido por «luces frías», más costoso pero con impacto mucho menor.
- Paralización de las extracciones en el sondeo cercano a la cavidad.
- Tratamiento de los tramos más colonizados por la microflora con una solución desinfectante adecuada no degradante de la roca.
- Mantenimiento de una red de observación de parámetros ambientales y seguimiento de la recuperación del medio.
- Sustitución de los pasamanos y pasarelas de hierro por otros de acero inoxidable

CONSIDERACIONES FINALES

La marcada irregularidad en la afluencia de visitas constatada en la Gruta de las Maravillas constituye uno de los retos a afrontar de cara a su conservación. Este problema de la estacionalidad es un rasgo inherente a la idiosincrasia del mercado turístico mediterráneo, y es consecuencia de una creciente sensibilidad ecológica de los consumidores, junto con una nueva tipología de turismo que busca su destino ideal en los espacios naturales y rurales más valiosos; ello obliga a conformar un nuevo producto turístico en el que la voluntad de rentabilizar los recursos naturales mediante su explotación turística, sea compatible con el compromiso de su conservación y disfrute por generaciones futuras.

Las visitas turísticas a la cavidad y la infraestructura puesta a punto con tal fin, han provocado afecciones de diversa índole en el capital ambiental del complejo subterráneo; tales efectos son visibles en el aire -aumento de la temperatura del aire y del contenido en CO₂ y disminución de la humedad ambiental-, en el agua -descenso del nivel piezométrico-, y en la roca. En ésta última se han sumado sinérgicamente los impactos, unidos al desarrollo de algas, hongos y líquenes, que encuentran un medio muy favorable debido a la energía suministrada por los sistemas de iluminación.

Como consecuencia del estudio realizado se propusieron diversas

medidas correctoras y protectoras, la mayor parte de las cuales han sido asumidas por la Administración Local y se encuentran en fase de aplicación, por lo que se espera que los impactos producidos vayan minimizándose a medio plazo. De entre todas estas medidas, tiene especial relevancia el seguimiento de la recuperación del medio y control de los parámetros ambientales, –que ya se está aplicando–, por ser la única herramienta utilizable para corroborar en el futuro la eficacia de las soluciones adoptadas. Su utilidad es manifiesta no sólo como instrumento de vigilancia, sino además como mecanismo de detección de impactos no previstos y de los impactos residuales, entendiendo como tales los resultantes tras la aplicación de las medidas correctoras y protectoras.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Excmo. Ayuntamiento de Aracena por los medios aportados para la realización de este trabajo; asimismo manifestamos nuestra gratitud y reconocimiento hacia el personal adscrito a la Gruta de las Maravillas y a D. Mario Rodríguez García por su inestimable colaboración en diversas fases del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- GONZÁLEZ RÍOS, J.M. y RAMÍREZ TRILLO, F. (1989): *Catálogo de grandes cavidades de Andalucía*. Andalucía Subterránea, 9: 69-70. F.A.E., Granada.
- GONZALO Y TARÍN, J.(1886): *Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva*. 2 vol., Comisión del Mapa Geológico; Imp. de Viuda e Hijos de M. Tello, Madrid
- MARTÍN ROSALES, W.; RODRÍGUEZ, C.M.; LÓPEZ CHICANO, M.; PULIDO BOSCH, A. y VALLEJOS IZQUIERDO, A (1994): *Análisis de la influencia antrópica sobre la Gruta de las Maravillas, Aracena, España. Resultados preliminares*. En «El karst y los acuíferos kársticos. Ejemplos y métodos de estudio». J.R. Fagundo, A. Pulido Bosch, J.E. Rodríguez e I. Morell Eds. Cuba, 375 p.

- MARTÍN ROSALES, W.; RODRÍGUEZ GARCÍA, M. Y ROMERO BOMBA, E. (1995a): *Contribución al conocimiento histórico de la Gruta de las Maravillas, Aracena (Huelva)*. Bol. Museo Andaluz de la Espeleología, 5:11-19.
- MARTÍN ROSALES, W.; LÓPEZ CHICANO, M; RODRÍGUEZ, C.M. Y PULIDO BOSCH, A. (1995b): *Morfología, espeleotemas y climatología de la Gruta de las Maravillas, Aracena (Huelva)*. Espeleotemas, 5:1-12, Almería.
- MARTÍN-ROSALES, W.; PULIDO-BOSCH, A.; LÓPEZ-CHICANO, M.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, C.M. y VALLEJOS, A. (1996): *Principales impactos antrópicos en la Gruta de las Maravillas (Aracena, Huelva)*. Geogaceta, 20 (5): 1162-1164.
- MARTÍN-ROSALES, W.; LÓPEZ CHICANO, M.; PULIDO-BOSCH, A. Y VALLEJOS, A. (1997). *Contrôle automatique de plusieurs paramètres dans la Grotte des Merveilles (Aracena, SW de l'Espagne)*. Actes du 6^e Colloque d'Hydrologie en Pays Calcaire et en Milieu Fissuré. La Chaux de Fonds, Switzerland, Vol II, pp:43-46.
- NÚÑEZ, A. (1984): *Cuevas y Carsos*. Ministerio de cultura, Editorial Científico-Técnica, 431 p. Ciudad de La Habana (Cuba).
- PUIG Y LARRAZ, G.(1896): *Cavernas y simas de España*. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico; Imp. de Viuda e Hijos de M. Tello, Madrid, 391 p.
- PULIDO-BOSCH, A.; MARTÍN-ROSALES, W.; LÓPEZ-CHICANO, M. y VALLEJOS, A. (1997): *Human impacts in a touristic cave (Aracena, Spain)*. Environmental Geology.31 (3/4): 142-149.
- VILES, H. (1987): *A quantitative scanning electron microscope study of evidence for lichen weathering of limestone. Mendip Hills, Somerset*. Earth Surface Processes and Landforms, 12:467-473.

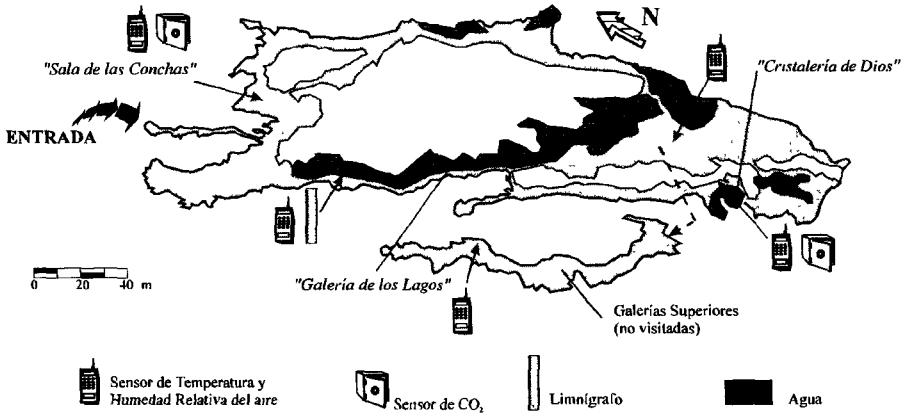


Figura 3. Esquema de la Gruta y red de control de parámetros ambientales operativa durante el periodo 1993-1995

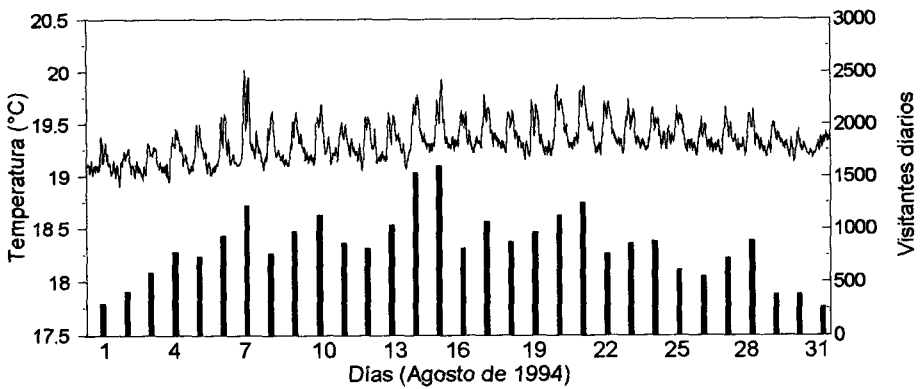


Figura 4. Registro de temperatura del aire en la Cristalería de Dios con un intervalo de medida de 15 minutos realizado en Agosto de 1994.

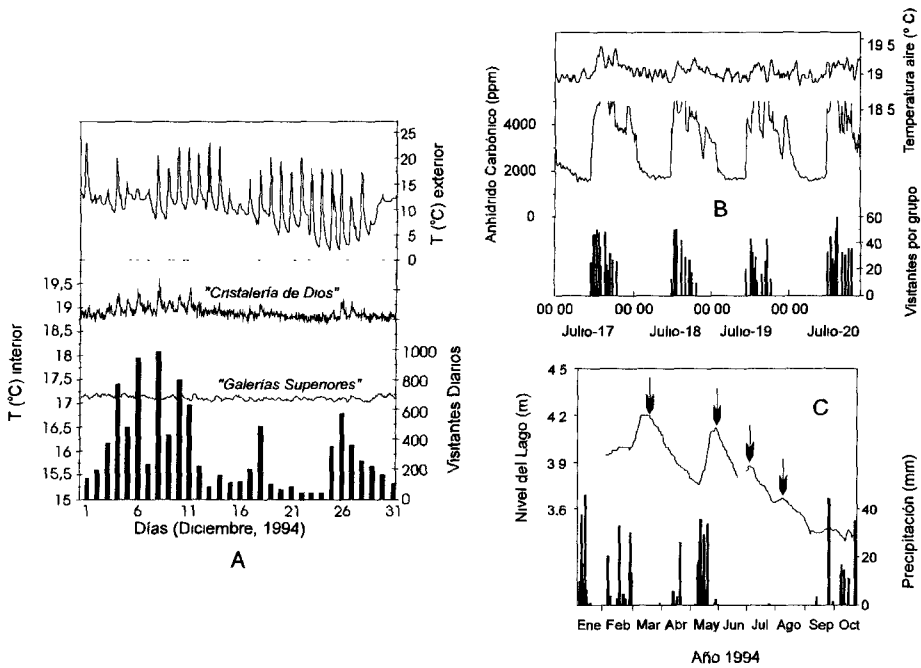


Figura 5. Impactos sobre el aire y el agua en la Gruta de las Maravillas. 5a: Visitantes diarios y temperatura del aire en el exterior, la Cristalería de Dios y Galerías Superiores (no visitadas), durante el mes de Diciembre de 1997; 5b: registro de temperatura del aire, concentración de anhídrido carbónico y visitantes diarios en la Cristalería de Dios y 5c: evolución del nivel freático medido en la Galería de los Lagos, y lluvias diarias registradas durante 1994. Las flechas indican el comienzo de los bombeos en un pozo cercano a la gruta.