CONTRIBUCIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONDUCTIVIDAD Y pH, EN LAS AGUAS DE LA CUEVA LOS CHORROS DEL RÍO MUNDO, A LA GÉNESIS DEL ENIGMÁTICO "REVENTÓN" (ALBACETE)

- T. Rodríguez-Estrella (1); F. Ballesta (2); J.M. Melero (3); y J.A. Martínez (3)
- (1) Univ. Polit. de Cartagena. Avda. Alfonso XIII, 52. 30203 Cartagena (Murcia). tomas.rodriguez@upct.es
- (2) Ciencia y Aventura. C/ Valencia nº 5. 02450 Riópar (Albacete). cienciaventura@teleline.es
- (3) Extopocien. C/Avda. de José Rodríguez nº 49, 4º Dcha. 02640. Almansa (Albacete).
- (4) Univ. Málaga. Dep. de Geol. Fac. de Ciencias. Campus de Teatinos s/n. 29071 Málaga. andreo@uma.es

RESUMEN

La surgencia de la Cueva de los Chorros, que constituye el nacimiento del Río Mundo, presenta un régimen hídrico muy irregular (entre 50 l/s y 86.000 l/s), como corresponde a un acuífero kárstico; sin embargo, lo singular de la misma es que en un momento dado emerge súbitamente un gran volumen de agua que es superior al de la alimentación producida, dentro de los límites del acuífero, en fechas precedentes a la salida, fenómeno que se le conoce como "reventón". Durante año y medio, se han medido semanalmente (y durante el "reventón" hasta 4 veces al día) la conductividad y pH de sus aguas y se han analizado las precipitaciones y temperaturas diarias en la estación termo-pluviométrica de Riópar; así mismo, se ha llevado a cabo una revisión de la topografía de las galerías y sifones de la cueva. Se ha podido comprobar que durante el "reventón" los valores de los parámetros físico-químicos medidos se incrementan, especialmente la conductividad, lo que parece estar relacionado con la movilización de unas aguas relativamente estancadas y almacenadas en lagos y sifones normales, que son succionadas al "cebarse" las galerías de los sifones inversos, como consecuencia del aumento repentino de las precipitaciones y de la escasa inercialidad del acuífero kárstico.

Palabras clave: karst, conductividad, pH, Cueva de los Chorros, "reventón", Albacete.

ABSTRACT

The Cueva de los Chorros ("Spout Cave") resurgence at the spectacular waterfall which gives rise to the Río Mundo presents a very irregular hydrological régime (ranging from 50 litres/second to 86,000 litres/second) as might be expected from a karstic aquifer. Nevertheless, it shows an unusual tendency to release sudden "bursts" of water which far exceed in volume the amounts received by the aquifer during the immediately preceding periods. Over eighteen months, conductivity and pH measurements at the resurgence were taken weekly, and up to 4 times a day during "bursts", and daily rainfall and temperature readings were taken at the Riópar meteorological station. In addition, detailed attention was paid to revising the topography of the passages and sumps in Cueva de los Chorros. "Bursts" are shown to correspond to increased values for physico-chemical parameters, especially conductivity, apparently related to mobilization of what normally are stored and relatively stagnant deposits of water in underground lakes and sumps, but which are flushed out by those sudden increases in rainfall capable of fully priming the inverse sumps in underground passages of what is an otherwise sluggish karstic aquifer.

Key words: karst, "burst", conductivity, pH, Cueva de los Chorros, Albacete

1. INTRODUCCIÓN

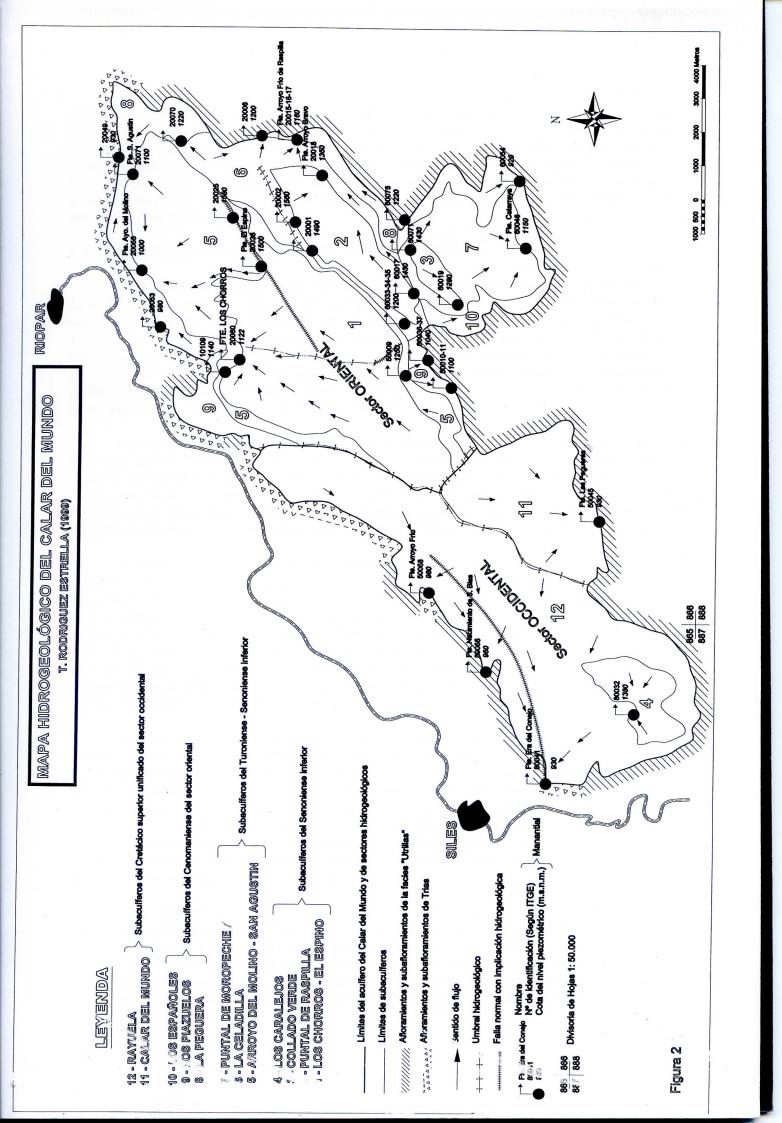
La Cueva de Los Chorros se localiza a unos 8 km al Sur del pueblo de Riópar (antiguo San Juan de Alcaraz), perteneciente al término municipal del mismo nombre, de la provincia de Albacete (fig. 1). Está enclavada en el macizo del Calar del Mundo, que se encuentra a caballo entre dos provincias (Albacete y Jaén) y dos cuencas hidrográficas (Segura y Guadalquivir); se trata de una zona montañosa, cuyo vértice geodésico más elevado es el de Argel con 1694 m s.n.m. El manantial de la Cueva de los Chorros constituye el nacimiento del Río Mundo, que es el más importante afluente del Río Segura.



Fig. 1. Localización geográfica del acuífero del Calar del Mundo y de la Cueva de los Chorros.

Los autores de la presente comunicación llevan entre 20 y 30 años investigando este macizo kárstico, si bien lo han hecho hasta ahora cada uno en temas distintos y por separado. En la actualidad existe un equipo multidiciplinal fundamentalmente constituido por hidrogeólogos y espeleólogos, denominado EXTOPOCIEN, que aglutina a prácticamente todos los investigadores del Calar del Mundo (Plá Salvador 1966 y 1987; Rodríguez Estrella y Granados 1973; Rodríguez Estrella 1976; 1979 y 1999 y Rodríguez Estrella y Ballesta, 1999) y fruto de esta unión es el presente estudio.

El objetivo perseguido es el de aproximarse a la génesis del enigmático "reventón" (aparición súbita de grandes caudales de agua en la boca de la cueva, en un período de tiempo reducido), considerando medidas de conductividad y pH de las aguas, por un lado, y por otro, la reciente revisión topográfica de las galerías y sifones de la cueva. Se ha tomado un centenar de medidas de ambos parámetros físico-químicos (parte del año 2000, 2001 y primer trimestre del 2002), con una periodicidad media semanal, y mientras duraba el "reventón" hasta 4 veces al día. Estas medidas se han correlacionado con las precipitaciones y temperaturas registradas en la estación termopluviométrica de Riópar y también con la aparición de los "reventones".



Desafortunadamente no se han podido medir caudales con precisión, ya que la estación de aforos que construyó el IGME en 1970 fue destruida dos años después por la virulencia del agua y no ha sido reconstruida; sin embargo, durante el período considerado se han realizado aforos aproximativos, mediante el sistema del flotador (se han considerado también caudales correspondientes a "reventones" de los años 1996 y 1997). Por otro lado, tampoco se dispone de pluviómetros en lo alto del Calar, con lo cual los valores registrados en la estación termopluviométrica serán inferiores a los reales; no obstante, se han introducido unos índices correctores, deducidos en otras zonas similares de Andalucía.

2. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS GENERALES

La surgencia de la Cueva de los Chorros es la salida natural más importante del acuífero del Calar del Mundo, que tiene 145 km² de superficie (Rodríguez Estrella, 1979). En dicho acuífero kárstico existen cuatro tramos permeables: dos de dolomías (Cenomaniense inferior-medio o tramo 1 y Turoniense o tramo 3) y otros dos de calizas y calizas dolomíticas (Senoniense inferior o tramo 5 y Senoniense superior o tramo 7) separados por tres semipermeables de dolomías arcillosas (tramos 2, 4 y 6), llegando a alcanzar en total una potencia de 700 m; el impermeable de base lo constituyen las arcillas y arenas de la facies "Utrillas" (Albiense superior). Su estructura es la de un sinclinorio, de 23 km de longitud y 5 a 6 de anchura, de dirección NE-SO.

Basándose en la Geología, Hidrogeología y Espeleología, Rodríguez Estrella (1999) lo dividió, en primera instancia, en dos sectores (oriental y occidental) separados por un umbral y éstos a su vez en varios subacuíferos (hasta doce), uno de los cuales es el de Los Chorros-El Espino, que es el más importante y al que pertenece la surgencia objeto de estudio (fig. 2). La tectónica de distensión, muy desarrollada, unida al carácter discordante y erosivo del Senoniense inferior, hace que se produzcan interconexiones hidráulicas entre tramos permeables, en vertical y en horizontal.

El subsistema Los Chorros-El Espino tiene una superficie de 25 km²; las rocas permeables principales están constituidas, de arriba a abajo, por más de 200 m de calizas claras, calizas dolomíticas y dolomías grises del tramo 5, todas ellas pertenecientes al Senoniense inferior, actuando como impermeable de base local las dolomías arcillosas del tramo 4. Su estructura es la de un único sinclinal en la parte Oeste, que hacia el Este pasa, por virgación, a tres pequeños sinclinales: Cañada de los Mojones (que en realidad se trata de un sinclinal-fosa), Hoya Mata y Vivoreros. Separando estos dos últimos sinclinales está la falla-anticlinal de la fuente del Espino, de 10 km de longitud, que se amortigua hacia el SO y que ha provocado la aparición en superficie del tramo dolomítico arcillosos del Senoniense inferior (tramo 4) y la surgencia referida.

En conjunto este sinclinorio tiene una vergencia general hacia el Norte (próximo al vértice del Calar del Mundo las dolomías arcillosas del tramo 4 afloran a una cota topográfica de casi 1600 m s.n.m., mientras que en la zona de los Chorros apenas superan los 1100 m s.n.m.); esta característica tectónica condiciona a la Hidrogeología y sobre todo al flujo subterráneo, que tiene un sentido generalizado hacia el Norte, concretamente hacia la surgencia de los Chorros (866/20060) de cota 1122 m s.n.m. y la surgencia en "trop plein" de la Pedorrilla (866/10109), que emerge a una cota de 1140 m s.n.m., sólo cuando han tenido lugar unas lluvias muy intensas. La surgencia de Los Chorros emerge en el contacto entre las calizas dolomíticas y dolomías del Senoniense inferior (tramo 5) y las dolomías arcillosas infrayacentes de la misma edad (tramo 4).

Existe otra salida natural del subacuífero que es la Fuente del Espino (866/20026) que emerge, en la zona amesetada del Calar, a una cota de 1580 m s.n.m., y que se trata de una surgencia en "trop plein", por lo que el agua sale sólo en contadas ocasiones, después de copiosas lluvias, e inunda el poljé del Espino (que se sitúa inmediatamente aguas abajo), desapareciendo finalmente el agua en el sumidero que existe a 600 m al Norte y que comunica con el subacuífero infrayacente de Arroyo del Molino-San Agustín, cuyas rocas permeables son la dolomías del Turoniense.

3. RESULTADOS

3.1. Medidas de conductividad y de pH en las aguas de la Cueva de los Chorros, en relación con los "reventones"

Según las medidas, que se han tomado en la parte baja de la primera cascada, la **conductividad** está comprendido entre 145 y 275 μ S/cm, siendo el valor más frecuente (casi el 20 %) de 215 (fig. 3).

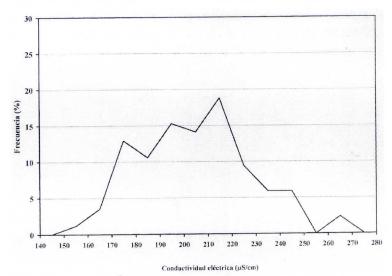


Fig. 3. Frecuencia de los valores de conductividad eléctrica.

Se ha observado (fig. 4) que durante el estío (Mayo a Septiembre) los valores de conductividad son más bajos (generalmente inferiores a 180) que durante los meses más lluviosos (de Octubre a Abril son superiores a 220).

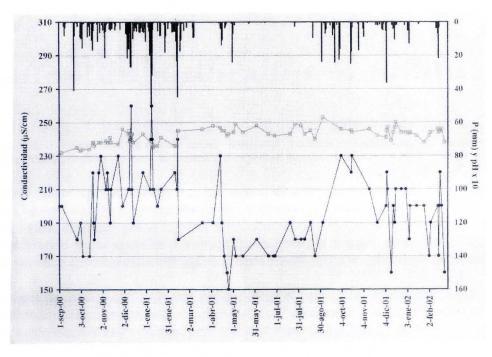


Fig. 4. Conductividad y pH, desde Septiembre de 2000 hasta Marzo de 2002. Puntos: conductividad. Cuadrados: pH

Hay que resaltar que antes de producirse un "reventón", los valores de conductividad son anormalmente altos; en efecto, en el del 29-12-00 (fig. 5) los valores fueron los siguientes: 26-12-00=210; 27-12-00(12h)=240; 27-12-00(17,20h)=240; 28-12-00=240; 29-12-00=260; y al día siguiente del "reventón" bajó sustancialmente a 210. Durante el propio "reventón", que suele durar un día, también se produce un aumento de la conductividad; por ejemplo, en el del 3-3-01, los valores encontrados fueron: 11,30h=210; 15h=220; 18h=240; 22,10h=260 (pico máximo del hidrograma), y luego al día siguiente por la mañana (cuando ya había bajado considerablemente el caudal) el valor fue de 180. Otra observación es que el día anterior al del "reventón", la conductividad baja, en relación con la de los días que inmediatamente le preceden; en el caso último que hemos analizado, el día 27-2-01 había 220, mientras que el día 2-3-01 bajó a 200. Estos mismos fenómenos ocurren también en las crecidas (se diferencian de los "reventones" en que el aumento de caudal es progresivo, no violento, y en que el volumen de agua drenado es mucho menor), aunque con valores de conductividad relativamente más bajos; en efecto, en la del 23-12-01, el día 21 era de 200; el 22, de 150; el 23 a las 15,50h=190; 18,55 h=210; 22,46 h=220 y al día siguiente (24-12-01) el valor fue de 210.

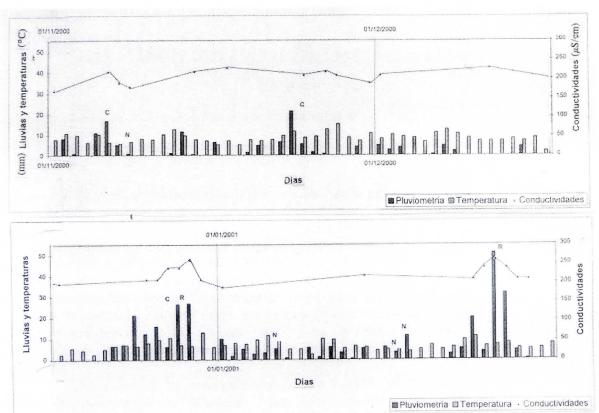


Fig. 5. Variación de la conductividad, en relación con los "reventones" y crecidas, y distribución de las lluvias y temperaturas, a finales del año 2000 y principios del 2001. R: Reventón. C: Crecida. N: Nieve.

El **pH** está comprendido entre 6 y 7,9, siendo el valor más frecuente de 6,8. El hecho de que se registren valores de pH tan bajos (hasta 6), teniendo en cuenta que estamos ante un acuífero carbonatado, viene explicado por el carácter predominantemente kárstico del mismo ya que, debido a la rápida circulación de las aguas en la vertical, los tiempos de contacto de agua-roca son pequeños; también la presencia de dolomías arcillosas en la serie estratigráfica podría influir, pero menos.

Aunque se seguirá midiendo este parámetro en el campo, las medidas de pH tomadas hasta ahora, no parecen presentar una relación clara con los "reventones"; si bien parece que los valores aumentan cuando suceden estos últimos, pero con un retraso de 1 a 3 días (fig. 6).

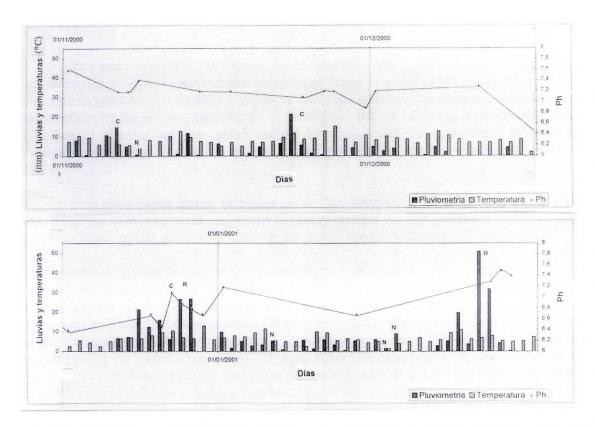


Fig. 6. Variación del pH, en relación con los "reventones" y crecidas, y distribución de las lluvias y temperaturas, a finales del año 2000 y principios del 2001. R: Reventón. C: Crecida. N: Nieve.

3.2. Valores de precipitaciones y temperaturas, en la estación de Riópar, en relación con los "reventones"

Lo primero que hay que decir es que los valores climatológicos registrados en la estación de Riópar, que está a 1000 m s.n.m. de altitud, no son representativos de los correspondientes a lo alto del Calar del Mundo, ya que en esta sierra se alcanzan hasta los 1694 m; por tanto los valores tomados en dicha estación serán solo orientativos. No obstante, y con el fin de aproximarnos lo más posible a la realidad, introduciremos los índices de corrección establecidos en la Sierra Gorda (Granada), por parte de López Chicano (1992) y en las Sierras de Blanca y Mijas (Málaga), por Andreo Navarro (1997), ya que presentan características orográficas muy similares.

Para el análisis de las **precipitaciones** se han tomado dos años de referencia (y que además tenemos observaciones de los "reventones"): año 1996 (húmedo) y 2001 (seco).

Durante el año 1996 cayó en Riópar una *lluvia* de 1285,9 m m. Los meses más lluviosos fueron (fig. 7): Enero, Febrero, Marzo, Mayo, Septiembre, Noviembre y Diciembre, destacando Enero, Marzo, Noviembre y Diciembre y en especial este último con 327,1 m m. El valor máximo caído en un día fue de 61,7 m m, en Noviembre y Febrero.

Durante el año 2001 las lluvias fueron de 774,4 m m. Los meses más lluviosos fueron más o menos coincidentes con los del año 1996, destacando Enero con 191,4 m m. El valor máximo caído en un día fue de 50,9 m m, en Enero.

Comparando las precipitaciones con los "reventones", se ve que existe una relación muy directa; en efecto, se ha dicho que los meses más lluviosos son Enero, Marzo, Noviembre y Diciembre y precisamente es en éstos cuando se produce el fenómeno, siendo los meses de Diciembre y Enero los que (al menos desde el año 1995, que se iniciaron las observaciones) siempre tuvieron

algún "reventón".

Para que tenga lugar este último, no es necesario que la pluviometría mensual sea alta, sino que se produzcan lluvias relativamente importantes (superior a 100 m m en Riópar) aproximadamente una semana antes (de 6 a 10 días) y al menos los 2 días anteriores que caigan volúmenes superiores a los 40-50 m m diarios; por ejemplo, en el "reventón" del 27-1-01 (fig. 5), tres días antes cayeron 106,2 m m y todos los días anteriores del mes sólo pudieron contabilizar 80,4 m m. Si las precipitaciones son de 50 a 100 m.m., en vez de "reventón" se produce una crecida, como la del 23-12-01.

Otra observación que se ha hecho en los "reventones" de los años 1996 1997, 2000 y 2001 (fig. 5) es que, tras el aumento progresivo de precipitaciones los días anteriores, existe un día o dos en que éstas bajan considerablemente, antes de las fuertes lluvias de los dos últimos días.

Además de las lluvias, también existen precipitaciones por *nieve* y los meses en los que se produce son: Enero, Febrero, Noviembre y Diciembre; cada año existen 8 días de media en los que nieva. Creemos que la nieve interviene poco en el fenómeno del "reventón"; en cambio contribuye decisivamente a que por la Cueva de los Chorros salga agua durante todo el año, ya que la nieve se va fundiendo lentamente y ésta está presente en superficie hasta comienzos del verano. Dicha tesis viene apoyada por el siguiente hecho: a unos 160 m de la boca de entrada a la cueva se une al cauce central, por el SE, el llamado Petit Riu; pues bien, el agua de éste lleva en verano mayor caudal y menor temperatura que la del río principal; ésto es debido a que en el SE se sitúa el Cerro de los Vivoreros, con 1655 m, en donde las precipitaciones de nieve son muy importantes, pero sobre todo, que se trata del lugar del Calar del Mundo donde existen mayor densidad de dolinas y uvalas (y, por tanto, la infiltración es mayor), y también que los estratos (y consecuentemente las galerías) se inclinan hacia el río principal.

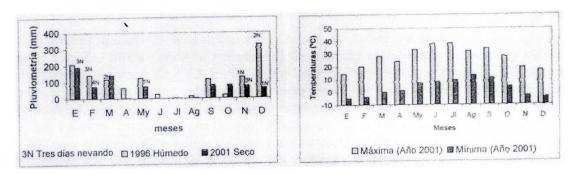


Fig. 7. Pluviometría mensual en año húmedo (1996) y año seco (2001), así como temperaturas máximas y mínimas durante el año 2001, en la estación termopluviométrica de Riópar.

Respecto a las **temperaturas**, sólo se ha analizado el año 2001, que corresponde a uno seco (fig 7). Los valores máximos corresponden a los meses de Junio y Julio, con 38 °C, mientras que los mínimos se registran en los meses de Enero y Diciembre, con -5 y -4 °C, respectivamente. Hay que hacer notar que la oscilación de temperatura, dentro de un mismo día, puede llegar a ser de hasta 22 °C, como por ejemplo el 17-7-01 (30 ° C de máxima y 8 °C de mínima); esta diferencia se agudiza en verano y se suaviza en invierno (el 16 de Enero de 2001, por ejemplo, sólo fue de 2 °C (6 °C de máxima y 4 °C de mínima).

En relación con los "reventones", hay que decir que, puesto que se producen en invierno, lógicamente la temperatura del exterior es relativamente baja (7 a 8 °C de media, en los "reventones" analizados). Por otro lado, se sabe que, en general, cuando no llueve o llueve poco, la temperatura es más elevada que cuando llueve más (están en razón inversa); sin embargo, se ha comprobado que antes del "reventón", aumentan las precipitaciones pero también lo hacen las temperaturas.

Hay que hacer notar que el día antes del "reventón" baja la temperatura y lógicamente también la presión (del 27 al 28 de Diciembre del 2000 bajó la media 3 °C y del 24 al 25 de Enero del 2001 bajó 5 °C).

Durante el "reventón" el agua sale 2 a 3 °C de media más caliente que en el resto del tiempo, con escorrentía normal.

Por último, se ha observado que más del 90 % de los "reventones" se produce por la noche, cuando bajan la temperatura y la presión.

3.3. Caudales aproximativos de los "reventones"

Coincidiendo con los "reventones" se han efectuado aforos con flotador aguas arriba de la antigua estación del IGME. Los máximos registrados han sido los siguientes: 11-1-96=81.640 l/s; 29-12-1996=66.375; 13-11-97=86.130; 29-12-00=63.000; 27-1-01=60.100; 3-3-01=49.900; crecida del 23-12-01=39.250 l/s. Hay que decir, que estos grandes caudales se mantienen aproximadamente durante un día, pero al día siguiente el caudal desciende considerablemente; por ejemplo el día 28-1-01 el caudal era de sólo 6.000 l/s. (diez veces menos del máximo).

Ya se ha dicho que los "reventones" están directamente relacionados con las lluvias, pero lo curioso es que, a veces, con que se produzcan unas lluvias importantes durante dos día seguidos, se puede producir un "reventón" pequeño o una crecida, como la del 23-12-01, que fue de 39.250 l/s y sólo cayeron 41,5 m m en la estación de Riópar.

3.4. Balance hídrico de un "reventón"

El balance global del subacuífero Los Chorros-El Espino ya se expuso con anterioridad (Rodríguez Estrella, 1999) y en él se advertía que las entradas eran igual a las salidas y que ambas estaban comprendidas entre 20 y 25 hm³/a, según los años. Sin embargo, considerando el carácter poco inercial de este acuífero y referido a los "reventones", el balance no se debe hacer anual ni siquiera mensual, sino semanal. En condiciones normales, y teniendo en cuenta el gran desarrollo kárstico del acuífero, habría que pensar que, después de 6 a 10 días seguidos de producirse unas lluvias copiosas y continuadas, como máximo ese mismo volumen precipitado sería el que saliese, durante un sólo día, por la boca de la cueva. Sin embargo, el problema radica en que, en nuestra opinión, el agua evacuada en tan corto espacio de tiempo es mayor, según los cálculos efectuados.

Vamos a considerar un "reventón" de tipo medio, como el del 29-12-00; tras 13 días de no llover nada (y más de 45 con precipitaciones inferiores a 5 m m/día), sobreviene un período corto de sólo 8 días, en el que caen 122,9 m m. Si se aplica un coeficiente de infiltración del 80% al agua realmente caída en el subacuífero, y se considera que la lluvia aumenta 40 m m cada 100 m que nos elevemos (en la Cañada de los Mojones, por ejemplo, está a 300 m más alto que el pueblo de Riópar) se deduce que en los 25 km² de superficie permeable habrían caído (solo en esos 8 días) un volumen de 4,8 hm³; si éste tuviera que salir en un día (como así ocurre en los "reventones") supondría un caudal de 56.250 l/s. Pero la realidad es que lo que se aforó el día 29 fueron 63.000 l/s, esto es, 1'12 veces más. Realizando estos mismos cálculos en todos los reventones en los que disponemos de caudales, se ve que el agua que sale es 1,05 a 1,22 veces superior a la que entra y es tanto mayor cuanto más altas son las precipitaciones. En el caso de la crecida del 23-12-01, el coeficiente de incremento fue de sólo 1,05. En valores absolutos, se puede decir que en los "reventones" salen de 0,4 a 1,3 hm³ más que la lluvia caída 8 a 10 días antes y los caudales máximos son superiores a los 50.000 l/s; en cambio, en las crecidas sale de 0,1 a 0,3 hm³ de más y los caudales máximos son inferiores a 50.000 l/s.

3.5. Características geológicas e hidrogeológicas del interior de la Cueva de los Chorros, en relación con el "reventón"

El primer mapa de conjunto de la Cueva de los Chorros fue confeccionado por Plá Salvador (1987), si bien éste se ha ido actualizando por parte del equipo de Extopocien (fig. 8 A); en dicha publicación se hace una descripción morfológica muy detallada.

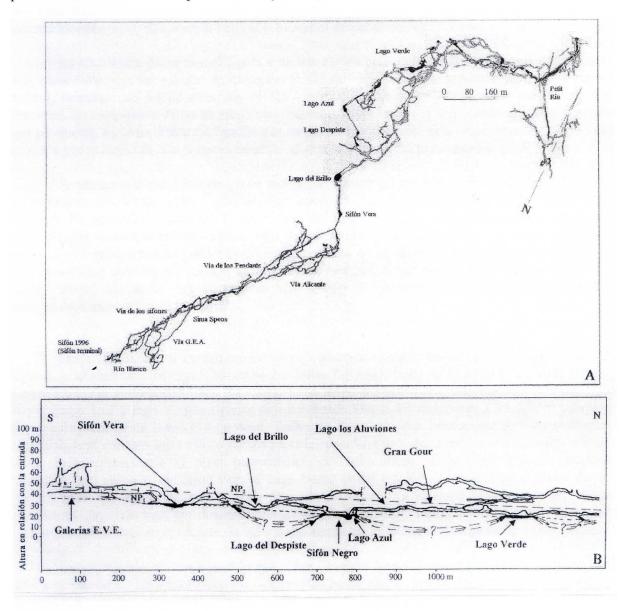


Fig. 8. Cueva de los Chorros. A) Planta y B) Perfil. NP1: Nivel del agua en período normal. NP2: Nivel del agua durante el "reventón".

Aunque dentro de la cueva pueda parecer que sus galerías presentan una disposición laberíntica y caprichosa, si nos fijamos en su proyección en planta veremos que en general presentan formas alargadas, como consecuencia de que se adaptan a fracturas cuyas direcciones están comprendidas entre N 40° E y N 80° E, y N 140° E y N 180° E, siendo las más frecuentes las de dirección N 40° y N 140° E. Estas fracturas que condicionan la geomorfología de la cueva tienen su respuesta en la Geología de superficie. Desde el principio de la cueva hasta el final, ésta se adapta a las siguientes grandes fallas: N 140 E, N 82 E, N 175 E, N 47 E, N 157 E y N 40 E. Todas las

fracturas referidas se encuentran situadas en el borde oriental de la fosa tectónica de la Cañada de los Mojones.

Fallas normales identificadas dentro de la cueva se localizan en los siguientes puntos: Cascada Rosa, Lago Largo, Lago Chopo, Lago Verde, Lago de la Cascada, Lago de la Pértiga, Sifón Vera, Chimenea David Pérez, Lago del Sumidor y Sifón Terminar; la mayoría de estas fallas tienen una dirección NE-SO y concretamente la que corta el Sifón Terminar, al final de lo hasta ahora explorado en la cueva, se ha podido identificar en superficie con una falla importante de dirección N 60 E. El que estas fallas estén ligadas a cascadas y chimeneas no es casual, ya que son las que provocan las diferenciaciones topográficas en la vertical y los saltos de pendiente en la cueva.

La circulación del agua está ligada a un tipo de fracturas con una dirección muy determinada. Así, observamos que las galerías de dirección N 25°-60° E son las que presentan agua (karst vivo o activo), mientras que las de dirección N 115°-165° E normalmente están secas (karst fósil). Las primeras, corresponden a fallas de relajación (fracturas más abiertas) y son posteriores a las segundas que pertenecen a cizalla (fracturas ligadas a la compresión y por tanto están más cerradas). Esto viene apoyado por el hecho de que la cueva tiende a adoptar una dirección predominante de SO-NE.

Se han encontrado dolomías grises oscuras de la base del tramo 5 en la Cueva de los Chorros, concretamente en la Sala de las Dolomías, Cascada Rosa, Sala de la Pértiga, Vía de la Negror (color negro de las dolomías), Laberinto Cerrada, Vía del Lago Azul, etc. Como se ve todas ellas están representadas solo en la primera cuarta parte del recorrido de la cueva, lo cual es lógico, ya que en este sector se encuentran las cotas topográficas más bajas de la cueva y (puesto que los estratos están subhorizontales) también los niveles estratigráficos más inferiores; por otro lado, en la boca de la cueva aflora el techo semipermeable del tramo 4 (dolomías arcillosas), que justifica hidrogeológicamente la salida natural.

Dentro de la cueva existen varios sifones inversos situados inmediatamente aguas abajo de lagos o de sifones directos (fig. 8 B), como en: Sifón Terminal, lagos de A. Olcina, lagos de Rubén y Coderch de gran profundidad, lago Plá, Sifón Vera, Lago del Brillo, conjunto lago del Despiste-Sifón Negro-Lago Azul y lago Verde; algunos de éstos tienen longitudes superiores a los 350 m y espesor de agua de hasta 20 m, como el lago Azul. Todos los lagos referidos tienen agua permanentemente y es posible unir con una linea más o menos recta la superficie de todos ellos, lo cual quiere decir que dicha línea representaría al nivel piezométrico del subacuífero; el relativo pequeño gradiente hidráulico (por ejemplo, del Sifón Vera al Lago Verde es del 1,5 % y del lago Azul al Verde del 0,7 %) nos pone de manifiesto que la zona saturada no estaría ya ocupada básicamente por calizas cavernosas, sino más bien por dolomías fracturadas de la base del tramo 5, hecho que se ha podido comprobar en su interior y, además, la misma toponimia así lo atestigua (por ejemplo: Sifón Negro).

La circulación es fundamentalmente libre, aunque también existe circulación forzada; esta última es patente en los sifones directos (convexidad hacia abajo), pero también lo es periódicamente en los sifones inversos (convexidad hacia arriba), como lo prueba la presencia, en las paredes y techos lisos de ciertas galerías predominantemente redondeadas, de marcas de gubia; también se ha comprobado experimentalmente que las pelotas de pimpón (incluso neumáticos hinchados), que previamente fueron colocados en el suelo antes de un "reventón", trascurrido éste se encuentran próximo al techo a más de 20 m de altura.

La Cueva de los Chorros tiene una inclinación generalizada hacia el Norte, en relación con la boca de entrada, existiendo un desnivel de sólo 47,57 m, en los casi 3,5 km de recorrido en línea recta, lo que equivale a un gradiente medio del 1,4 % (antes de las topografías realizadas en los últimos tiempos se creía que el desnivel era del orden de tres veces más). Pero la pendiente no es uniforme, apreciándose a grandes rasgos dos tramos: uno entre el Sifón Terminal y el Sifón Vera, con

apenas el 1 % (18,18 m de desnivel y unos 2 km de longitud), y el otro entre este último y la boca de entrada, con el 3,4 % (29,39 m y 1400 m, respectivamente).

La abertura que comunica un lago con el sifón directo situado aguas abajo suele ser pequeña, como en el lago Verde que es de 3 m de ancha por 0,30 m de alta; este estrangulamiento va a actuar de cuello de botella cuando lleguen a la cavidad grandes volúmenes de agua procedentes de las lluvias y al no poderlos evacuar, el agua se verá obligada a elevar su nivel y a circular por el sifón inverso hasta llenarlo, inclusive.

Otro factor a considerar es que la mayor parte del agua de las fuertes lluvias llega a los tramos bajos, como el lago Verde, de forma repentina y brusca, como consecuencia de la red dendrítica que caracteriza a esta cuenca hipogea de tipo torrencial, similar a las de superficie. En efecto tras recoger el agua en una cuenca de recepción con red profusa, en la que el paso de un cauce de cierto número de orden a otro de rango superior supone la creación de una ola, aquella se encuentra con un canal de desagüe angosto; y ésto, que en cualquier cuenca superficial originaría una avenida, aquí, al no poder desparramarse en la horizontal lo tiene que hacer en la vertical ascendente. La menor pendiente en el tramo alto de la cueva y la mayor en el bajo contribuye a un embalsamiento y elevación del nivel del agua, en el primer caso, y a una circulación rápida y precipitada, en el segundo.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De todos los resultados encontrados en la investigación resaltan dos, que son los siguientes:

- 1ª) Durante el "reventón" sale mayor volumen de agua que la que recibió el subacuífero, mediante lluvia, una semana o diez antes. Se ha visto que el acuífero, dado su gran desarrollo kárstico, tiene una escasísima inercialidad y lo lógico sería que el mismo volumen de agua que recibe, lo expulse en poco tiempo, pero no más. El incremento de agua no puede proceder de la nieve, pues ésta se va fundiendo lentamente en primavera y verano y, gracias a ello, sale agua a lo largo de todo el año; ello justifica que en verano salga el agua más fría que en invierno y que durante los "reventones" tenga una temperatura 2 a 3 °C superior (que la del agua que emergía con anterioridad), pues procede de una lluvia que además ha sufrido un incremento de temperatura.
- 2ª) El agua del "reventón" tiene una salinidad (conductividad) superior que la que sale el resto del tiempo. Ésto tampoco es lógico, ya que cuanto más grande sea el volumen de agua, mayor dilución se produce y por tanto ésta será menos mineralizada; además, dado el escaso tiempo de contacto roca-agua, no es posible que esta última se cargue en sales desde que se infiltra hasta que sale. Se tiene que tratar de un agua que haya dispuesto de un tiempo suficiente como para poder disolver parte de la roca carbonatada.

Estas dos cuestiones se pueden explicar aplicando el modelo del sifón inverso de Pavía (1999), si éste se sitúa aguas abajo de un sifón directo o de un lago. Dicho autor lo describe de la siguiente manera: "Supongamos que venga tanta agua que ésta tenga que irse por el sifón inverso, que toque los techos de éste, que desplace al aire y que el sifón se "cebe" ¡Atención! ¡En este momento se ha disparado el gatillo!...La galería del sifón inverso empieza a "succionar" agua del lago y es capaz de vaciar un gran volumen de ésta estancada, en poco tiempo. El caudal drenado puede ser muchas veces superior al aporte... Este fenómeno suponemos que se produce en el interior del Calar del Mundo a bastantes kilómetros de la boca de la cueva, por lo que en ésta el "reventón" llega ya muy amortiguado ".

Creemos que básicamente ésto es lo que ocurre, aunque con matices. Uno de ellos es que no

se produce "a bastantes kilómetros cueva adentro", pues si ésto fuera así, a la boca llegaría ya totalmente amortiguado, teniendo en cuenta la gran altura de muchas de las galerías, que llegan a superar los 30 m; además, si se realizase a varios kilómetros de distancia, no se dispondría de agua suficiente como para poner en marcha el proceso, ya que, como se ha visto, estamos ante una cuenca hipogea de tipo torrencial con red dendrítica, en la que se van agregando al cauce principal (a medida que baja éste) grandes masas de agua que originan verdaderas olas y es en el tramo final donde se producirían "avenidas" subterráneas.

Analizada la cueva, bajo el punto de vista del "reventón", hemos visto que entre el Lago Verde (situado a 511 m de la boca) y el Sifón Vera (que distan entre ellos 789 m) existen tres grandes sifones inversos (algunos con hasta 400 m de longitud, como el que une por arriba los lagos Verde y Azul), que podrían explicar el problema, ya que quedarían totalmente saturados con sólo ascender el nivel del agua unos 10 m, tal como puede verse en la fig. 6 B. Bajo estos sifones inversos existen otros sifones directos llenos de agua y entre sifones (en horizontal) existen lagos, como los de Verde, Azul-Despiste y Brillo, siempre cubiertos de agua. En los sifones inversos existen signos evidentes de que se produce periódicamente una circulación forzada, tales como las paredes y techos lisos y, sobre todo, marcas de gubia que, según Pavía (1999), se deben a fenómenos de flashing/cavitación, al aumentar la velocidad y disminuir la presión y el punto de ebullición. Los desagües de los lagos a los sifones directos suelen ser angostos, como el del Lago Verde, que sólo tiene 0,30 m de alto (y todo el agua de la cueva tiene que pasar por él), lo que contribuye a un represamiento y a una elevación del nivel del agua.

Se ha calculado el agua que se almacena en los lagos y sifones directos, entre el Sifón Vera y Lago Verde y se ha evaluado en un mínimo de 350.000 m³, considerando los sifones directos sólo hasta 15 m de profundidad. Sin embargo, sabemos que los sifones son más profundos y, sobre todo, que estos fenómenos de sifones y lagos también existen entre el Sifón Vera y el Terminal (lagos de Rubén y Coderch, A. Olcina y el propio Sifón Terminal, de 300 m de longitud; en todos ellos existen marcas de gubia), cuya distancia es aproximadamente el triple que la considerada; por tanto, el agua almacenada y removida (en sólo los lagos y sifones de la Cueva de los Chorros, hasta el Sifón Terminal) sobrepasaría el hm³, que es el valor aproximado máximo que deducimos sale de más.

Esta*hipótesis, además de justificar los caudales excedentarios, explicaría perfectamente la removilización y puesta en circulación de un agua semiestancada, y por tanto más mineralizada, durante los "reventones", tal como se ha visto durante la investigación. Estos sifones casi vaciados durante el fenómeno, se irían llenando con las lluvias no torrenciales del resto del año y con la nieve y dispondrían de aproximadamente un año (hasta el nuevo "reventón") para volverse a cargar de sales minerales.

Otro factor a tener en cuenta en la génesis del "reventón" es el de las presiones hidrostática y atmosférica. Aunque no se mide la presión en la estación de Riópar, se puede tener una idea relativa de la misma, teniendo en cuenta que es directamente proporcional a la temperatura. Se ha dicho que 8 a 10 días antes del "reventón" aumenta la lluvia considerablemente, pero también la temperatura (presión). Puesto que existe una gran comunicación "aérea" entre la cueva y el exterior (debido al alto grado de karstificación), los cambios climáticos influirán inmediatamente en el agua de la cueva; por tanto, el incremento de presión atmosférica revertirá también en un aumento de presión en el agua, que unido a la presión hidrostática (que cada vez será mayor, porque con el tiempo hay más agua) dará como resultado que tengamos un agua "comprimida"; por eso, cuando 1 ó 2 días antes las lluvias y las temperaturas disminuyen grandemente, se produce una "descompresión", que contribuye a que el agua se eleve de nivel y rebase el sifón inverso.

Por tanto, y concluyendo, el "reventón" no es nada enigmático, sino que se debe a una confluencia de fenómenos físicos reales, tales como: lluvias copiosas y breves, red dendrítica de una cuenca fluvial hipogea, canal principal de desagüe angosto, cambios de pendiente en la cueva según

tramos, cambios de presión y temperatura del exterior y fenómenos de succión en sifones inversos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto IGCP 448 de la UNESCO sobre Correlación Mundial de Ecosistemas Kársticos

REFERENCIAS

Andreo Navarro, B. (1997).- Hidrogeología de acuíferos carbonatados en las Sierras Blanca y Mijas. Tesis doctoral. *Univ. de Málaga*. 480 p.

López Chicano, M. (1992).- Hidrogeología del acuífero kárstico de Sierra Gorda. Tesis doctoral. *Univ. de Granada*. 429 p.

Pavía Alemany, F. (1999).- El Reventón de la Cueva de los Chorros. Flashing/cavitación en el Karst. *Lapiaz* nº 26. pp. 32-48. Valencia.

Plá Salvador, R. (1966).- Nuevas prospecciones en el Calar del Mundo. *Geo y Bio karst*. Año III, nº 9. pp. 21-22.Barcelona.

Plá Salvador, R. (1987).- Trabajos espeleológicos desarrollados en el karst del Calar del Mundo y Cueva de los Chorros (Albacete). *Lapiaz* nº 7 pp 1-36. Federac. Valenc. de Espeol.

Rodríguez Estrella, T. y Granados Granados, L. (1973).- El Cretácico superior de las hojas de Alcaraz, Liétor y Yeste, Zona Prebética. *Primer Coloq. de Estrat. y Paleog. del Cretac. de España*. Bellaterra-Tremp. Emp. Nac. Adaro de Inv. Min. S.A. Serie 7. nº 1. Madrid.

Rodríguez Estrella, T. (1976).- El sistema hidrogeológico del Calar del Mundo. *I Simp. Nac. Hidrog*. Valencia. A.G.E. Grupo de Trab. de Hidrog. pp. 317-338.

Rodríguez Estrella, T. (1979).- Geología e Hidrogeología del sector de Alcaraz-Liétor-Yeste (Prov. de Albacete). Síntesis geológica de la Zona Prebética. Tesis doctoral. Univ. de Granada (leída en 1978). IGME. T. 97, 566 pp. *Colecc. Memor*. Madrid.

Rodríguez Estrella, T. (1999). Nuevas aportaciones sobre el funcionamiento hidrogeológico del acuífero kárstico multicapa del Calar del Mundo (prov. Albacete y Jaén). Contrib. del estud. cientif. de las cavidades kársticas al conocim. geol. *Patronato de la Cueva de Nerja*. pp. 507-522.

Rodríguez Estrella, T. y Ballesta Sánchez, F. (1999). Estudio geohidroespeleológico del Calar del Mundo (provincias de Albacete y Jaén). *Inst. de Estud. Albacet*. Excma. Dip. Prov. Albacete. 175 p.