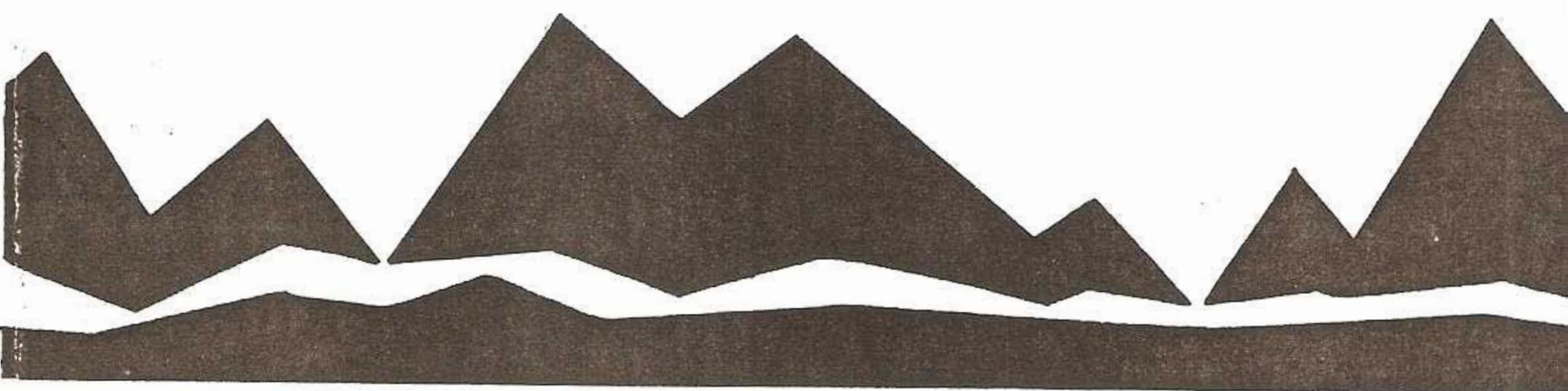


JORNADAS SOBRE EL KARST EN EUSKADI

KARSTARI BURUZKO IHARDUNALDIAK EUSKADIN

JOURNÉES SUR LE KARST EN EUSKADI



DONOSTIA-SAN SEBASTIAN 1986

TOMO 1 - COMUNICACIONES

KARST EUSKADI-86

DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA KÁRSTICO DEL MANANTIAL
DE SANT JOSEP (Vall d'Uixó, Castellón, España).

OBARTÍ SEGRERA, F.J. Dpto de Hidrogeología, Fac. de Ciencias, Universidad de Granada. Grupo Espeleológico Vilanova i Piera (Diputación Provincial de Valencia).

GARAY MARTÍN, P. Dpto de Geología, Colegio Universitario de Castellón. Grupo Espeleológico Vilanova i Piera (Diputación Provincial de Valencia).

MORELL EVANGELISTA, I. Dpto de Geología, Colegio Universitario de Castellón.

RESUMEN

El manantial kárstico de Sant Josep es objeto de control sistemático de la variación de caudal y de las características físico-químicas, desde el mes de julio de 1.985, en el marco de la Tesis Doctoral de uno de nosotros (P.G.M.).

Durante los días 27 y 28 de septiembre de 1.985 se registraron precipitaciones superiores a 200 mm que ocasionaron el aumento espectacular del caudal de la surgencia. Aprovechando esta circunstancia se llevó a cabo el seguimiento exhaustivo de las características de la crecida con el objetivo de abordar el funcionamiento hidrodinámico del sistema.

En este sentido, se analizan los caudales únicamente según el modelo propuesto por MANGIN (1.975) para análisis de la curva de recesión. Según

esto, se han establecido los parámetros que definen la recesión, se han analizado los volúmenes hídricos a nivel del agotamiento y sus implicaciones, y se ha clasificado el sistema en función de la forma de la decrecida. Por último se discuten las características del sistema a la vista de los resultados obtenidos.

INTRODUCCIÓN

El sistema kárstico, ha sido definido con gran acierto por MANGIN (1.975) como el impluvium a nivel del cual las circulaciones de tipo kárstico se organizan para constituir una unidad de drenaje. El proceso dinámico que tiene lugar en el mismo es la circulación hídrica, cuyo resultado es la organización tridimensional del drenaje con una jerarquía parecida a la que tiene lugar en cuencas superficiales, si bien existen peculiaridades propias del medio, condicionadas por esta tridimensionalidad en la organización.

Esta definición es lo suficientemente amplia para admitir particularidades propias a cada sistema individualizado y presenta la gran ventaja de admitir los métodos de investigación propios del análisis de sistemas físicos desarrollados ampliamente en otras ramas de la Ciencia y la Ingeniería.

A su vez, tal como cita WALLISER (1.977), todo sistema dinámico debe contemplarse bajo tres niveles temporales fundamentales: estructural, funcional y evolutivo, para una completa caracterización.

Las observaciones realizadas (1) en el manantial de Sant Josep durante la crecida de los días 27 de septiembre y siguientes del presente año y, la información geológica e hidrogeológica existentes, nos han permitido abordar los niveles estructural y funcional en una primera tentativa de identi

(1) Aforo con micromolinetete y medida in situ de conductividad, pH, Tª, oxígeno disuelto y valoración de bicarbonatos con intervalo temporal de dos horas en el apogeo de la crecida.

tificación del sistema en su estado actual de equilibrio y de evaluación de las relaciones entrada-salida.

DEFINICIÓN DEL SISTEMA KÁRSTICO DE SANT JOSEP

El manantial de Sant Josep, situado unos 2 kms al Oeste de la población de Vall d'Uixó, surge al exterior a cota 140 m.s.n.m. por una cavidad subterránea de 2.384 m de recorrido conocido, de los que 500 m aproximadamente se encuentran acondicionados para su explotación turística (DONAT y BARTOLOME, 1.961; BORRÁS, 1.981; FERNÁNDEZ et al., 1.982).

El caudal medio de la surgencia, si bien desconocido en detalle, parece aproximarse a los 100 l/sg con puntas, como la que se analiza, que sobrepasan los 7 m³/sg.

La cuenca vertiente del sistema se extiende por una superficie de 29,7 Km², de los que 14 Km² corresponden a calizas y dolomías en facies Muschelkalk (Figura 1.). De los 15,7 Km² restantes, 5 Km² están ocupados por areniscas arcóscicas en facies Buntsanstein y el resto, por argilitas de la misma facies de naturaleza impermeable. Las areniscas constituyen un acuífero fisurado cuya descarga se infiltra en las dolomías del Muschelkalk tras un breve recorrido superficial sobre las argilitas.

El acuífero principal está constituido por las calizas y dolomías del Muschelkalk, entre las que se desarrolla un nivel intermedio de arcillas vesíferas y margas que no constituye barrera hidráulica entre los niveles calcáreos debido a la intensa fracturación.

La recarga hídrica de este acuífero procede de la infiltración pluvial y de las eventuales pérdidas superficiales que tienen lugar en alguno de los barrancos.

Los límites del sistema vienen definidos por la divisoria hidrográfica

CUENCA VERTIENTE DEL SISTEMA KARSTICO DE SANT JOSEP

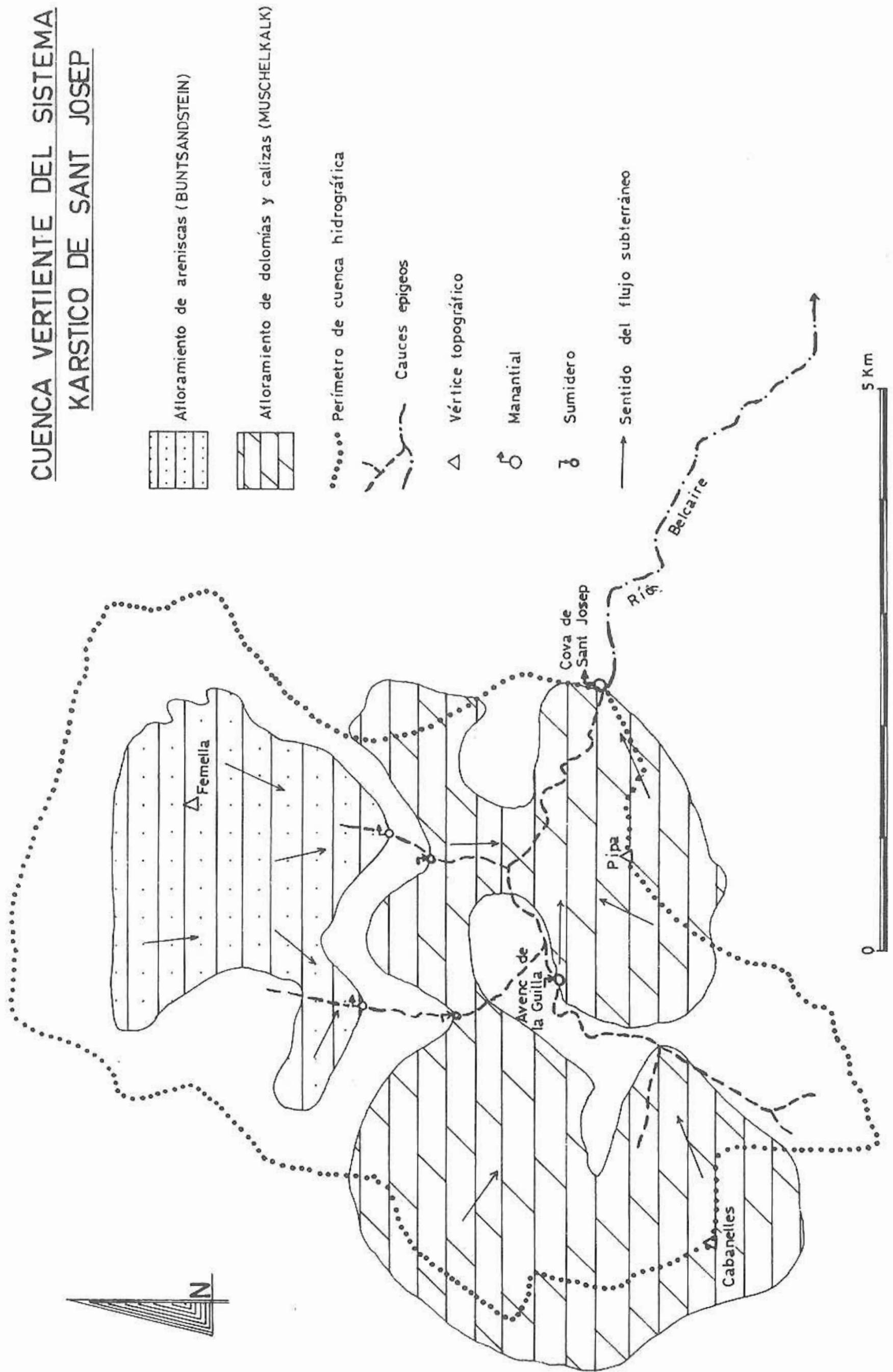


FIGURA 1

de la cuenca del río Belcaire o Sant Josep (27 Km^2) excepto en los extremos occidental y meridional, donde se amplía hasta los límites del afloramiento calcáreo referido. El funcionamiento del río se produce únicamente como respuesta a los fuertes aguaceros que tienen lugar a principios del otoño y más esporádicamente en invierno y primavera. La cueva de Sant Josep, arteria principal de drenaje del acuífero carbonatado, discurre en sus primeros metros de forma paralela al cauce del Belcaire; con posterioridad cruza bajo éste y se prolonga en dirección Oeste bajo el Monte Pipa, donde se localiza un sumidero temporal de las aguas del barranco Belcaire. Este sumidero es el denominado Avenc de la Guilla y se trata de una sima que se abre a cota 220 m.s.n.m., de 35 m de profundidad y sección oval que finaliza en una sala repleta de derrubios entre los que desaparecen las aguas que penetran eventualmente con carácter torrencial. La comunicación entre esta sima y la cueva de Sant Josep ha podido ser comprobada mediante la utilización de fluoresceína como trazador, durante la crecida objeto de estudio.

En los barrancos de Fondegulla y del Horcajo, que afluyen al Belcaire por su margen izquierda, se producen pérdidas localizadas por pequeños sumideros que recogen aguas torrenciales y procedentes de la descarga retardada de las areniscas del Buntsandstein. La cuenca vertiente del sistema se desarrolla entre las cotas 140 y 650 m.s.n.m., con pendientes muy fuertes que propician la escorrentía superficial en aguaceros de moderada y fuerte intensidad.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA CURVA DE RECESIÓN

Dada la heterogeneidad del medio kárstico, que impide el conocimiento en el espacio de sus características intrínsecas, su estudio suele abordarse a partir de sus consecuencias. En este sentido se asimila el sistema a un modelo en caja negra, lugar de transformación de una información de entrada en otra de salida. Las metodologías de análisis de esta información son muy variadas y las hay para todos los gustos. En el presente caso, el método uti

lizado es determinista y ha venido impuesto por la escasez de datos existentes, que se reducen a los tomados con objeto del estudio. Se trata del análisis de la "curva de recesión" o aquella que se extiende desde la punta de una crecida hasta el comienzo de la siguiente. Esta puede descomponerse en dos partes: una, no exponencial donde el caudal disminuye con rapidez (decrecida) y otra, aproximadamente esponencial, en la que el caudal disminuye de forma lenta (agotamiento). Tal y como demuestra MANGIN (1.975), la morfología de la curva es consecuencia directa del estado de la zona saturada y del modo con que se lleva a cabo la infiltración y, puede definirse por una expresión simple del tipo:

$$Q(t) = \theta(t) + \psi(t)$$

en la que:

$$\theta(t) = Q_{R_0} \cdot e^{-\alpha t} \quad \text{y} \quad \psi(t) = q_0 \frac{1 - \eta' t}{1 + \xi t}$$

Los parámetros η' , ξ y α corresponden respectivamente a los coeficientes de infiltración, heterogeneidad y agotamiento y se deducen del hidrograma; sus dimensiones son T^{-1} . Los caudales Q_{R_0} y q_0 representan los caudales en el instante inicial correspondientes a la prolongación del agotamiento y a la diferencia entre el caudal real y éste último (q_0 representa, por tanto, el caudal de infiltración en el momento más álgido de la crecida). La deducción de los parámetros η' y ξ permite la construcción de la función homográfica "Y":

$$Y = \frac{1 - \eta' t}{1 + \xi t}$$

independiente de la amplitud de la crecida y muy útil a efectos comparativos con otros sistemas. Más detalles y la fundamentación teórica del método puede consultarse en MANGIN (op.cit.). Tan solo cabe resaltar la importancia del método dado que permite una comparación cuantitativa entre sistemas kársticos basada en estos parámetros y en la relación entre volúmenes dinámicos y de tránsito.

El sistema de clasificación de MANGIN (op.cit.) se fundamenta en estos dos criterios: la importancia de la zona saturada y la forma con que se lleva a cabo la decrecida. El primero de ellos viene caracterizado por el pará

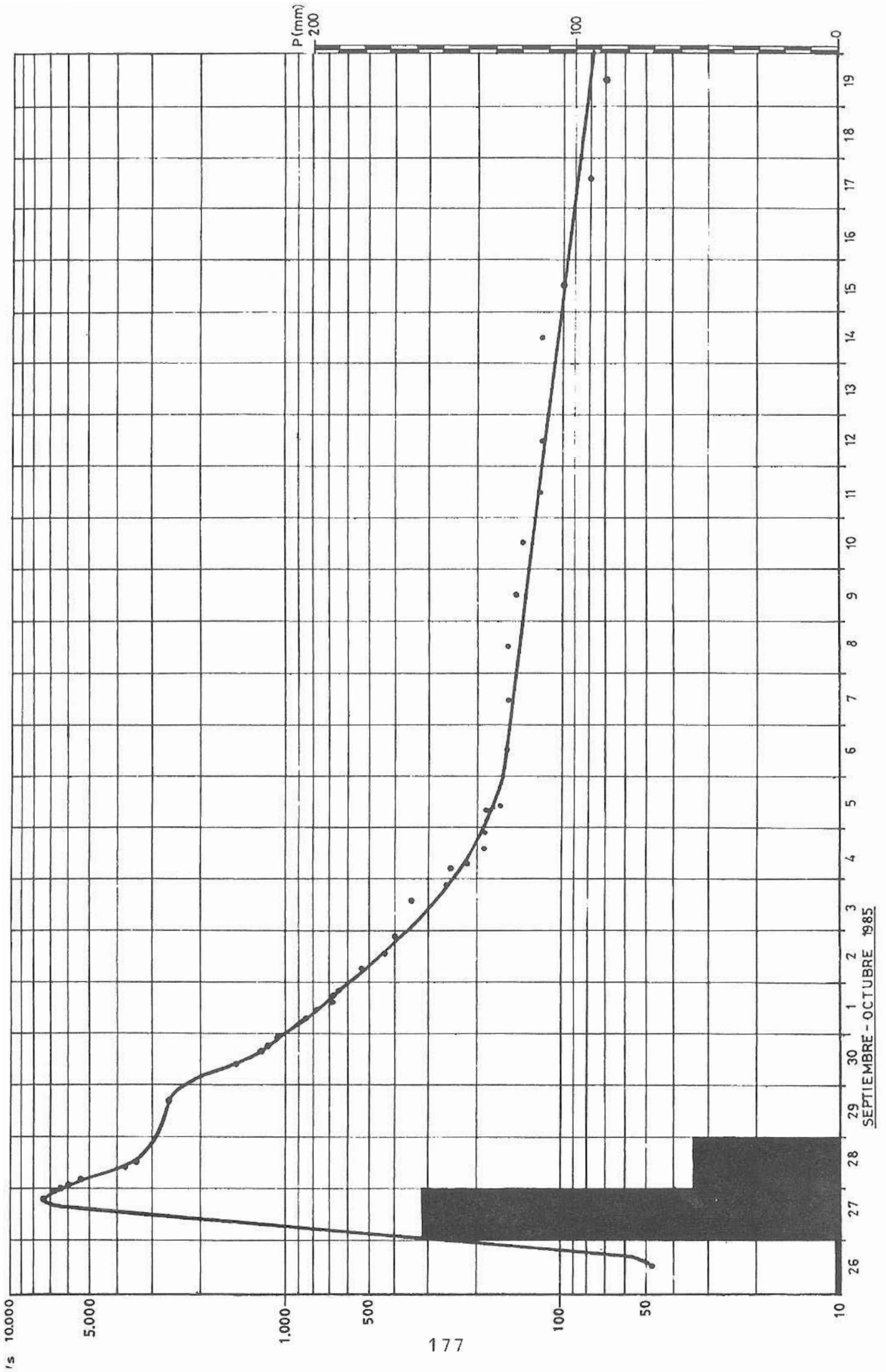


FIGURA 2

metro "k", que traduce el poder regulador del acuífero y se define como la relación entre el volumen dinámico (Vd) máximo observado y el volumen global de tránsito (Vt) a lo largo de un ciclo. La forma de la decrecida, viene definida por el parámetro "i", al que MANGIN define como el valor que toma la función homográfica "Y" para "t" igual a dos días. En base a estos valores el mencionado autor define en un gráfico cartesiano dominios de karstificación y de complejidad en los sistemas, de indudable interés científico y aplicado. Se ha aplicado esta metodología al sistema kárstico del manantial de Sant Josep para la crecida extraordinaria de los días 27 de septiembre y siguientes de 1.985, en la que una lluvia de 216 mm, repartida entre los días 27 y 28 seguida de una decrecida de 8 días de duración y posterior agotamiento (Figura 2.)

En las Figuras 3 y 4 se recoge la función $\psi(t)$ y la linealización de dicha función con el tiempo, obtenida por un simple cambio de variables.

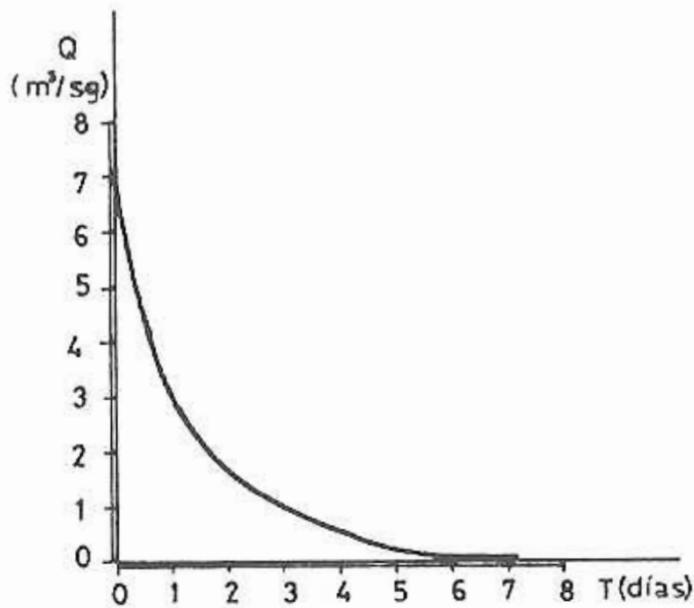


Figura 3.- Curva de decrecida en Sant Josep.

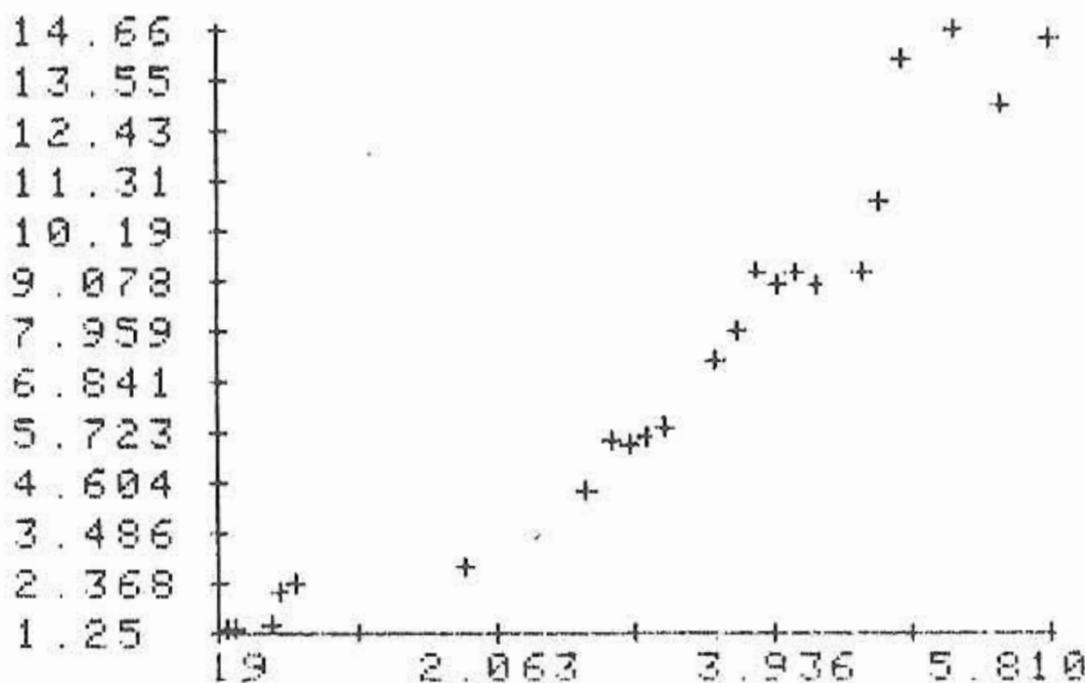


Figura 4.- Linealización de la función de decrecida

Su interés radica en la posterior elección de aquellos puntos que verifiquen dicha relación lineal para la estimación del parámetro ξ . Este último junto con los demás parámetros característicos del sistema, se resumen en el siguiente cuadro:

Q_o	q_o	Q_{Ro}	Q'_o	t_i	n'	ξ	α	V.dinám.	i	k
7,350	7,090	0,260	0,165	8,25	0,121	1,42	0,0527	270.500	0,20	0,10
m^3/sg				días	$días^{-1}$			m^3		

en la que:

Q_o , Q_{Ro} y q_o representan, respectivamente en la punta de la crecida, el caudal real aforado, la prolongación del agotamiento y la diferencia entre ambos (los restantes parámetros han sido ya definidos). De esta manera, queda definido el modelo que reproduce la recesión. Es preciso hacer constar, no obstante, que la curva de recesión ha sido suavizada, debido a la presencia de una segunda punta en el hidrograma que rompe la linealidad y el principio de superposición del sistema (DOOGE, 1.973).

Según los parámetros obtenidos puede expresarse la disminución del caudal a lo largo de la recesión como sigue:

- Para una disminución del caudal inicial en un 50%: 15 horas
- " " " " " " " " 75%: 38 horas
- " " " " " " " " 95%: 120 horas
- " " " " " " " " 99,9%: 190 horas

Asimismo, el volumen dinámico al inicio del agotamiento se estima en 270.500 m^3 y su disminución porcentual con el paso del tiempo según la expresión:

$$\%V = (1 - e^{-\alpha \cdot t}) \cdot 100$$

se recoge en la Figura 5.

El vaciado del volumen dinámico es muy rápido al igual que la velocidad de infiltración. Todo ello unido a la baja inercia del sistema nos refleja su elevado grado de karstificación, constatable en su importante desarrollo espeleológico.

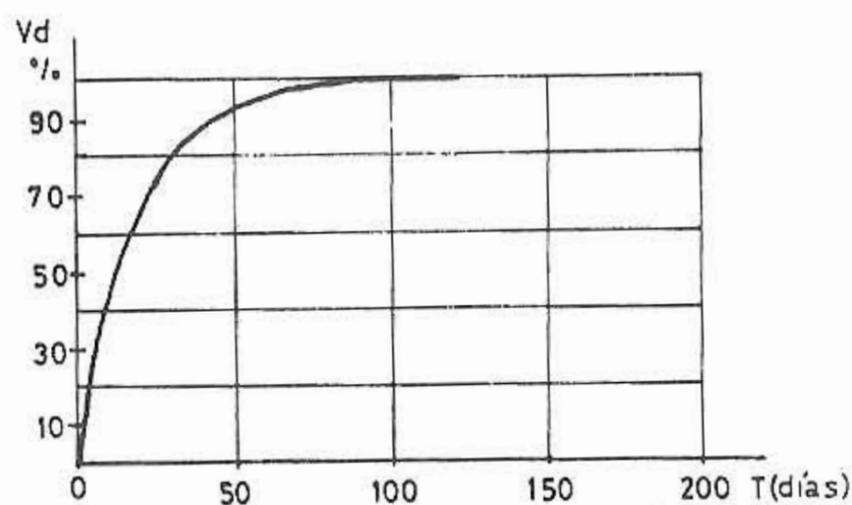


Figura 5.- Vaciado del volumen dinámico.

CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA

La clasificación del sistema de Sant Josep, en función de los parámetros "i" y "k" se observa en la Figura 6, en la que se incluyen otros sistemas kársticos estudiados por MANGIN (1.975) y ANTIGÜEDAD et al.(1.984).

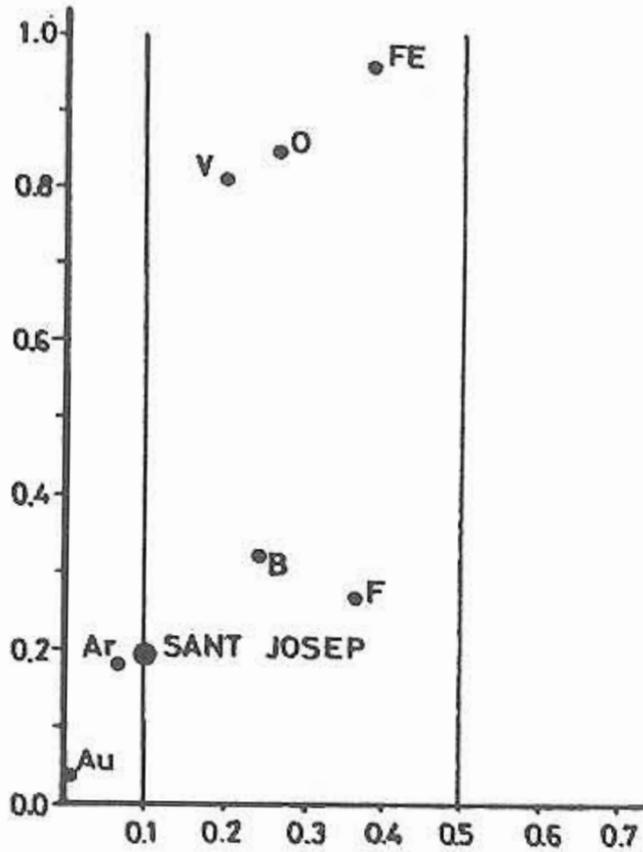


Figura 6.- Clasificación del sistema de Sant Josep. Han sido representados también los sistemas de Aulus (Au), Baget (B), Fontestorbes (F), F. de l'Evêque (FE) y Vaucluse (V) (MANGIN,1975); y los de Argin (Ar) y Orue (O) (ANTIGÜEDAD et al.,1984).

En esta clasificación los puntos situados en la zona $k > 0,5$ corresponderían a sistemas poco o nada karstificados. El dominio definido por $i < 0,25$ y $k < 0,10$, donde se ubica el sistema estudiado, es por excelencia el de los grandes desarrollos espeleológicos funcionales que vienen caracterizados por una organización del drenaje particularmente bien desarrollada en zonas próximas a la surgencia.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Si bien es preciso el análisis de un mayor número de recesiones para la obtención del comportamiento del sistema en diferentes situaciones, puede afirmarse que se trata de un sistema de reducidas dimensiones con organización del drenaje muy acusada, en el que la ausencia de reservas reguladoras es una característica. En este sentido, es posible evaluar la superficie ocupada por la zona saturada a falta de puntos localizados que accedan a la

misma, indirectamente a partir de la expresión:

$$A = \frac{C \cdot Q_0'}{e \cdot \alpha \cdot (p.e)}$$

en la que C es una constante dependiente de las unidades empleadas, Q_0' el caudal al inicio del agotamiento, α el coeficiente de agotamiento, p.e. la porosidad eficaz y e, el espesor medio de la zona saturada. Dado que nos referimos a un medio kárstico, en las proximidades de la surgencia, la porosidad eficaz incluye todo vacío kárstico, que se aproximará a la unidad en las inmediaciones del dren. Así, no parece descabellado, por analogía con otros sistemas kársticos, con similares parámetros característicos a nivel de la recesión, tomar un valor de p.e. del 10% como límite inferior. A su vez los datos existentes permiten estimar un espesor saturado dinámico medio del orden de la decena de metros, con lo que la superficie ocupada por la zona saturada estará comprendida entre 250.000 y 500.000 m², es decir, muy reducida. Además, las observaciones espeleológicas permiten asegurar que ésta se extiende a lo largo del desarrollo de la cuenca, con lo que esta superficie debe ceñirse a una franja de no más de un centenar de metros a ambos lados del dren. Así definido este sistema anexo concuerda a la perfección con los hechos observados: práctica ausencia de inercia en el sistema, caudales habituales inferiores a 50 l/sg, respuestas inmediatas, etc.

En lo relativo a las velocidades de respuesta cabe mencionar algunas consideraciones de interés hidrodinámico. La velocidad aparente de tránsito, se pudo acotar en 60 m/hora, como límite inferior en la colaración efectuada en el Avenc de la Guilla el día 28 de septiembre. En efecto, la fluoresceína vertida (150 gr.) a las 11 de la mañana de tal día se detectó en el fluocaptor retirado del manantial el día 30 a las 10 de la mañana. El caudal en la surgencia era de 3.600 y 1.500 m³/sg respectivamente, en cada una de las fechas indicadas y la distancia mínima pérdida-manantial es de 2.800 metros. El gradiente hidráulico entre estos dos puntos, supuesta la existencia de zona saturada hasta el punto de pérdida, es de 15 por mil.

Estos valores son bastante reducidos en relación con la información existente en drenes kársticos, en los que las velocidades de circulación pueden superar los 400 m/hora y las pérdidas de carga en las proximidades de los mismos pueden alcanzar el 600 por mil. Parece, por tanto previsible, que la velocidad aparente de tránsito supere en principio los 100 m/hora y existe la posibilidad de que la zona saturada no se extienda hasta las inmediaciones de la pérdida, e incluso que ésta no acceda de forma inmediata al dren principal. La velocidad medida en la galería principal durante la crecida llegó a superar 1,5 m/sg en el momento álgido de la crecida. Conforme nos desplazamos de la surgencia y del dren principal la velocidad disminuye considerablemente y puede que llegue al orden de 10^{-3} m/sg en fisuras lejanas al dren.

En lo relativo a la velocidad de propagación de la crecida no se dispone de datos procedentes de piezómetros que permitan abordar el tema con precisión. Es fundamental en este sentido, evaluar si la circulación se produce en carga o en superficie libre y si el flujo se comporta como viscoso o no; todo ello se traduce en velocidades de propagación muy diferentes. BURGER (1.959) y PALOC (1.965) ya señalaban que la onda de crecida se propagaba más rápida que el fluido mismo en acuíferos kársticos. Este último cita relaciones de 20 a 25 entre ambas velocidades y apunta que es el caso general en todos los manantiales vaclusianos.

Más recientemente MANGIN (1.975) trabaja con modelos simples deducidos de las expresiones de Boussinesq y Euler deduce relaciones que varían de 10^5 a 10^2 , según sea o no viscoso el flujo en circulación en carga, y del orden de 1 a 20 o 26, e incluso superior, en circulación en superficie libre según la naturaleza del flujo.

En el caso que nos ocupa, desde el comienzo de la precipitación hasta la punta de la crecida median unas 18 horas que pueden considerarse como límite superior del tiempo de concentración. El tiempo de respuesta de la impulsión debe ser algo inferior dado que en éste último hay que descontar el

tiempo de infiltración hasta llegar a la zona saturada. Es previsible, por tanto, que la velocidad de propagación de la onda sea superior al doble de la velocidad de tránsito. Así, el tiempo de desfase entre transferencia y tránsito puede estar comprendido entre 10 y 20 horas. Estas velocidades (del orden de 3 y 6 cm/sg) medias son, no obstante, bastante reducidas y parecen indicar circulaciones en superficie libre en fluido no viscoso. Localmente, y en zonas próximas a la surgencia se han comprobado velocidades próximas a 2 m/sg. Asimismo, la presencia de gran cantidad de arcilla en suspensión nos revela la aparición de ondas de choque al pasar la circulación de régimen subcrítico a supercrítico.

Para concluir, mencionaremos algunas observaciones respecto a la infiltración. Por integración de la curva de decrecida, hemos estimado el caudal de infiltración en 760.000 m^3 mientras que el volumen de lluvia caída sobre los 14 km ocupados por calizas supone $3,0 \text{ Hm}^3$. Si suponemos que la infiltración eficaz es del orden del 30%, dada la intensidad de la precipitación (normalmente se aproximaría al 50%) que favorece la escorrentía, resulta que por lo menos, 250.000 m^3 no han pasado por la surgencia. El caudal adicional de unos 100 a 300 l/sg procedentes de pérdidas superficiales se compensaría con salidas por evapotranspiración. Este volumen resultante, se ha empleado en parte (150.000 m^3 según el hidrograma) en incrementar las reservas mientras que, probablemente, los 100.000 m^3 restantes se situarían en la zona no saturada, en los denominados acuíferos epikársticos.

Todas estas puntualizaciones serán abordadas en breve en otro estudio que contemple su interrelación con la evolución hidroquímica durante la crecida.

A modo de conclusión, puede afirmarse que el sistema kárstico de Sant Josep, presenta un comportamiento como tal en sentido estricto, con una zona saturada muy restringida, escasas reservas reguladoras, baja inercia, elevada organización y notable desarrollo espeleológico.

AGRADECIMIENTOS

Queremos manifestar nuestro agradecimiento al Ayuntamiento de Vall d'Uixó y al personal encargado de la gruta y, especialmente, al concejal Vicent Nebot i Porcar, que colaboró activamente durante el control de la crecida. Don José Tormo y su familia, tuvieron la gentileza de acogernos durante nuestra estancia y colaboraron en la recogida de muestras.

BIBLIOGRAFÍA

ANTIGUEDAD, I; ERASO, A. y CRUZ-SANJULIAN, J. (1.984). "Análisis e Interpretación de las Curvas de Recesión correspondientes a dos Surgencias Kársticas en la Provincia de Vizcaya". I Congreso Español de Geología. Tomo IV, pág. 17-27.

BORRÁS, J. (1.981). "La Cova de Sant Josep". Sotaterra, 2: 28-37. Barcelona

DOOGE, J. (1.973). "Linear Theory of Hydrologic Systems". Technique Bull., nº 1.468. U.S. Dept. of Agriculture, 327 pp.

DONAT, J. y BARTOLOME, J. (1.961). "Estudio Geoespeleológico de la Cueva de San José (Vall de Uxó-Castellón)". Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España, 64: 175-195. Madrid.

FERNÁNDEZ, J.; GARAY, P.; GIMÉNEZ, S.; IBÁÑEZ, P. y SENDRA, A. (1.982). "Catálogo espeleológico del País Valenciano". T.II. Fed. Valenciana d'Espel. 331 pp. Valencia.

MANGIN, A. (1.975). "Contribution a L'Etude Hydrodynamique des Aquiferes Karstiques". Thèse de L'Université de Dijon. 710 pp.

PALOC, H. (1965). Les recherches hydrogéologiques et les captages et aménagements hydrauliques en milieu calcaire. Cronique d'Hydrogéologie, 7: 87-109.

WALLISER, B. (1977) Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse des systèmes. Ed. du Seuil, Paris, 255pp.

BURGER, A. (1959) Hydrogéologie du bassin de l'Areuse (Jura suisse). Monographies hydrogéologiques. AIN Neuchatel, 304pp.

- - - - -