



# Investigación hidroquímica en el acuífero de Ojo Guareña. Repercusiones hidrogeológicas

## **Adolfo Eraso Romero**

T.S. Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid.  
Ríos Rosas, 21. 28003 Madrid. España.

## **Juan Carlos Baquero Úbeda**

FRASA Ingenieros Consultores, S.L.  
Luna, 45. 28120 Ciudad Santo Domingo (Madrid). España.

## **Jolanta Opolka-Gadek**

Ul. Lwowska, 62. 41200 Sosnowiec. Polonia.

## **Bogdan Gadek**

Ul. Lwowska, 62. 41200 Sosnowiec. Polonia.

## **INTRODUCCIÓN**

## **Y ANTECEDENTES HIDROGEOLÓGICOS**

Las investigaciones hidroquímicas que aquí se presentan, se realizaron durante el mes de agosto de 1993, en el marco de colaboración establecido que regula las relaciones entre alumnos y profesores de la Universidad de Silesia y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid.

Se seleccionó el acuífero kárstico de Ojo Guareña, de 21 km<sup>2</sup> de extensión, enclavado al Norte de la provincia de Burgos, en la merindad de Sotoscueva (entre las localidades de Villarcayo, Espinosa de los Monteros y Puentevedey), por

ser uno de los que disponía de mayor infraestructura cartográfica. Este abarca 115 km de conductos kársticos, pertenecientes a las 20 cavernas topografiadas, de las que el Complejo de Ojo Guareña, con algo más de 100 km (el mayor de la península ibérica), engloba a 11 de ellas.

Dicho acuífero se alimenta, principalmente, a partir de tres cursos fluviales que lo recargan (río de la Hoz, río Trema y río Guareña) de los que el Trema y Guareña se pierden en sendos ponores (sumideros) penetrables, cuya exploración y cartografía está ya realizada.

El acuífero propiamente dicho, se enclava en los niveles calcareos que van desde el Turonense inferior al Coniense (ambos incluidos) con un espesor de 120-150 m de potencia.

La estructura enmarca al acuífero en una alineación sinclinal E-W, de vergencia Este, con cierre periclinal por el Oeste, quedando su zona saturada en un ancho de 1,5 km, a ambos lados del sinclinal.

Los 100 km de desarrollo de conductos topografiados, se encuentran a ambos lados del citado eje sinclinal, abarcando tanto la zona no saturada como la de fluctuación estacional o epifreática.

Consta de siete niveles topográficos, correspondientes a tres diferentes niveles kársticos, de los que los dos inferiores funcionan freáticamente durante los períodos de aguas altas. Existen circulaciones vadosas (ríos subterráneos) visitables y explorables en época de estiaje, y numerosos sifones que funcionan como piezómetros naturales, ya que la fluctuación en el nivel de agua que muestran, representa la recarga subterránea del acuífero en su conexión con la zona saturada.

Las descargas se realizan al Este del sinclinal, de manera directa por la surgencia del Torcón y el subalveo del Trema, cuyo caudal total se integra en el azud de derivación construido en dicho cauce, y únicamente en aguas altas, por la surgencia trop-plein de la Torcona, capaz de evacuar más de 10 m<sup>3</sup>/s.

La elección de esta zona de trabajo, en definitiva, fue debida a todo este conjunto de información disponible, y funcionamiento hídrico observable directamente.

## **TRABAJOS DE CAMPO**

Los muestreos hidroquímicos se han realizado en los siguientes lugares:

A.- Ponores (o sumideros) fluviales que alimentan el acuífero kárstico de Ojo Guareña:

- río Guareña (P-7), y
- río Trema (P-6).

B.- Izvores (o surgencias) que descargan el acuífero kárstico de Ojo Guareña:

- surgencia del Torcón (P-5), e
- integral de surgencias del subalveo del Trema en el azud (P-1).

C.- Piezómetros naturales (sifones interiores) en conexión con la zona saturada:

- Galería de sedimentos, Sector Central (P-2),
- Galería de San Bartolomé, Sector Este (P-8),
- sifón terminal de la Galería Principal, Sector Este-Sector Oricedo (P-9),
- sifón terminal de la Galería del Aburrimento, Segunda Axial (P-3), y
- Pozo de los Italianos, Sector Central-Sector Rizuelos (P-4).

D.-Río subterráneo (vadoso) en zona no saturada: Río Guareña en la Sala de Guipuzcoa (P-10).

En la Tabla 1 se sintetizan los puntos de muestreo empleados.

**TABLA 1. PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADOS.**

PUNTO	FECHA - HORA DE MUESTREO	CLAVE	DESCRIPCIÓN
P-1	13/08/93 - 17:30 h	IZ-GL	Izvor (o surgencia) global del endokarst. Localizada 2 km al Este del Torcón, sobre la prolongación de la segunda axial o Sector Resurgencia, donde el curso fluvial pasa a ser continuo. Azud de derivación.
P-2	14/08/93 - 13:00 h	K.S-SO	Endokarst. Sifón terminal de la Galería de Sedimentos. Sector Central.
P-3	14/08/93 - 15:45 h	K.S-AB	Endokarst. Sifón terminal de la Galería del Aburrimiento. Segunda Axial.
P-4	14/08/93 - 12:25 h	K.R-IT	Endokarst. Nivel de agua en el fondo del Pozo de los Italianos. Sector Central.
P-5	14/08/93 - 18:00 h	IZ-TCON	Izvor del Torcón. Principal descarga del acuífero. Sector Resurgencia.
P-6	14/08/93 - 19:05 h	P.R-TR	Ponor (o sumidero) del Trema, donde pasa a ser su desarrollo subterráneo. Norte del Sector Oricedo.
P-7	14/08/93 - 19:35 h	P.R-OG	Ponor (o sumidero) del río Guareña, llamado Ojo Guareña, donde pasa a ser su desarrollo subterráneo. Alimentación directa al Sector Central. Dédalo Oeste.
P-8	14/08/93 - >21:00 h	K.S-BT	Endokarst. Sifón terminal de la Galería de San Bartolomé. Sector Este.
P-9	14/08/93 - >21:00 h	K.S-TR	Endokarst. Sifón terminal río Trema. Sector Este.
P-10	15/08/93 - 11:30 h	K.R-GUA	Endokarst. Curso subterráneo del río Guareña a su paso por la Sala Guipuzcoa. Sector Central.

## **RESULTADOS OBTENIDOS**

Los análisis, realizados in situ, dieron como resultado los valores indicados en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4.

En base a dichos resultados analíticos, hemos elaborado los gráficos espaciales de isocontenidos para los parámetros más significativos (Figura 1, Figura 2, Figura 3 y Figura 4), cuyo hábito es muy similar en todas ellas.

Se trata de aguas cuya litofacies es bicarbonatada-cálcica, con escaso contenido en magnesio y algunos otros iones que reflejan contaminación (como los nitratos), tanto de tipo físico como orgánico. La litofacies del agua corresponde a sus iones predominantes y, en cierto modo, refleja la litología de los materiales con los que ha estado en contacto, en función de la solubilidad de los mismos.

La conductividad depende de la disociación iónica de ácidos, bases y/o sales presentes en el agua. No todos los iones poseen la misma movilidad, por lo que la conductividad dependerá no sólo de la cantidad de electrólito disuelto (concentración y de la temperatura), sino también de las proporciones de los diferentes electrolitos presentes, existiendo una correlación muy alta entre ella, el residuo seco y el total de sólidos presentes en el agua, así como con algunos iones específicos como los cloruros y sulfatos.

**TABLA 2. PARÁMETROS FÍSICOS.**

PUNTO	TEMP. AGUA (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	TSD		SiO2 mg/l
				meq/l	mg/l	
P-1	14.5	7.70	330	3.50	175.0	5.7
P-2	10.8	7.75	396	4.45	222.5	4.9
P-3	11.5	7.08	317	3.45	172.5	4.4
P-4	14.5	7.39	202	1.85	92.5	10.4
P-5	12.2	7.38	323	3.60	180.0	6.0
P-6	18.0	8.07	162	1.60	80.0	5.5
P-7	15.6	7.51	164	1.35	67.5	13.0
P-8		7.28	347	3.70	185.0	5.3
P-9		7.21	313	3.25	162.5	5.1
P-10	14.8	7.50	202	1.70	85.0	11.8

**TABLA 3. CONTENIDO CATIONICO.**

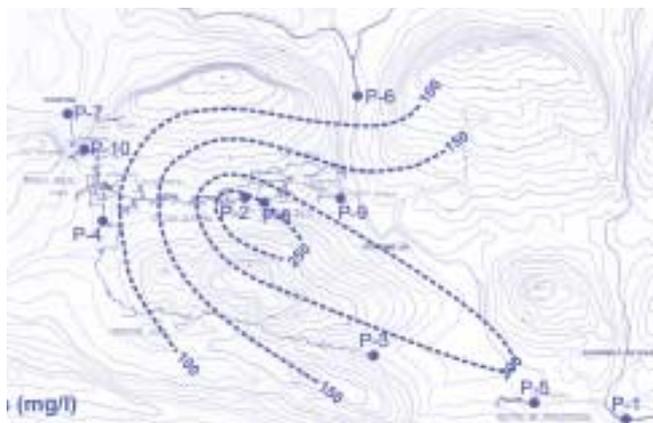
PUNTO	Na+		Mg2+		Ca2+		K+	
	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l
P-1	0.14	3.30	0.55	6.69	2.95	59.0	0.04	1.56
P-2	0.11	2.60	0.30	3.65	4.15	83.0	0.01	0.39
P-3	0.12	2.70	0.30	3.65	3.15	63.0	0.02	0.78
P-4	0.15	3.40	0.20	2.43	1.65	33.0	0.08	3.12
P-5	0.13	3.00	0.55	6.69	3.05	61.0	0.03	1.17
P-6	0.14	3.30	0.30	3.65	1.30	26.0	0.04	1.56
P-7	0.14	3.30	0.20	2.43	1.15	23.0	0.08	3.12
P-8	0.10	2.32	0.15	1.82	3.55	71.0	0.04	1.56
P-9	0.14	3.30	0.35	4.26	2.90	58.0	0.03	1.17
P-10	0.15	3.40	0.25	3.04	1.45	29.0	0.07	2.73

**TABLA 4. CONTENIDO ANIÓNICO.**

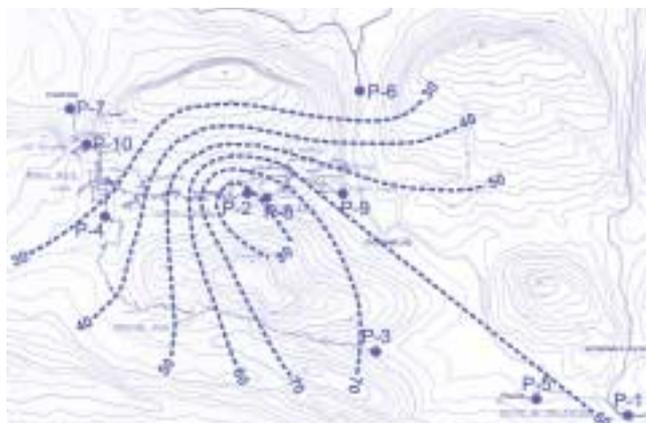
PUNTO	Cl-		SO42-		HCO3-		NO3-	
	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l
P-1	0.24	8.52	0.25	12.1	3.10	189.1	0.03	1.85
P-2	0.25	8.88	0.23	11.1	4.15	253.2	0.08	4.93
P-3	0.23	8.17	0.24	11.6	3.10	189.1	0.02	1.23
P-4	0.23	8.17	0.33	16.0	1.50	91.5	0.07	4.31
P-5	0.21	7.46	0.25	12.1	3.25	198.3	0.02	1.23
P-6	0.18	6.39	0.30	14.5	1.35	82.4	0.01	0.62
P-7	0.19	6.75	0.32	15.5	1.15	70.2	0.05	3.08
P-8	0.19	6.75	0.23	11.1	3.40	207.4	0.02	1.23
P-9	0.20	7.10	0.25	12.1	3.00	183.0	0.01	0.62
P-10	0.20	7.10	0.33	16.0	1.45	88.5	0.05	3.08

## **INTERPRETACIÓN**

Se aprecia, a tenor de los valores de los parámetros mayoritarios, un aumento creciente en contenido iónico desde los ponores del Trema (P-6) y Guareña (P-7), hasta los izvores de Torcón (P-5) e integral en el azud (P-1):



**Figura 1:**  
Evolución espacial de isocontenido en bicarbonatos.



**Figura 2:**  
Evolución espacial de isocontenido en calcio.

- **bicarbonatos**, aumenta desde 70-82 mg/l en los sumideros, hasta 189-190 mg/l en las surgencias,
- **calcio**, aumenta desde 23-26 mg/l en los sumideros, hasta 59-61 mg/l en las surgencias,
- **conductividad**, aumenta desde 162-164  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en los sumideros, hasta 323-330  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las surgencias, y
- **Total Sólidos Disueltos**, aumenta desde 67-80 mg/l en los sumideros, hasta 175-180 mg/l en las surgencias.

En todos los casos, se refleja como progresa la disolución de la caliza donde se emplaza el acuífero kárstico, según circula el agua desde las áreas de alimentación a las de descarga.

Puede observarse en todos los casos la existencia de una anomalía de máximos valores en los puntos de muestreo P-2 y P-8, que corresponden a los sifones en conexión con la zona saturada, localizados en las galerías de los Seditentos y San Bartolomé, cuyos valores son:

- **bicarbonatos**, en torno a 250 mg/l,
- **calcio**, en torno a 80 mg/l,
- **conductividad**, superior a 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y
- **Total Sólidos Disueltos**, en torno a 200 mg/l.

Ambos puntos de muestreo se ubican en el entronque entre los sectores Central y Este, en la Primera Axial o Galería Principal del Complejo de Cavidades de Ojo Guareña.

Nuestra primera interpretación, es que el agua en ambos lugares (P-2 y P-8), aunque sin alcanzar la saturación, indica mayor tiempo de residencia en el acuífero, pues ha disuelto una mayor cantidad de caliza/dolomía, constatándose un fuerte incremento en el contenido en bicarbonatos, calcio y magnesio.

Analizando los contenidos de los iones minoritarios, se pueden deducir algunas cuestiones complementarias:

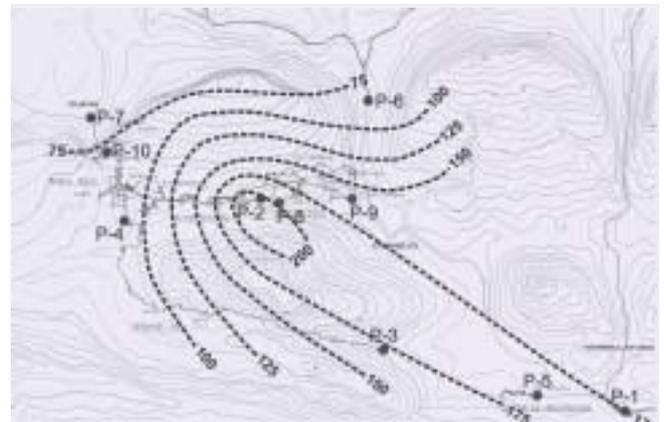
- La **silíce** ( $\text{SiO}_2$ ) marca un trayecto desde el ponor del Guareña (P-7), con un contenido de 13,0 mg/l, hacia su tramo subterráneo (P-10) con 11,8 mg/l, hasta alcanzar el sifón del Pozo de los Italianos (P-4), con 10,4 mg/l, donde conecta con la zona saturada.

El río Guareña circula por rocas silíceas en su trayecto exterior y al sumirse en el ponor, se diluye su contenido en sílice según penetra en la zona no saturada del acuífero kárstico, al recibir pequeños aportes de trayecto vertical por infiltración pluvial en los afloramientos del Senoniense-Coniaciense, visibles tanto en ambos márgenes del sinclinal como en su cierre periclinal (flanco Este).

- Los **nitratos** ( $\text{NO}_2^-$ ) parecen indicar una contaminación por purines, procedente de la cabaña del pueblo de Cuevas por la que pasa el Guareña antes de sumirse a través del ponor P-7.



**Figura 3:**  
Evolución espacial de isoconductividad.



**Figura 4:**  
Evolución espacial de isocontenido en Total de Sólidos Disueltos.

El arrastre de material orgánico genera nitratos, cuya trayectoria en el sistema endokárstico ha podido definirse de P-7 a P-4 y de P-7 a P-2, diluyéndose entonces al circular las aguas en la zona saturada.

- Los **sulfatos** (SO<sub>4</sub>=) son aportados en pequeñas cantidades (>0,30 meq/l) por ambos ponores, diluyendo su concentración conforme penetran en el karst hasta alcanzar la zona saturada (P-4).

La presencia de pirita dispersa en los niveles areniscos de cabecera de las cuencas fluviales del Trema y Guareña, podrían producir sulfatos por oxidación de aquella, de forma que son detectables en los análisis realizados, constatando su dilución una vez es alcanzada la zona saturada (<0,30 meq/l).

- Los **cloruros** (Cl-) minoritarios, de difícil interpretación, aparecen en la zona saturada del acuífero con valores bajos (>0,23 meq/l) los cuales no son aportados por los ponores del Trema (0,18 meq/l) ni del Guareña (0,19 meq/l).

Los cloruros, de fácil y rápida disolución, pueden provenir del lixiviado de residuos urbanos desde el cierre periclinal del Este del sinclinal, donde se ubica la localidad de Villamartín, en los niveles calizos aflorantes aquí, donde se desarrolla el karst de Ojo Guareña.

## REPERCUSIONES HIDROGEOLÓGICAS

Si nos remitimos a los trazados con fluoresceína, realizados por el Grupo Edelweiss en 1984/85, aprovechando regímenes de aguas alta y de estiaje (Eraso, A. 1986), que resumimos en la Tabla 5, queremos destacar algunas cuestiones:

**TABLA 5. ENSAYOS DE TRADAZORES (FLUORESCINA) REALIZADOS EN EL ACUÍFERO KÁRSTICO DE OJO GUAREÑA.**

	ENTRADA	CAUDAL ENTRADA (m <sup>3</sup> /s)	FECHA	TEMPO RECORRIDO (h)	SALIDA	DISTANCIA RECORRIDA (km)	VELOCIDAD (km/día)	PERIODO
Primera	Ponor Guareña (P-7)	0,63	12/02/84	28	Torcona y Torcón	5,2 5,8	4,45 4,97	Aguas altas
Segunda	Ponor Guareña (P-7)	0,16	02/11/84	96	Torcón	5,8	1,45	Estiaje
Tercera	Ponor Trema (P-6)	2,5	04/01/95	21 23	Torcón Torcona	3,6 3,0	4,11 3,13	Aguas altas

- La velocidad de paso en estiaje durante la segunda coloración (Guareña-Torcón) señala ya velocidades de paso bastante rápidas (1,45 km/día) a pesar de tratarse de caudales muy bajos (0,16 m<sup>3</sup>/s) cuyo recorrido, en un 85 % de su desarrollo, se realiza a través de la zona saturada.

- La velocidad de paso durante los períodos de aguas altas, es muy grande (3,13 km/día entre Trema-Torcona, y 4,11 km/día entre Trema-Torcón), donde la surgencia perenne (Torcón) salió dos horas antes, a pesar de encontrarse 1 km más alejada que la surgencia en trop-plein que en ese momento drenaba mucho más caudal.

- Los valores de velocidad de paso de 4,45-4,97 km/día obtenidos durante la primera coloración, reflejan una altísima transmisividad en el acuífero kárstico, todavía sin monitorizar.

Si nos atenemos a las huellas de corriente (scallops) que dibujan sentidos de circulación del agua en los conductos de la zona de fluctuación (Eraso, A. 1965), las direcciones resultantes de flujo tienden hacia el Sur en la zona no saturada, y hacia el Este en la zona de fluctuación en las inmediaciones del ponor del río Guareña, indicando el sentido de P-7 a P-10, de ahí a P-2 y para terminar hacia P-8.

Lo mismo ocurre en las inmediaciones del ponor del Trema, con la salvedad de las Cuevas de Cornejo (prolongación del Sector Este hacia el Sector Oricedo).

Aquí, en las cavernas situadas a cota más alta, donde las crecidas del río no alcanzan, marcan las huellas de corriente circulaciones pretéritas con dirección resultante hacia el Este.

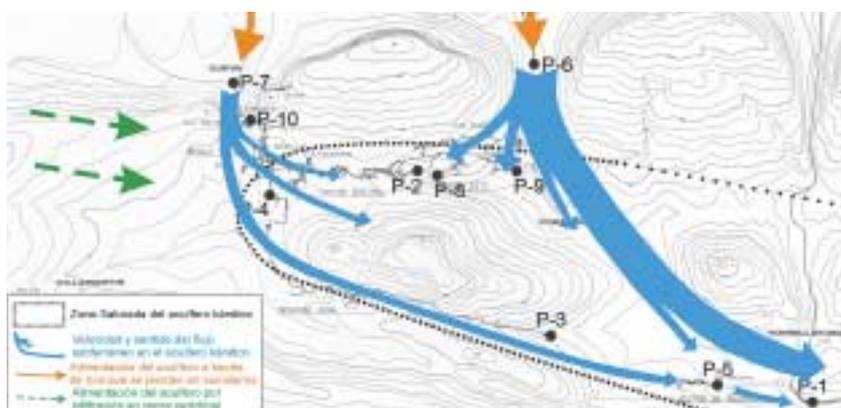
A su vez, los sumideros activos situados bajo esta caverna, marcan resultantes de flujo hacia el Sur y hacia el Oeste en la margen derecha del cañón del Trema (sentido P-6 a P-9 y a P-8 continuando hacia P-2), que se opone en P-8/P-2 al flujo proveniente del Guareña, cuyo caudal medio es 5-6 veces menor que el del Trema.

## CONCLUSIONES

La principal conclusión a que llegamos al contrastar los resultados hidroquímicos obtenidos, con los sentidos de flujo y trazados realizados, es que los flujos de sentido opuesto existentes en los puntos de muestreo P-2 y P-8, disminuyen localmente el gradiente hidráulico, con el resultado de aumentar el tiempo de residencia del agua en este sector del acuífero, incrementando por tanto la disolución en dicho área.

Igual conclusión se obtiene tras el análisis de los parámetros físico-químicos registrados, dado que al pasar a ser subterránea la circulación, se observa un claro descenso de la temperatura del agua hasta equilibrarse en torno a los 10,8°C, temperatura del agua en la zona saturada del acuífero kárstico, incrementándose la conductividad eléctrica y contenido en sólidos disueltos conforme lo hace su tiempo de residencia.

El esquema general de flujo queda reflejado en la Figura 5, que concuerda y completa los resultados expresados en las figuras 1, 2, 3 y 4.



**Figura 5:**  
Zonación y direcciones de flujo en el acuífero kárstico.

En resumen, el sector Dédalo Oeste, se encuentra fuertemente afectado por el río Guareña, mientras que los sectores Este y Oricedo lo están por el Trema.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ERASO, A. 1965. "Introducción al estudio del karst de Ojo Guareña". Revista GEO y BIOKARST, números monográficos 5 y 6. Barcelona.
- ERASO, A. 1986. "El karst del Complejo de cavidades de Ojo Guareña (Burgos)". Revista KAIPE, números 4 y 5. Pp 39-49. Burgos.