

# **“CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS DE LA CUEVA DE POZALAGUA”**

\* Dra.Nagore Irazabal Tamayo. [nagore\\_ira@yahoo.es](mailto:nagore_ira@yahoo.es)

\* Vladimir Otero. [yamisel@infomed.sld.cu](mailto:yamisel@infomed.sld.cu)

\* *Sociedad de Ciencias Espeleológicas Alfonso Antxia*

---

## **1. RESUMEN**

Se describen los estudios hidrogeológicos llevados a cabo en la Cueva de Pozalagua de Karrantza. Se apuntan los aspectos más interesantes de estas aguas subterráneas como uno de los principales factores en el equilibrio físico-químico del sistema kárstico. Se describen de forma global las principales características hidroquímicas de las aguas subterráneas de la cavidad y los principales procesos que las condicionan con el fin de obtener información acerca del funcionamiento, evolución y desarrollo del karst de la Cueva de Pozalagua.

## **1. LABURPENA**

Ondokoan Karrantzako Pozalagua kobazuloan egindako ikerketa hidrogeologikoak azaltzen dira. Sistema karstikoaren oreka fisiko-kimikoan lurrazpiko ur honen ezaugarri interesgarrienak faktore erabakigarrienetako gisa seinatzen dira. Pozalaguako karstaren funtzionamendu, eboluzio eta garapenari buruzko informazioa lortzeko asmoz, leizearen lurrazpiko uraren ezaugarri hidrokimiko garrantzitsuenak eta, halaber, berauek baldintzatu egiten dituzten prozesu inportanteenak deskribatu egiten dira.

## **1. ABSTRACT**

This paper describes the hydrogeological studies carried out in Karrantza's Pozalagua Cave. These underground waters's most interesting features are noted as some of the main causes contributing to the physical-chemical balance of the karstic system. The main hydrochemical features of the cavity's underground waters are described globally, as well as the main processes that have an effect upon them, in order to obtain information about the behaviour, evolution and development of the Pozalagua's Cave karst.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó el estudio hidroquímico de las aguas que se infiltran y circulan por el sistema, con el objeto de conocer sus características físico-químicas. La alimentación se produce casi exclusivamente a través de la infiltración directa de parte de agua de lluvia. El agua de infiltración es uno de los principales factores en el equilibrio físico-químico de este sistema kárstico. Para el estudio de las características físico-químicas de las aguas que se infiltran en la Cueva de Pozalagua se realizaron siete campañas de muestreo de las mismas en la cavidad desde agosto de 2004 hasta enero de 2006. Para ello, se seleccionaron cuatro puntos de muestreo, siendo dos de ellos agua procedente de goteos cenitales (M1: Sala Versailles y M4: Sala grande) y los otros dos agua acumulada en dos zonas de gour (M2: Órgano y M3: Gour bonito) (*Figura 1*).

**Figura 1:** Topografía de la cueva de Pozalagua en la que se localizan las zonas de muestreo de agua.



Se determinaron en el agua determinados parámetros físico-químicos *in situ* susceptibles de sufrir modificaciones por el transporte y almacenamiento de las muestras con diversos aparatos portátiles. El pH, la temperatura del agua, la conductividad y los TDS se determinaron con un Instrumento Multiparamétrico PD300/PC510 de LabProcess. El CO<sub>2</sub> disuelto se determinó con un equipo de análisis HI 3818 de Hanna Instruments, y el O<sub>2</sub> disuelto con un equipo HI93732-01 de Hanna Instruments. El resto de parámetros se determinó en laboratorio una vez recogidas las muestras de agua y transportadas al mismo. Estos parámetros se determinaron mediante Espectrometría de Absorción Atómica (metales), titulación (carbonatos) y Electroforesis Capilar Iónica (compuestos nitrogenados). A partir de los datos obtenidos, se ha realizado los cálculos geoquímicos pertinentes para conocer el estado de saturación mineral de las aguas kársticas y lo valores de la presión parcial de CO<sub>2</sub> (P<sub>CO2</sub>). Se han utilizado los programas AQUACHEM y PHREEQC (versión 2).

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. ASPECTOS HIDROGEOQUÍMICOS GENERALES**

En la siguiente Tabla (*Tabla 1*) y el diagrama de Piper representado en la *Figura 2* se muestran las principales características hidroquímicas de las aguas de infiltración de la cavidad de Pozalagua. Se trata de muestreos en cuatro puntos de la cueva (*Figura 1*) llevados sistemáticamente desde agosto de 2004 hasta enero de 2006. Hay que tener en cuenta que los periodos de muestreo coincidieron, intencionadamente, con épocas de crecida o de estiaje, debido, bien a la intensa carga pluviométrica de los meses previos o a la ausencia de ellos.

**Tabla 1: Características físico-químicas de las muestras de agua de Pozalagua**

Punto de muestreo	Fecha	Flujo	pH	Temp. (H <sub>2</sub> O)°C	Cond. (μS/cm)	TDS	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
M1	10/08/2004	+	7.9	13	235	-	-	-	15.7	28.4	-	-	-	-	-	-	< 0.5	-	167.1	-	-	-
M2	10/08/2004	+	7.9	13	234	-	-	-	9.2	32.1	-	-	-	-	-	-	1.0	-	144.4	-	-	-
M3	10/08/2004	+	7.9	13	253	-	-	-	7.5	37.6	-	-	-	-	-	-	< 0.5	-	155.0	-	-	-
M4	10/08/2004	+	8	13	263	-	-	-	10.2	33.1	-	-	-	-	-	-	< 0.5	-	156.3	-	-	-
M1	01/10/2004	+	8.1	13	241	-	-	-	19.0	28.0	-	-	-	-	-	6.0	< 0.5	-	154.4	-	-	5.9
M2	01/10/2004	++	7.9	13	252	-	-	-	11.0	37.0	-	-	-	-	-	6.0	< 0.5	-	146.1	-	-	9.8
M3	01/10/2004	+	8.2	13	245	-	-	-	12.0	28.0	-	-	-	-	-	8.0	1.8	-	148.1	-	-	7.8
M4	01/10/2004	+	8.2	13	240	-	-	-	16.0	28.0	-	-	-	-	-	6.0	< 0.5	-	149.7	-	-	10
M1	15/01/2005	+++	8.1	12.8	228	-	-	-	19.0	31.0	-	-	-	-	-	14.0	< 0.5	-	155.0	-	9.0	9
M2	15/01/2005	++++	8	12.8	240	-	-	-	13.0	30.0	-	-	-	-	-	13.0	0.88	-	150.0	-	9.5	7.8
M3	15/01/2005	+++	8.1	12.8	225	-	-	-	13.0	31.0	-	-	-	-	-	13.0	< 0.5	-	151.0	-	9.5	8.9
M4	15/01/2005	++++	8.2	12.9	225	-	-	-	15.0	30.0	-	-	-	-	-	16.0	1.2	-	155.0	-	5.0	8.1
M1	02/04/2005	+++++	8.1	12.8	228	-	-	-	17.0	29.0	-	<0.07	-	-	-	-	< 0.5	-	150.0	-	-	-
M2	02/04/2005	++++	8.1	12.8	225	-	-	-	13.0	30.0	-	<0.07	-	-	-	-	< 0.5	-	152.0	-	-	-
M3	02/04/2005	++++	8	12.8	221	-	-	-	13.0	32.3	-	<0.07	-	-	-	-	< 0.5	-	146.0	-	-	-
M4	02/04/2005	+++++	8.3	12.8	211	-	2.1	0.4	15.8	70.1	<0.002	<0.07	<0.1	<0.04	6.3	6.2	< 0.5	< 0.02	140.0	240	-	-
M1	07/07/2005	+	8.2	13	252	152	-	-	15.8	28.4	-	-	-	-	7.8	7.3	-	-	166.3	136	6.0	10.1
M2	07/07/2005	+	8.2	12.8	225	-	-	-	8.1	34.3	-	-	-	-	6.6	5.0	-	-	147.4	119	10.4	8.9
M3	07/07/2005	+	8.1	12.8	230	-	-	-	7.4	36.7	-	-	-	-	5.8	5.6	-	-	152.1	122	8.0	7.4
M4	07/07/2005	+	8.2	12.8	233	-	-	-	9.5	32.2	-	-	-	-	7.1	6.1	-	-	153.7	120	5.8	8.4
M1	29/09/2005	++	8.2	13.1	249	142	3	0.2	17.8	26.3	-	<0.07	-	-	8.0	6.0	-	-	160.0	139	5.0	5.6
M2	29/09/2005	++	8.2	12.9	242	143	3.2	0.1	9.5	34.3	-	<0.07	-	-	8.0	5.0	-	-	146.0	125	4.5	8.9
M3	29/09/2005	++	8.1	12.8	247	143	3	0.1	8.1	38.1	-	<0.07	-	-	8.0	5.0	-	-	150.0	128	3.0	8.9
M4	29/09/2005	++	8.2	12.9	229	137	3	0.1	10.4	30.3	-	<0.07	-	-	8.0	5.0	-	-	144.0	118	2.5	8.8
M1	16/01/2006	+++	8.3	12.9	237	142	3.3	0.2	16.4	27.4	<0.002	<0.07	<0.1	< 0.04	7.0	6.0	2.0	< 0.02	161.0	136	3.5	9.3
M2	16/01/2006	++++	8.3	12.9	215	90	3	0.1	8.8	32.7	<0.002	<0.07	<0.1	< 0.04	5.0	4.0	1.0	< 0.02	149.0	117	3.0	11
M3	16/01/2006	++++	8.2	12.9	220	129	3	0.2	8.2	34.6	<0.002	<0.07	<0.1	<0.04	5.0	4.0	0.6	< 0.02	152.0	120	4.0	9.1
M4	16/01/2006	+++++	8.3	12.9	230	135	3.8	0.1	12.4	30.6	<0.002	<0.07	< 0.1	0.06	6.0	4.0	0.9	< 0.02	155.0	127	3.5	9.4

Flujo: + muy bajo ++ bajo +++ medio ++++ alto +++++ muy alto

Concentraciones en mg/l.

M1: Sala Versalles

M2: Organo

M3: Gour bonito

M4: Sala grande

### 3.1.1. Consideraciones sobre algunos componentes químicos de interés en las aguas de infiltración

A partir de los datos obtenidos, se observa un claro predominio de la facies Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, (Tabla 2), esto es, una composición química bastante homogénea de tipo bicarbonatado cálcico-magnésico, que corresponde a la disolución de las calizas y dolomías que conforman los principales materiales acuíferos presentes en el área de estudio, y corresponden con composición mineralógica de la cueva, siendo estas aguas más cálcicas cuando interacciona con calizas, o con más contenido en magnesio cuando interacciona con dolomías, en la parte superior del karst hasta su salida en la cueva (M1: Sala versalles). Además existe una relación inversa entre la velocidad de flujo del agua de infiltración y la relación Mg/Ca. Este proceso es debido a que la cinética de disolución de la dolomita es más lenta que la de la calcita y sólo aguas con un elevado tiempo de contacto con dolomía inducen su disolución y el consiguiente incremento de Mg en solución (Figura 4). Este incremento de los contenidos en magnesio en las muestras correspondientes al subgrupo de aguas Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>, es en parte resultado de la mayor tasa de disolución de dolomita, debido a tiempos más largos de tránsito y mayor tiempo de contacto agua-roca (como se observa en el punto de muestreo M1: Sala Versailles) (Figura 3 y Figura 4).

Tabla 2: Tabla de facies de las muestras de agua

POZALAGUA	Pto. de muestreo	Facies
10/08/2004	M1: Sala Versailles	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
10/08/2004	M2: Organo	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
10/08/2004	M3: Gour bonito	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
10/08/2004	M4: Sala grande	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
1/10/2004	M1: Sala Versailles	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
1/10/2004	M2: Organo	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
1/10/2004	M3: Gour bonito	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
1/10/2004	M4: Sala grande	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
15/01/2005	M1: Sala Versailles	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
15/01/2005	M2: Organo	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
15/01/2005	M3: Gour bonito	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>

15/01/2005	M4: Sala grande	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
2/04/2005	M1: Sala Versailles	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
2/04/2005	M2: Organo	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
2/04/2005	M3: Gour bonito	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
2/04/2005	M4: Sala grande	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
7/07/2005	M1: Sala Versailles	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
7/07/2005	M2: Organo	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
7/07/2005	M3: Gour bonito	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
7/07/2005	M4: Sala grande	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
29/09/2005	M1: Sala Versailles	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
29/09/2005	M2: Organo	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
29/09/2005	M3: Gour bonito	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
29/09/2005	M4: Sala grande	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
16/01/2006	M1: Sala Versailles	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
16/01/2006	M2: Organo	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
16/01/2006	M3: Gour bonito	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
16/01/2006	M4: Sala grande	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>

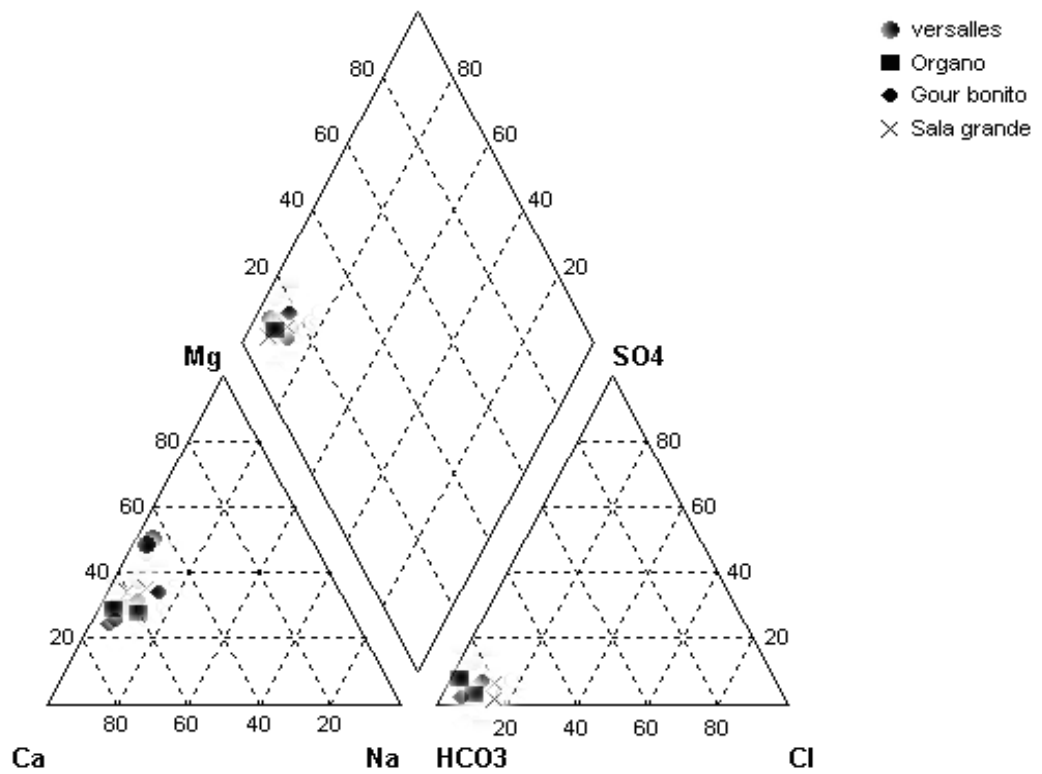
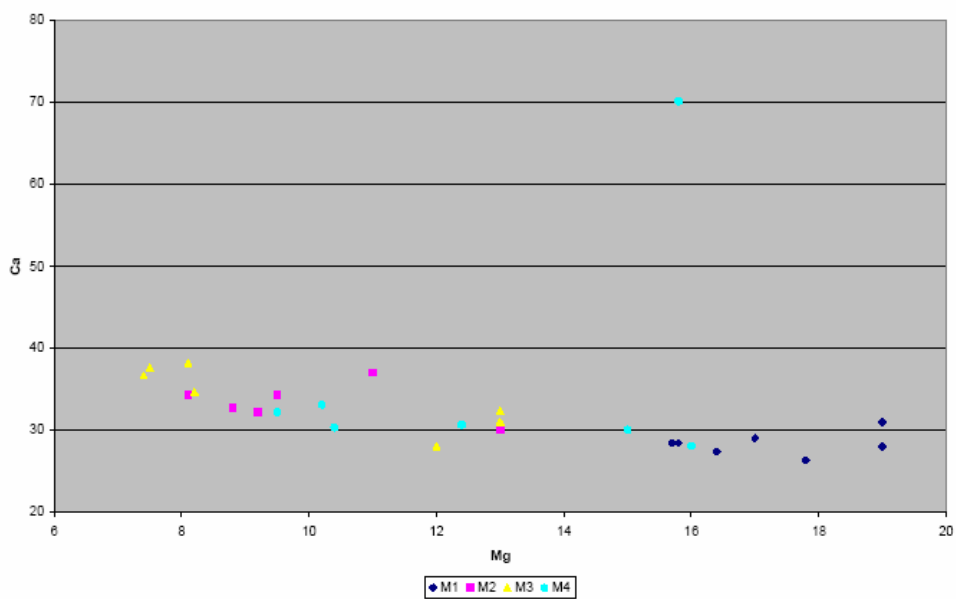


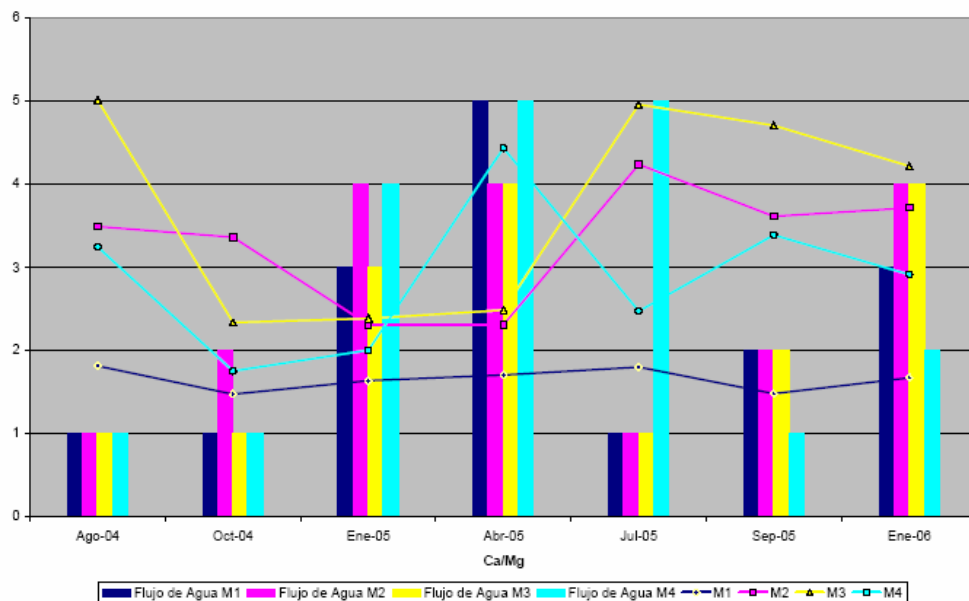
Figura 2: Diagrama de Piper

En la Figura 3 se aprecia mejor la relación Ca-Mg, donde se observan los contenidos máximos de Mg en M1, como resultado de la mayor tasa de disolución de dolomía, y los contenidos mínimos de Ca, en contraposición con M3 que llega a tener justo las concentraciones a la inversa. Si se compara la relación Ca/Mg con el flujo en cada toma de muestras resulta interesante el comportamiento de M1, que mantiene un comportamiento bastante lineal, presentando los máximos valores de Mg y los mínimos de Ca, siendo todo el tiempo la relación entre ellos menor de 2 (Figura 4).

**Figura 3: Relación Ca-Mg**



**Figura 4: Relación Ca/Mg con el flujo**



Tras realizar una matriz de correlación de los elementos más importantes, la mejor correlación se obtiene entre el flujo y la Conductividad eléctrica, aunque ésta es inversamente proporcional. Es interesante destacar además, la relación directa entre la temperatura y la Conductividad eléctrica, aunque es lógica hasta cierto punto, ya que la concentración del CO<sub>2</sub> en el agua es inversamente proporcional a la temperatura. Por último también sería destacable la relación inversa existente entre Ca y HCO<sub>3</sub>, mientras que con el Mg es directa. Así como la relación directa entre Flujo y pH.

**Tabla 3: Matriz de Correlación**

	Ca	HCO <sub>3</sub>	Ce	Temp	Flujo	pH
Mg	-0,1643	0,4118	-0,0234	0,201	0,2207	0,145
Ca		-4765	-0,3117	-0,1224	0,2609	0,1175
HCO <sub>3</sub>			0,3827	0,3606	-0,18	-0,0755
Ce				0,5639	-0,6286	-0,3959
Temp					-0,4474	-0,1349
Flujo						0,3317

En lo que se refiere a contaminación de las aguas, se aprecia la ausencia de compuestos orgánicos, como amoníaco, nitritos y metales pesados en disolución (no han sido detectados Ni, Pb, Sr, Cd, Cr, Cu, Hg, Ar, Sb, Se, Al), aunque la presencia del contenido de nitratos, sobre todo en los últimos muestreos, indica indicios de contaminación exógena. Los datos de microbiología obtenidos en el último muestreo (16/01/2006) (*Tabla 4*) indican, también, una pequeña contaminación de las aguas siendo las menos contaminadas el agua procedente de la Sala Versailles (M1), y, principalmente, la del goteo de la Sala Grande (M4), punto que, por otra parte, es el que se encuentra más alejado del recorrido realizado por los visitantes además de que no se encuentra ninguna sonda ni ningún foco en los alrededores, factores éstos que pueden afectar a la calidad del agua favoreciendo la colonización por microorganismos. En los puntos M2: Organo y M3: Gour bonito, además de la colonización por microorganismos desarrollada alrededor de los focos y sondas, y en las rocas directamente afectadas por el haz de luz, el aumento de temperatura que provoca la bombilla,

favorece el incremento de colonias fototróficas que pueden servir de base para el desarrollo de otras comunidades de tipo quimiótrofas.

**Tabla 4: Análisis microbiológico**

Punto de muestreo	M1: Sala Versailles	M2: Organo	M3: Gour bonito	M4: Sala grande
DATOS MICROBIOLÓGICOS (ufc/ml)				
Bacterias heterótrofas 22°C	>100	>100	>100	9
Coliformes totales	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
<i>Escherichia coli</i>	AUSENCIA	1	1	AUSENCIA
Enterococos	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
<i>Clostridium perfringens</i> (incluidas esporas)	3	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA

En lo que se refiere a la saturación de las aguas, observamos que en el gráfico de la *Figura 5*, que relaciona la Conductividad eléctrica con el pH, la ubicación de los puntos por encima de la curva muestran que se trata de unas aguas saturadas (*Hidrogeoquímica. J. R. Facundo; P. González*).

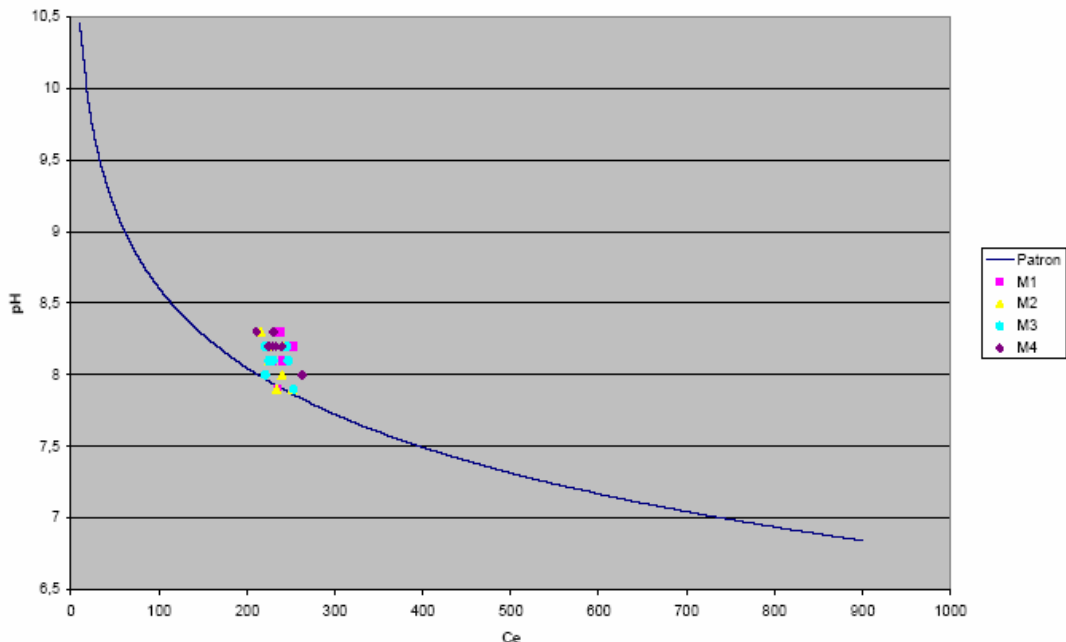
En lo que se refiere al estado de saturación de las muestras de agua frente a los principales minerales de carbonato, es destacable la proximidad de las muestras analizadas al estado de sobresaturación respecto a la calcita. La lenta velocidad de percolación permite un mayor periodo de contacto entre el agua que surge a la cavidad y la atmósfera interior favoreciendo la precipitación mineral e impidiendo que el agua alcance un mayor grado de sobresaturación. Esto, unido a desequilibrio existente entre la  $P_{CO_2}$  de las aguas de infiltración y la del aire de la cavidad, favorece la formación de espeleotemas de crecimiento lento. Es importante indicar que la mayoría de las muestras se han tomado de agua estancada en los gours así como de las zonas de goteo, debido al poco volumen de agua que se infiltra en la mayor parte del año, con lo que el agua se encontraba en equilibrio con la roca. En periodos de gran volumen de agua, se tomo principalmente de goteo cuando resultó factible (M1 y M4).

El estado de saturación es similar respecto a las fases carbonatado cálcica (calcita y/o aragonito) y carbonatado cálcico-magnésicas (dolomita) aunque con ligera subsaturación en determinados meses (*Tabla 5*). Es de destacar además la

predominancia de precipitación de la dolomita en la zona de Versailles y Sala grande (M1 y M4) que es donde se encuentra esta fase (*Figura 7*). Por otro lado, y como es habitual, se puede apreciar en las *Figuras 6, 7 y 8* que a mayores flujos la concentración de los principales minerales disminuye y viceversa. Una excepción sería el resultado del punto M4 de 02/04/2004 (marcados con una flecha tanto en la *Figura 6* como en las *Figuras 7 y 8*), que nos muestra una concentración anómala de Ca y Mg, con respecto al resto de los puntos, por lo que hemos considerado que no resulta ser representativo de los resultados obtenidos, y no muestran la tendencia general del resto.

En general predominan los procesos de precipitación de calizas y dolomitas (*Figura 6 y Figura 7*). Estos resultados son coherentes con el alto grado de desarrollo de espeleotemas en toda la cueva, así como con la composición mineralógica de la misma.

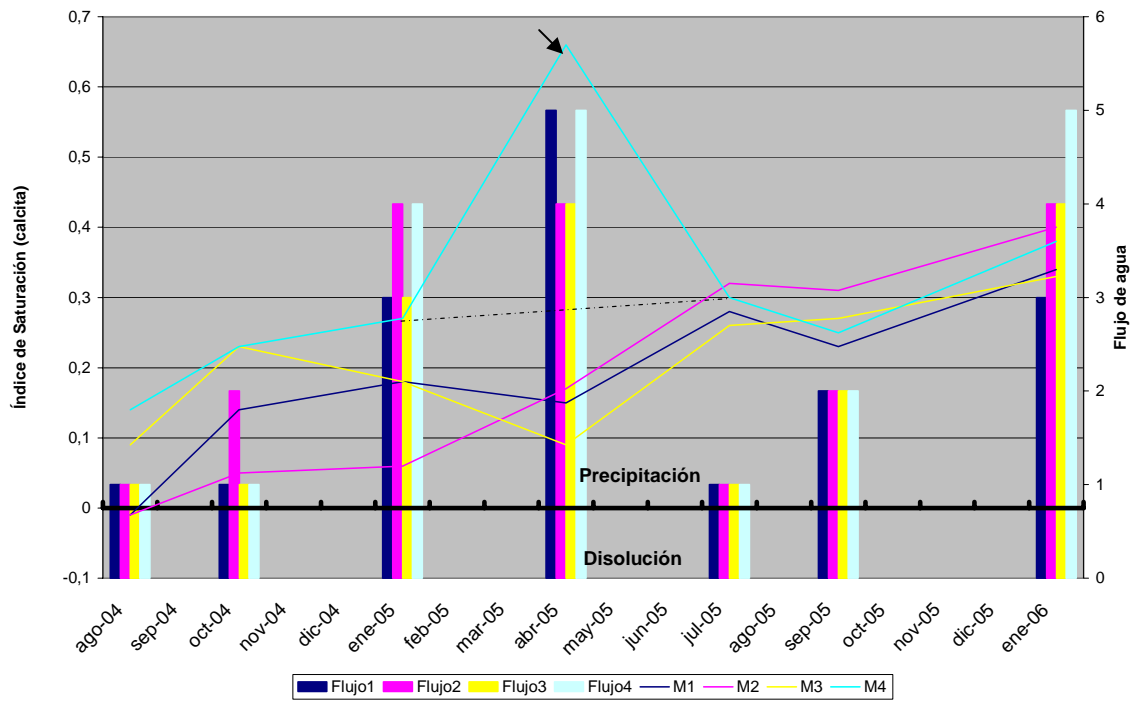
**Figura 5: Relación conductividad con pH**



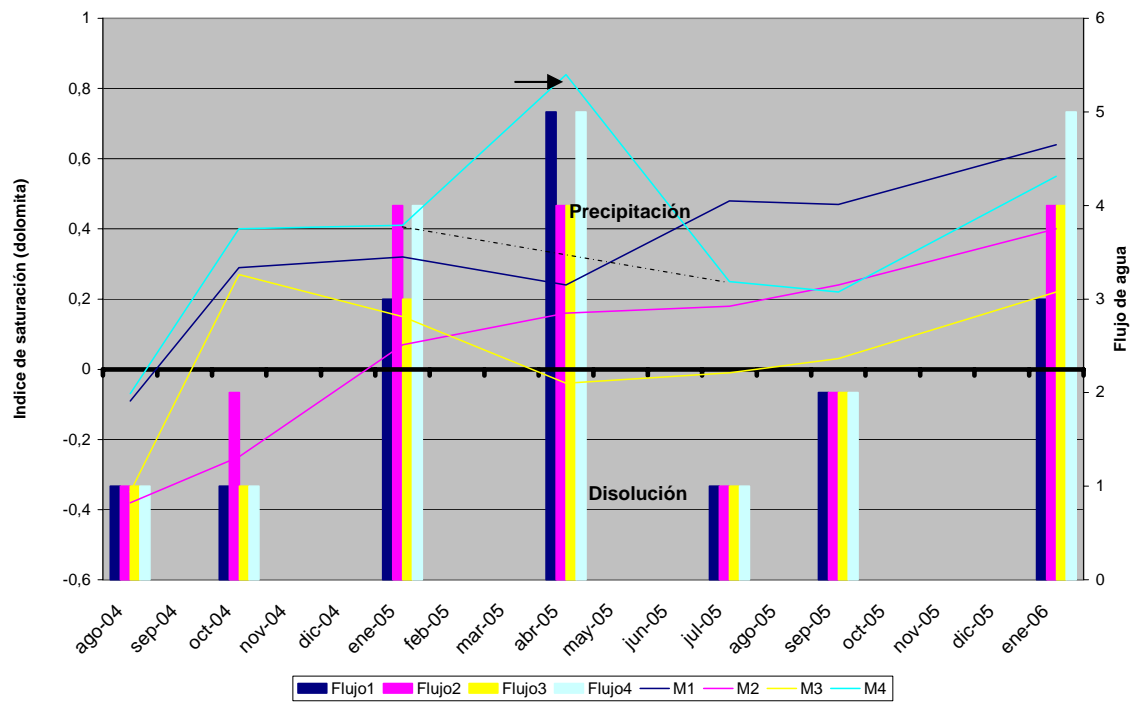
**Tabla 5: Valores de los índices de saturación determinados a partir de los datos físico-químicos de las muestras de agua.**

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Fecha</b>	<b>Índice de saturación Calcita</b>	<b>Índice de saturación Dolomita</b>	<b>Índice de saturación Aragonito</b>
<b>M1</b>	10/08/2004	-0,01	-0,09	-0,16
<b>M1</b>	01/10/2004	0,14	0,29	-0,01
<b>M1</b>	15/01/2005	0,18	0,32	0,03
<b>M1</b>	02/04/2005	0,15	0,24	0
<b>M1</b>	07/07/2005	0,28	0,48	0,12
<b>M1</b>	29/09/2005	0,23	0,47	0,08
<b>M1</b>	16/01/2006	0,34	0,64	0,19
<b>M2</b>	10/08/2004	-0,01	-0,38	-0,16
<b>M2</b>	01/10/2004	0,05	-0,25	-0,1
<b>M2</b>	15/01/2005	0,06	0,07	-0,09
<b>M2</b>	02/04/2005	0,17	0,16	0,02
<b>M2</b>	07/07/2005	0,32	0,18	0,16
<b>M2</b>	29/09/2005	0,31	0,24	0,16
<b>M2</b>	16/01/2006	0,4	0,4	0,25
<b>M3</b>	10/08/2004	0,09	-0,35	-0,06
<b>M3</b>	01/10/2004	0,23	0,27	0,08
<b>M3</b>	15/01/2005	0,18	0,15	0,02
<b>M3</b>	02/04/2005	0,09	-0,04	-0,06
<b>M3</b>	07/07/2005	0,26	-0,01	0,11
<b>M3</b>	29/09/2005	0,27	0,03	0,11
<b>M3</b>	16/01/2006	0,33	0,22	0,18
<b>M4</b>	10/08/2004	0,14	-0,07	-0,02
<b>M4</b>	01/10/2004	0,23	0,4	0,08
<b>M4</b>	15/01/2005	0,27	0,41	0,11
<b>M4</b>	02/04/2005	0,66	0,84	0,51
<b>M4</b>	07/07/2005	0,3	0,25	0,15
<b>M4</b>	29/09/2005	0,25	0,22	0,1
<b>M4</b>	16/01/2006	0,38	0,55	0,23

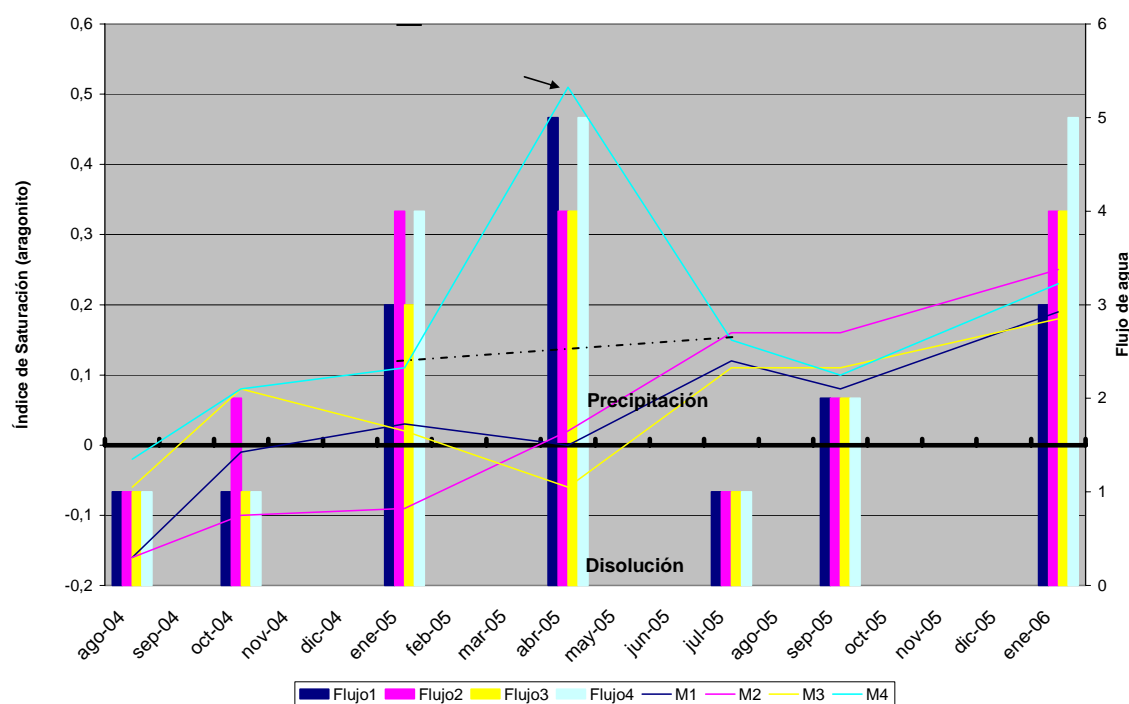
**Figura 6: Relación Indices de saturación para la calcita con el flujo**



**Figura 7: Relación Indices de saturación para la dolomita con el flujo**



**Figura 8: Relación Indices de saturación para el aragonito con el flujo**



#### 4. CONSIDERACIONES FINALES

El estudio hidroquímico del agua subterránea de la cueva de Pozalagua y su entorno han puesto de manifiesto que la facies del agua es bicarbonatada cálcica-magnésica, y magnésica-cálcica.

En cuanto al estado de saturación frente a los principales minerales de carbonato, se pone de manifiesto que la mayoría de las aguas están cercanas al estado de equilibrio respecto a la calcita aunque tienden a la sobresaturación, y que predominan los procesos de precipitación de calizas, principal componente de las excéntricas.

En lo referente a la contaminación de las aguas no se aprecian compuestos orgánicos, como amoníaco, nitritos y metales pesados en disolución, aunque la presencia del contenido de nitratos indica indicios de contaminación, que junto con los datos de microbiología obtenidos indican, también, una pequeña contaminación de las aguas siendo las menos contaminadas el agua procedente

de la Sala Versailles (M1), y la del goteo de la Sala Grande (M4). En los otros puntos M2 y M3, además se detecta un crecimiento evidente de microorganismos desarrollada alrededor de los focos, así como, en determinadas paredes iluminadas por los focos.

En cuanto a la influencia del actual régimen de visitas sobre las características hidroquímicas de las aguas, dado que los datos están afectados por el actual régimen de visitas no es posible determinar exactamente el efecto producido. No obstante, a partir de los datos físico-químicos y del estado de saturación mineral del agua, se puede concluir que el control del número de visitas que se ha realizado a partir del año 2005, en principio, ha podido suponer una tendencia al incremento en cierta manera apreciable en el estado de saturación mineral de las aguas de infiltración analizadas, y por tanto, un efecto destacable y positivo en la precipitación (al menos desde el punto de vista de los macroelementos) en las masas y en el goteo. Únicamente en los goteos de flujo muy lento se podrían dar alteraciones asociadas a condensación del vapor de agua emitido por los visitantes. Dicha condensación produciría la dilución de la solución en puntos de goteo con flujo muy lento y unida al incremento de CO<sub>2</sub> asociado a las visitas provocar el cese de la precipitación mineral en dichos puntos. Asimismo, podría darse un fenómeno de microcorrosión en las excéntricas más jóvenes, tal y como se aprecia en determinadas zonas de la cueva.

Como complemento al trabajo realizado se están realizando experimentos con el fin de comprobar si se da evaporación de agua de los distintos puntos de la cueva, o por el contrario, existe principalmente infiltración de la misma. Asimismo, se procederá a realizar toma de agua de condensación para su posterior análisis físico-químico.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a todas las personas que nos han ayudado durante este estudio sea, colaborando en la toma y análisis de muestras, aportando su ayuda logística o táctica y su amistad o compañerismo durante las muchas salidas y fines de semana, traduciendo el manuscrito, o brindándonos su apoyo moral,

que no es poco, porque sin ellas y ellos este trabajo no se podría haber realizado. Eskerrik asko, Jabi, Rakel, Gaizka, Txema, Rosa, Marian, Zuazua, Urtxi, Xiomara... (y demás espeleólogos/as colaboradores y/o chicas para todo), Arantza, Mikel, (compañeros y siempre dispuestos a echarle una mano en las traducciones y enloquehagafalta), Esti, Iñigo (muestreadores defindesemana profesionales), y a Iñaki, Amaia, Pepe, por el apoyo logístico y espiritual. Y a los que no estáis pero sois. Muxuak guztioi!

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- **Antigüedad, I.** (1988). Estudio de acuíferos kársticos a partir de sus respuestas naturales. Aplicación a los sistemas del País Vasco. Rev. de la Soc. Geológica de España. Vol. 1.
- **Antigüedad, I.** (1998). Evaluación y recuperación ambiental introducción a la Hidrogeología. En: Curso de Hidrogeología, Universidad del País Vasco (España), 1-28.
- **Calaforra, J.M. y Pulido, Bosch, A.** (1989). Principales sistemas kársticos en yeso en España. En: El karst en España. Ed. J.J. Duran, J. López Martínez. Monografía de la Soc. de Geomorfología, 9: 277 - 294.
- **Llamas, J.** (1993). Hidrología General. Principios y Aplicaciones. Ed. Universidad del País Vasco (España).
- **Facundo, J.R., González, P.** (2005). Hidrogeoquímica. Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional (CENAMENT). Ministerio de Salud Pública. La Habana, Cuba.
- **Fagundo, J.R., Pajón, J.M., Valdés, J.J., Rodríguez, J.E. y Arellano, D.M.** (1987). Naturaleza de los procesos de disolución de los minerales calcita, dolomita y yeso en aguas naturales del occidente de Cuba. Voluntad Hidráulica, 76: 30-42.
- **Markowicz, M. y Pulina, M.** (1979). Ilosciowa Polmikroanaliza Chemiczna Wod Wobszarach Krasu Weglanowego. Uniwersytet Slaski. Katowice.
- **Pajón, J.M. y Fagundo, J.R.** (1983). Optimización de métodos analíticos de campo para el estudio de la interacción de las aguas naturales con el medio geológico. Biblioteca BTJ Nacional, 73 pp.
- **Parkhurst, D.L. y Appelo, C.A.J.** (1999). User's guide to PHREEQC (version 2). A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S.Geological Survey Water-Resouces Investigations Report, 99-4259, 1-312 pp.
- **Thorstenson, D.C. and Parkhurst, D.L.** (2002). Calculation of individual isotope equilibrium constants for implementation in Investigations Report 02-4172, 129 pp.

- **Tóth, J.** (2000). Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. Boletín Geológico y Minero, 111 (4): 9-25. Instituto Geológico GeoMinero (España). ISSN 0366-0176.