

**Estudio hidroquímico e hidromicrobiológico de la cueva de Mendukilo.
Astiz. Nafarroa.
Periodo Enero 2006 – Diciembre 2007.**

Nagore Irazabal Tamayo* nagore_ira@yahoo.es

* *Sociedad de Ciencias Espeleológicas Alfonso Antxia*

Hidroquímica e hidromicrobiología

1 Hidroquímica

Uno de los métodos para dar seguimiento a la evolución del karst es mantener un estudio sistemático de las características físicas y químicas de las aguas. En las cuevas utilizadas para el turismo, algunos parámetros se transforman con el tiempo, influenciados por el régimen de visitas y la materia que estos aportan al sistema subterráneo.

La cueva Mendukilo es un punto de concentración de las aguas del macizo, con una alimentación por agua de infiltración, acumulada en gours o represas, que llegan a formar pequeños lagos, como en el sector Laminosin.

Para el estudio de las características físico-químicas de las aguas que se infiltran en la cueva Mendukilo se realizaron seis campañas de muestreo de las mismas en la cavidad desde enero de 2006 hasta 2007. Para ello, se seleccionaron cuatro puntos de muestreo, siendo agua procedente de agua acumulada en zonas de gours o procedente de goteos, cuando los había. (Figura 48).



Figura 48. Ubicación de los puntos de muestreo de agua para los análisis químicos. Los puntos se señalan con una H.

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 PC300 de LabProcess. El CO₂ disuelto se determinó con un equipo de análisis HI 3818 de Hanna Instruments, y el O₂ disuelto con un equipo C-200 y reactivos HI93732-01 de Hanna Instruments.

El resto de parámetros se determinó en laboratorio una vez recogidas las muestras de agua y transportadas al mismo en un periodo que oscila entre las 12 y 14 horas después de su recogida y adecuadamente mantenidos a 4 °C. Estos parámetros se determinaron mediante Espectrometría de Absorción Atómica (metales), tritificación (carbonatos) y Electroforesis Capilar Iónica (compuestos nitrogenados).

A partir de los datos obtenidos (Tabla XIX-a), se han realizado los cálculos geoquímicos pertinentes para conocer el estado de saturación mineral de las aguas kársticas y los valores de la presión parcial de CO₂ (Pco₂). Se han utilizado los programas AQUACHEM y PHREEQC (versión 2).

Tabla XIX-a

MUESTREO: 12-02-2006

<i>PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS</i>	HERENSUGEA	LAGO LAMINOSIN	GOUR (DE ARRIBA)	CRUCE DE GALERÍA
Temp. agua (°C)	8.2	8.3	8.3	7.0
Temp. Aire (°C)	8.1	8.1	8.3	8.3
Conductividad (µS/cm.) (20 °C)	272	257	256	257
pH	8.0	8.2	8.2	8.2
TDS (ppm)	163	155	154	157
Turbidez (UNF)	0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Oxidabilidad (O2) (mg/l)	0.5	0.6	0.9	0.6
Carbono Orgánico Total (mg/l)	1.2	1.6	1.6	1.5
Amonio (mg/l)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Oxígeno disuelto (mg/l)	11	10	10	9.7
C02 agua	3.5	2.5	2.5	2.5
Hierro (µg/l)	<70	<70	<70	<70
Manganeso (µg/l)	<2	<2	<2	<2
Nitritos (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Nitratos (mg/l)	2.0	8.7	7.6	9.5
Fluoruros (mg/l)	<0.04	<0.04	0.04	0.11
Boro (mg/l)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Calcio (mg/l)	55.0	52.8	51.9	51.6
Magnesio (mg/l)	1.2	1.2	1.1	1.1
Sulfatos (mg/l)	5	5	5	6
Cloruros (mg/l)	4	4	3	4
Sodio (mg/l)	3.0	2.5	2.4	2.7
Aluminio (µg/l)	<30	<30	<30	<30
Dureza total (mg/l CaCO3)	142	137	134	133
Selenio (µg/l)	<1	<1	<1	<1
Antimonio (µg/l)	<1	<1	<1	<1
Arsénico (µg/l)	<1	<1	<1	<1
Mercurio (µg/l)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Cobre (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cromo (µg/l)	<1	13	<1	<1
Cadmio (µg/l)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Plomo (µg/l)	<2	<2	<2	<2
Níquel (µg/l)	<5	<5	<5	<5
MICROBIOLOGÍA				
Bacterias heterótrofas 22°C (ufc/ml)	>100	>100	>100	>100
Coliformes totales (ufc/100 ml)	1	20	AUSENCIA	AUSENCIA
<i>Escherichia coli</i> (ufc/100 ml)	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Enterococos (ufc/100 ml)	AUSENCIA	AUSENCIA	1	AUSENCIA
<i>Clostridium perfringens</i> (ufc/100 ml)	AUSENCIA	AUSENCIA	1	AUSENCIA

MUESTREO: 11-06- 2006

MUESTREO: 29-10- 2006

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	HERENSUGEA	LAGO LAMINOSIN	GOUR (DE ARRIBA)	CRUCE DE GALERÍA		HERENSUGEA	LAGO LAMINOSIN	GOUR (DE ARRIBA)	CRUCE DE GALERÍA
Temp. agua (°C)	8.7	8.7	8.7	8.2		8.9	9	9	9.2
Temp. aire (°C)	8.5	8.7	8.7	8.7		8.9	9.3	9.1	8.9
Conductividad (µS/cm.) (20 °C)	272	238	268	247		307	294	331	286
pH	8.1	8.2	8.2	8.3		8.0	8.0	8.1	8.1
TDS (ppm)	176	148	163	152		145	180	202	76.8
Oxígeno disuelto (mg/l)	10.6	9.7	6.8	11		8.2	5.6	9	10
C02 agua (mg/l)	4.5	2.5	3.5	4		7.0	9.0	6.5	7.0
Turbidez (UNF)	0.6	0.4	<0.3	<0.3		0.4	0.5	<0.3	0.9
Hierro (µg/l)	<70	<70	<70	<70		<70	<70	103	77
Nitratos (mg/l)	2.2	9.0	8.1	8.5		2.9	10.1	10.2	8.6
Calcio (mg/l)	46.1	45.9	55.6	50.0		64.7	62.7	74.9	59.6
Magnesio (mg/l)	1.0	0.9	0.9	0.9		1.3	1.2	1.3	1.2
Sulfatos (mg/l)	7	4	4	5		7	6	5	6
Cloruros (mg/l)	4	3	2	3		6	4	4	4
Sodio (mg/l)	2.5	1.9	1.9	2.1		2.7	2.0	2.3	2.4
Dureza total (mg/l CaCO3)	119	118	143	129		167	162	192	154
Potasio (mg /l)	0.4	0.2	0.2	0.2		0.4	0.2	<0.2	0.2
Alcalinidad (mg/l HCO3-)	179.3	142.7	175.1	166.5		201.0	189.0	217.0	181.0
Fluoruros (mg/l)	-	-	-	-		0.05	0.08	0.05	0.06

MUESTREO: 21-01-2007

MUESTREO: 16-04-2007

	HERENSUGEA	LAGO LAMINOSIN	GOUR (DE ARRIBA)	CRUCE DEGALERÍA	TOMA RÍO EXTERIOR		HERENSUGEA* (GOTEO)	LAGO LAMINOSIN	GOUR (DE ARRIBA) * (GOTEO)	CRUCE GALERÍA
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS										
Temp. agua (°C)	8.6	8.6	8.7	8.1	9.6		8.4	8.6	8.6	8.0
Temp. Aire (°C)	8.5	8.6	8.6	8.3	10.5		8.4	8.6	8.6	8.1
Conductividad (µS/cm.) (20 °C)	297	242	290	183	271		380	272	283	251
pH	8.0	8.3	8.2	8.4	8.3		8.3	8.3	8.4	8.3
TDS (ppm)	187	160	161	172	171		214	164	169	162
Turbidez (UNF)	<0.3	0.6	<0.3	<0.3	0.8		<0.3	0.4	0.4	0.4
Oxidabilidad (O2) (mg/l)	0.4	0.6	0.8	0.6	0.8		0.6	0.6	0.6	0.6
Carbono Orgánico Total (mg/l)	<1.2	1.3	1.5	1.4	<1.2		1.2	<1.2	1.2	1.2
Amonio (mg/l)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10		<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Oxígeno disuelto (mg/l)	9	9.7	4.4	8.5	-		9.7	9.1	7.8	8.8
C02 agua	2.5	3.0	2.0	3.0	5.5		2.5	2.5	1.0	1.5
Hierro (µg/l)	<70	<70	<70	<70	110		<100	<100	<100	<100
Manganeso (µg/l)	<2	<2	<2	<2	4		2	<2	<2	<2
Nitritos (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Nitratos (mg/l)	2.4	10.0	14.0	11.5	5.2		2.5	7.4	3.7	6.0
Fluoruros (mg/l)	0.11	<0.04	<0.04	0.05	0.07		0.05	0.05	0.12	0.05
Boro (mg/l)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3		<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Calcio (mg/l)	69.4	58.8	67.8	65.8	48.2		79.5	54.2	52.4	53.2
Magnesio (mg/l)	1.4	1.2	1.3	1.2	3.6		1.0	0.9	0.9	0.9
Sulfatos (mg/l)	7	5	6	7	16		6	5	5	5
Cloruros (mg/l)	6	4	4	4	7		4	5	4	4
Sodio (mg/l)	3.3	2.5	2.8	3.0	4.5		2.9	2.2	2.6	2.2
Aluminio (µg/l)	<30	<30	<30	<30	40		<30	<30	<30	<30
Dureza total (mg/l CaCO3)	179	151	174	169	135		203	139	135	136
Selenio (µg/l)	<1	<1	<1	<1	<1		<1	<1	<1	<1
Antimonio (µg/l)	3	2	2	<1	<1		<1	<1	<1	<1
Arsénico (µg/l)	<1	<1	<1	<1	<1		<1	<1	<1	<1
Mercurio (µg/l)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Cobre (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cromo (µg/l)	<5	<5	<5	<5	<5		<1	<1	<1	<1
Cadmio (µg/l)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5		<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Plomo (µg/l)	<2	<2	<2	<2	<2		<2	<2	<2	<2
Níquel (µg/l)	<5	<5	<5	<5	<5		<2	<2	<2	<2
Potasio (mg/l)	-	-	-	-	-		0.4	0.2	0.2	0.2
MICROBIOLOGÍA										
Bacterias heterótrofas 22 °C (ufc/ml)	>1000	710	>1000	950	>1000		410	880	140	7000
Coliformes totales (ufc/100 ml)	3	2	AUSENCIA	AUSENCIA	>100		17	13	6	32
<i>Escherichia coli</i> (ufc/100 ml)	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	>100		AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Enterococos (ufc/100 ml)	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	38		AUSENCIA	1	AUSENCIA	AUSENCIA
<i>Clostridium perfringens</i> (ufc/100 ml)	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	54		AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA

* GOTEOS (Volumen recogido en 1 hora: 1 l)

MUESTREO: 04-06-2007

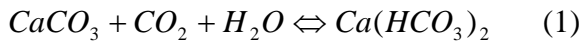
<i>PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS</i>	HERENSUGEA* (GOTEO)	LAGO LAMINOSIN	GOUR (DE ARRIBA)* (GOTEO)	CRUCE GALERÍA
Temp. agua (°C)	8.3	8.4	8.4	8.0
Temp. Aire (°C)	8.6	8.8	8.8	8.5
Conductividad (µS/cm.) (20 °C)	430	266	350	261
pH	8.2	8.3	8.3	8.3
TDS (ppm)	466	348	507	392
Turbidez (UNF)	<0.3	0.7	0.4	0.4
Oxidabilidad (O2) (mg/l)	0.4	0.6	0.5	0.6
Carbono Orgánico Total (mg/l)	<1.2	1.5	1.5	1.6
Amonio (mg/l)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Oxígeno disuelto (mg/l)	11	11	11	11.2
C02 agua	2.5	3.0	3.0	3.0
Hierro (µg/l)	<100	<100	<100	<100
Manganeso (µg/l)	<2	<2	<2	<2
Nitritos (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Nitratos (mg/l)	1.5	6.9	4.3	5.7
Fluoruros (mg/l)	0.06	0.04	0.07	0.06
Boro (mg/l)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Calcio (mg/l)	90.5	52.8	77.8	53.8
Magnesio (mg/l)	1.2	1.0	1.2	0.9
Sulfatos (mg/l)	5	4	4	4
Cloruros (mg/l)	3	3	2	2
Sodio (mg/l)	2.9	2.1	2.6	2.4
Aluminio (µg/l)	<30	<30	<30	<30
Dureza total (mg/l CaCO3)	231	136	199	138
Selenio (µg/l)	<1	<1	<1	<1
Antimonio (µg/l)	<1	<1	<1	<1
Arsénico (µg/l)	<1	<1	<1	<1
Mercurio (µg/l)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Cobre (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cromo (µg/l)	<1	<1	<1	<1
Cadmio (µg/l)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Plomo (µg/l)	<2	<2	<2	<2
Níquel (µg/l)	<2	<2	<2	<2
Potasio (mg/l)	0.4	0.2	0.3	0.2
MICROBIOLOGÍA				
Bacterias heterótrofas 22 °C (ufc/ml)	13	720	7	230
Coliformes totales (ufc/100 ml)	3	16	9	52
<i>Escherichia coli</i> (ufc/100 ml)	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	1
Enterococos (ufc/100 ml)	AUSENCIA	1	AUSENCIA	AUSENCIA
<i>Clostridium perfringens</i> (ufc/100 ml)	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	1

* GOTEOS (Volumen recogido en 1/2 hora: 1 l)

1.2 Consideraciones generales.

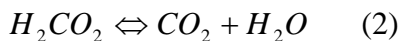
Las aguas, al pasar por la matriz rocosa, interactúan con los sólidos, intercambiando masa y energía entre ambos sistemas. La concentración de las sales dependerá de las condiciones físicas y químicas no solo de las aguas, también de la masa gaseosa y de la roca.

El equilibrio químico del karst se describe:



Como se aprecia en la ecuación, la roca, el agua y el CO₂ son indispensables para que tenga lugar la reacción. En cambio, la presión parcial del CO₂ no solo favorece la karstogénesis, es el factor fundamental que determina la dirección del proceso.

En una disolución, al agregar el CO₂, favorece la formación del ácido carbónico, reduciendo el pH del agua y haciéndola más agresiva a la roca. El equilibrio se desplaza hacia la derecha de la ecuación, provocando la disolución de la roca.



Al extraer el gas de la disolución, el bicarbonato se descompone en carbonato y CO₂, teniendo lugar el proceso de deposición de la calcita.

Cada uno de estos equilibrios va a ocurrir en diferentes etapas del ciclo del agua. En interés del desarrollo del karst, comienza cuando el agua cae en forma de lluvia, o se deposita por condensación, adquiriendo la primera concentración de CO₂, a partir de la concentración de éste gas en la atmósfera.

En el suelo, las concentraciones del gas son más de 10 veces superiores que en la atmósfera, dependiendo del espesor y tipo de suelo, vegetación, desarrollo de la misma, pluviometría, explotación ganadera de la zona y tipo de ganado, entre otras.

En este recorrido, solo el equilibrio representado en la ecuación (2) ha tenido lugar. El proceso de ganancia de CO₂ por el agua y su transformación en ácido carbónico ha favorecido el descenso del pH de la solución acuosa.

Al hacer contacto con la matriz rocosa y penetrar por las grietas, comienza, dependiendo de la velocidad de circulación, un nuevo intercambio de masa y energía entre el agua y la roca. En la ecuación (1) el equilibrio se desplaza hacia la derecha, comenzando un proceso de disolución, que favorece la ampliación de las fisuras y el transporte de carbonato de calcio en forma de bicarbonato hacia el interior del macizo.

El grado de saturación del agua respecto a la calcita, va a depender principalmente de su velocidad de circulación por el agrietamiento de la roca y el tiempo de contacto entre los sistemas líquido y sólido, pudiendo alcanzar o no un estado de equilibrio.

Al salir a la cueva vuelven a cambiar las características termodinámicas del sistema. Tienen lugar cambios de presiones, principalmente en la presión parcial del CO₂, dando lugar a uno de los siguientes estados de equilibrio:

- $P_{CO_2 \text{ aire}} > P_{CO_2 \text{ agua}}$: el sistema acuoso gana CO_2 , desplazándose el equilibrio hacia la derecha en la ecuación (1).
- $P_{CO_2 \text{ aire}} < P_{CO_2 \text{ agua}}$: el sistema acuoso cede CO_2 a la atmósfera, desplazándose el equilibrio hacia la izquierda, tendiendo a depositar carbonato de calcio (calcita o aragonito).

Cuando la alimentación de agua es a través de una estalactita va a tener una mayor implicación estética. Si tiene lugar el primer estado, es decir, el equilibrio se corre a la derecha, comienza un proceso de descalcificación o de redisolución, dependiendo si el agua circula por el exterior de la formación en el primer caso o por el conducto interior en el segundo, que hace perder el brillo y la forma cristalina de la superficie, dando un aspecto opaco y polvoriento.

En el segundo caso, es decir el desplazamiento del equilibrio hacia la izquierda, la formación gana en belleza y tamaño.

La composición de las aguas en la cueva Mendukilo es predominantemente bicarbonatada cálcica ($HCO_3 - Ca$). El predominio de estas facies responde a la litología predominante en la zona, correspondiendo además a la composición mineralógica predominante en la cavidad (figura 49).

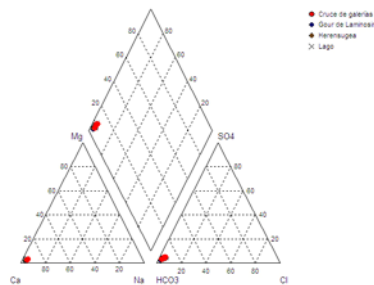


Figura 49. Diagrama de Piper. Todas las muestras clasifican como bicarbonatadas cálcicas.

Las concentraciones de los iones son semejantes en las muestras, con ligeras variaciones, principalmente con el calcio y el bicarbonato, que presentan los mayores rangos, por ser los más afectados por el tiempo de residencia del agua en la matriz rocosa.

La ubicación de todos los puntos por encima de la curva, en el gráfico que relaciona la conductividad y pH, muestran un agua saturada, con cierto tiempo de contacto con la roca y es característico en las aguas de goteo que permanecen durante cierto tiempo en gours. Todos los puntos muestran un agua saturada, tanto las muestras de goteo como las que no son de goteo.

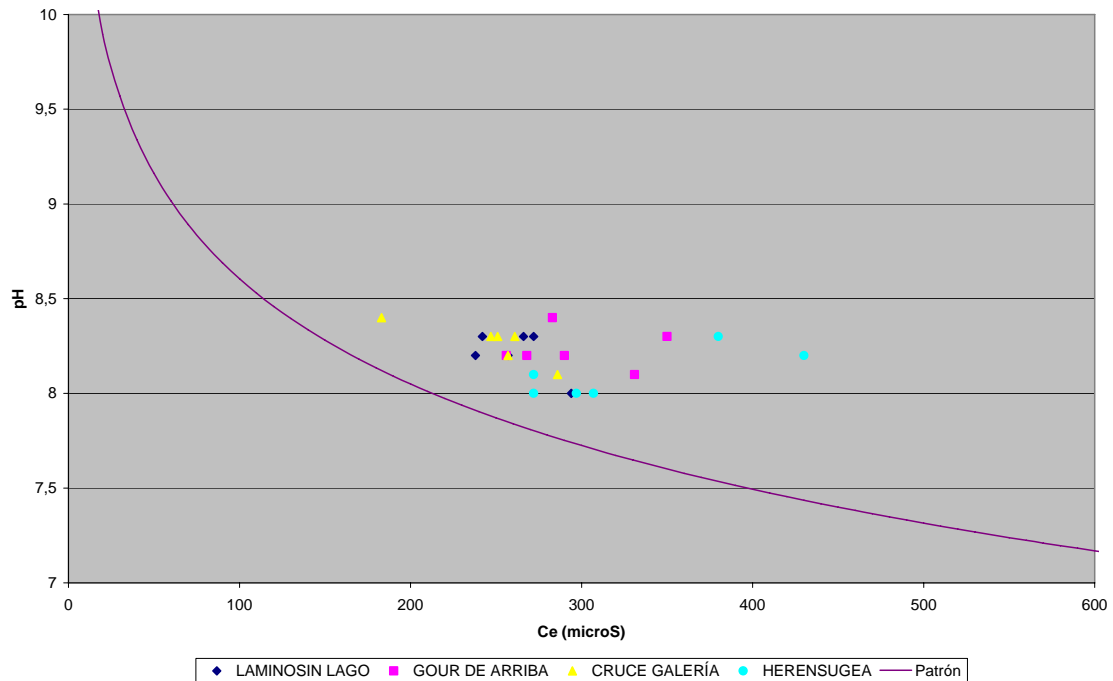


Figura 50. Relación de la conductividad eléctrica y el pH en las aguas muestreadas en la cueva Mendukilo.

La elevada correlación existente entre la conductividad eléctrica y los iones calcio (Ca) y bicarbonato (HCO₃), confirma el predominio de estos en la solución (tabla XIX-b).

	Ce	Cl	CO ₂ dis	HCO ₃	Mg	Na	O ₂ dis	pH	SO ₄	T agua	T aire
Ca	0,794	0,069	0,110	0,823	0,558	0,505	0,079	0,086	0,170	0,175	0,249
Ce	1,000	0,015	0,114	0,737	0,269	0,281	0,086	0,218	0,018	0,216	0,293
Cl		1,000	0,198	0,087	0,470	0,450	0,277	0,436	0,753	0,211	0,028
CO ₂ dis			1,000	0,483	0,360	0,249	0,187	0,636	0,308	0,551	0,717
HCO ₃				1,000	0,486	0,251	0,122	0,343	0,314	0,448	0,525
Mg					1,000	0,600	0,202	0,568	0,588	0,242	0,169
Na						1,000	0,077	0,142	0,572	0,227	0,413
O ₂ dis							1,000	0,154	0,295	0,351	0,298
pH								1,000	0,397	0,377	0,277
SO ₄									1,000	0,104	0,038
T agua										1,000	0,662

Tabla XIX-b. Matriz de correlación entre las diferentes variables físicas y químicas medidas en la cueva Mendukilo.

Las bajas concentraciones del resto de los macrocomponentes parecen indicar la composición predominante obtenida del agua de lluvia con muy poca influencia del suelo.

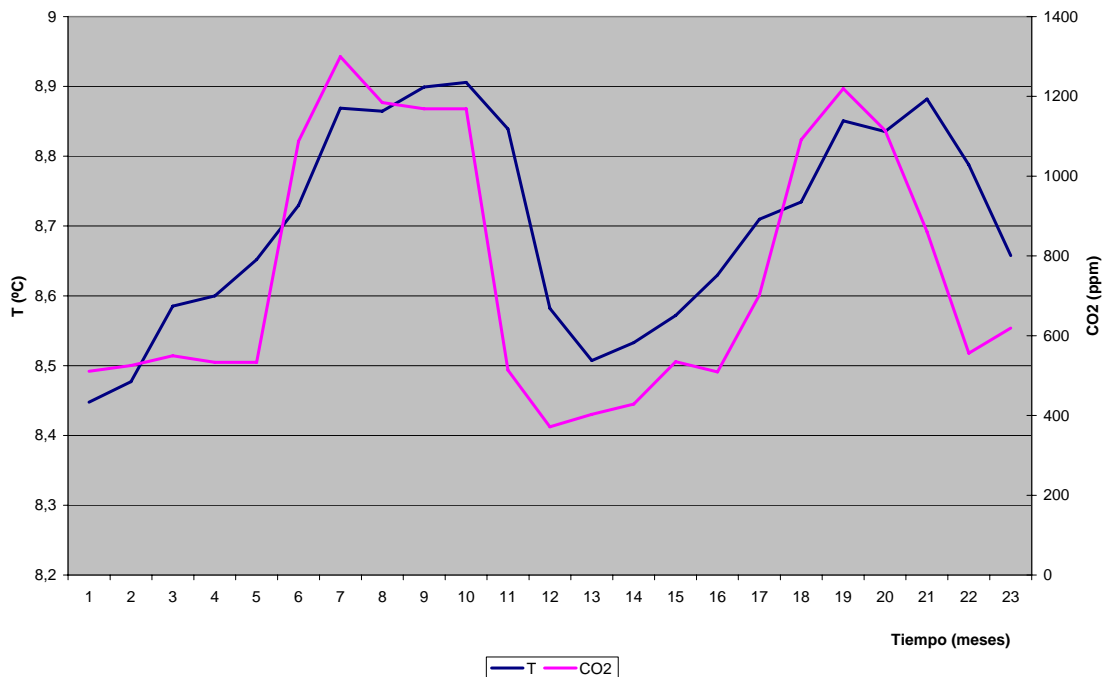


Figura 51. Comportamiento de los promedios mensuales de la temperatura del aire y de la concentración de CO₂ en el sector Laminosin.

El comportamiento de las curvas de los promedios mensuales de temperatura y concentración de CO₂, en el sector Laminosin, mantienen una estrecha relación, con una clara relación con los periodos cálidos y fríos de la región. El régimen del CO₂ está condicionado por el número de visitantes a la cueva, aunque, como se ha mencionado anteriormente, la temperatura del aire no ha sufrido una influencia notable por ese concepto.

El contacto directo del sistema acuoso con el gaseoso va a favorecer el intercambio de masa y energía entre ambos, apreciándose una alta correlación entre el CO₂ disuelto y la temperatura del aire (correlación directa con valor 0,72).

El incremento de CO₂ disuelto en el agua favorece la formación de ácido carbónico (H₂CO₂), por lo que las variaciones de este parámetro tendrá una influencia directa en el comportamiento del pH (correlación inversa con valor -0,64).

La baja correlación del comportamiento del pH y la concentración de bicarbonatos (HCO₃) indica que, a pesar de las altas concentraciones de CO₂ alcanzadas por el aire, no ha tenido una influencia en el comportamiento de los procesos hidroquímicos en la cueva. Según se aprecia en los resultados en las aguas tomadas en los gours, que se mantienen, en todos los puntos de muestreo y todas las fechas, con un grado de saturación, respecto a los macrocomponentes principales presentes: Ca y HCO₂.

El comportamiento de los valores de pH, siempre superiores a 8 (oscilan entre 8 y 8,4), indica un agua ligeramente básica, sin una relación directa con el régimen de visitas ni el comportamiento de la concentración de CO₂ atmosférico (figura 52).

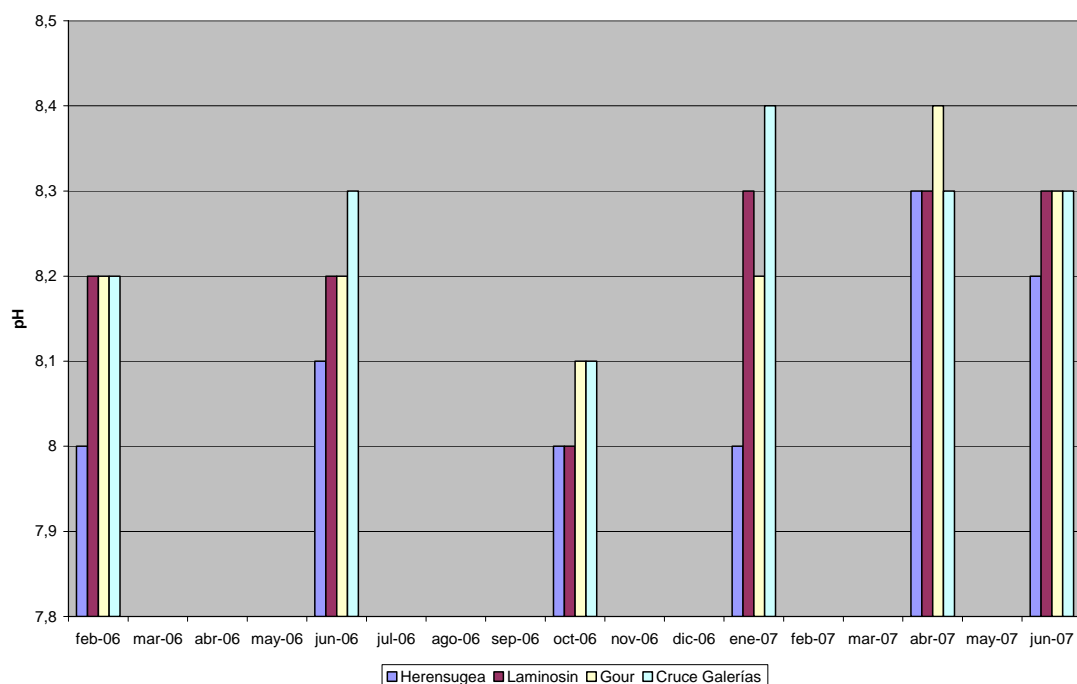


Figura 52. Comportamiento del pH en diferentes fechas.

Del comportamiento de los parámetros analizados se puede determinar que, el régimen de visitas implantado en el periodo en la cueva Mendukilo, no afecta la composición química de las aguas, presentado un comportamiento general, el los sitios muestreados, a mantener los procesos establecidos por la dinámica físico – química del sistema.

2 Microbiología del agua

Para el estudio de las características microbiológicas de las aguas que se infiltran en la cueva Mendukilo se realizaron cuatro campañas de muestreo de las mismas en la cavidad (en febrero de 2006 y en enero, abril y junio de 2007). Para ello, se escogieron los cuatro puntos de muestreo seleccionados previamente, siendo las dos primeras muestras de agua procedente de agua acumulada en zonas de gours y las dos últimas aguas procedentes de goteos (Tabla XIX-a). Además en enero de 2007 se tomó una muestra de agua en el río exterior a la cueva de Mendukillo. Las muestras se recogieron en botes estériles, manteniéndose a 4°C hasta su envío a laboratorio en un plazo no superior a 12-14 horas para su posterior análisis microbiológico.

Se realizaron análisis microbiológicos en los que se determinaron bacterias heterótrofas a 22 °C, bacterias coliformes totales, *Escherichia coli*, Enterococos y *Clostridium perfringens*, con el fin de determinar parámetros microbiológicos indicadores de la flora del agua y de su posible contaminación.

A partir de los valores obtenidos, se determina que la muestra del río exterior es la muestra que resulta con más indicadores de contaminación microbiológica, como es lógico. Las aguas de dentro de la cueva presentan una pequeña contaminación procedente, probablemente, del exterior, y, en algunos casos, también de los visitantes que entran a la cueva, como es el caso del punto de muestreo "Cruce de Galería", muy cercano y accesible para los visitantes en las que en varias ocasiones nos hemos encontrado pequeños objetos o restos de comida, por ejemplo, hecho que no ha ocurrido en los demás puntos de muestreo, al estar estos más alejados e inaccesibles de las visitas.

Por otro lado, la contaminación presente parece variar dependiendo de la época del año y no se ha visto que aumente a lo largo del tiempo, sino que parece estar más relacionada con el aporte de agua infiltrada del exterior y de la contaminación que esta pueda añadir, así como de la contaminación aportada por las visitas.

No se aprecia gran diferencia entre la flora microbiológica procedente de goteos o de agua estancada en gour, aunque por lo general, la cantidad de bacterias es ligeramente menor en el agua procedente de los goteos.

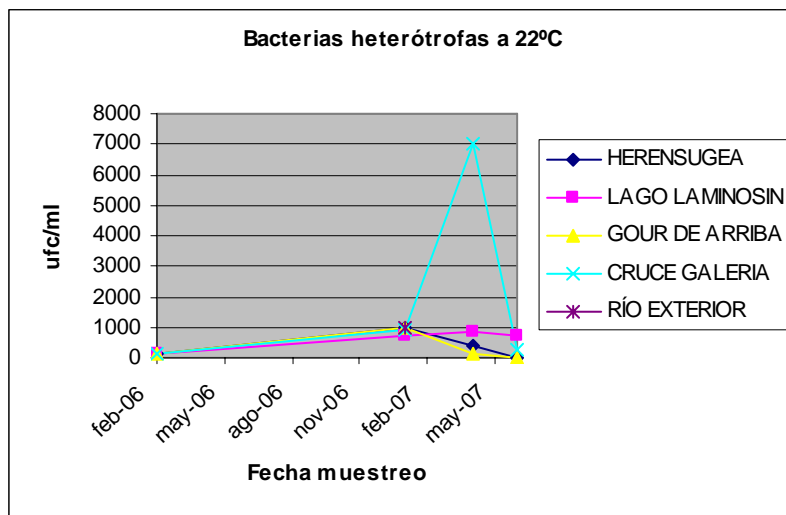


Figura 53-a. Relación de la fecha de muestreo y la concentración de bacterias heterótrofas a 22°C en las aguas muestreadas en la cueva Mendukilo.

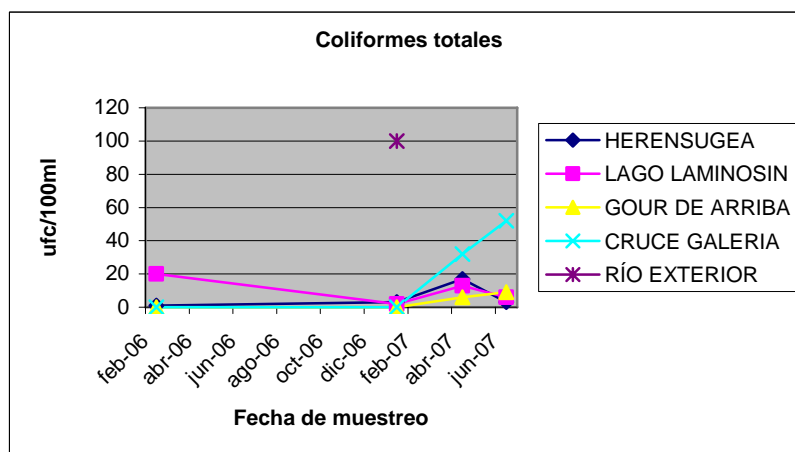


Figura 53-b. Relación de la fecha de muestreo y la concentración de bacterias coliformes totales en las aguas muestreadas en la cueva Mendukilo.

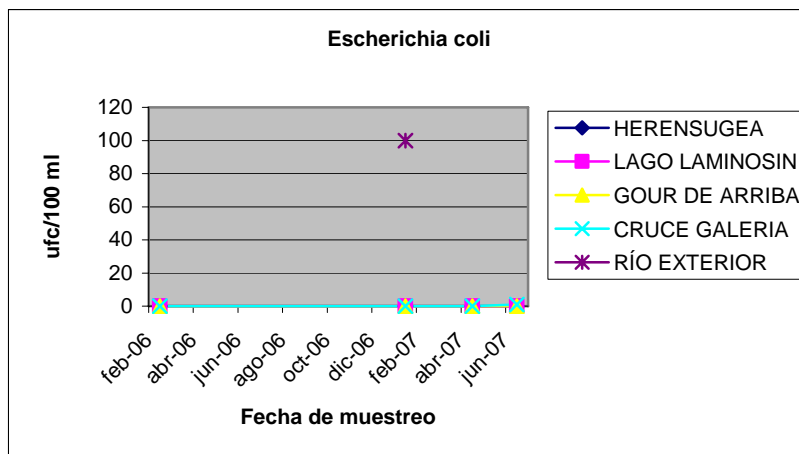


Figura 53-c. Relación de la fecha de muestreo y la concentración de bacterias *Escherichia coli* en las aguas muestreadas en la cueva Mendukilo.

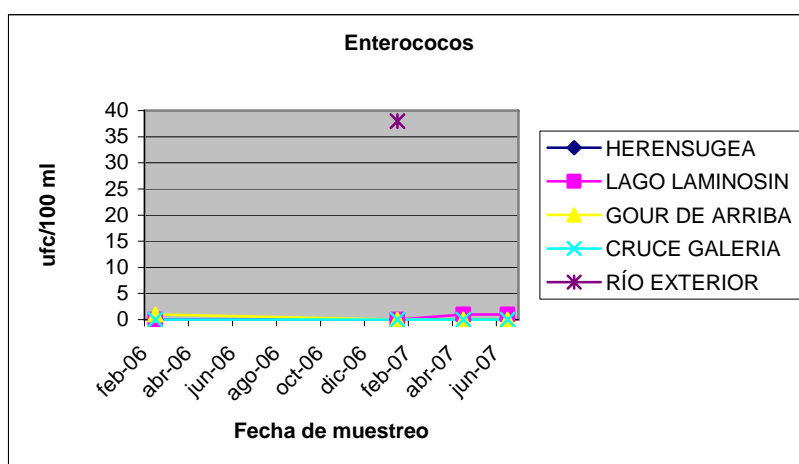


Figura 53-d. Relación de la fecha de muestreo y la concentración de *Enterococos* en las aguas muestreadas en la cueva Mendukilo.

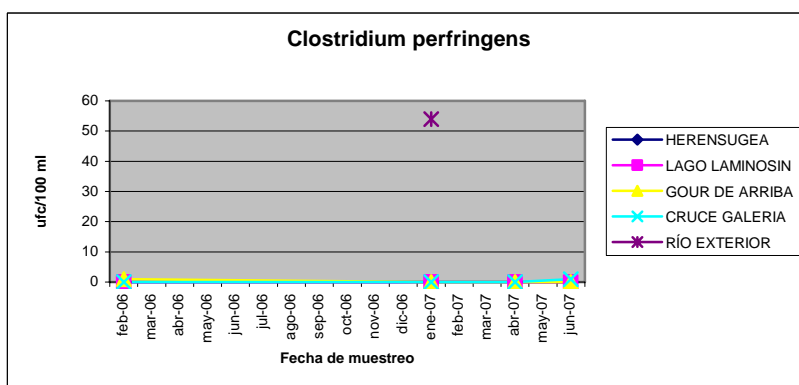


Figura 53-e. Relación de la fecha de muestreo y la concentración de *Clostridium perfringens* en las aguas muestreadas en la cueva Mendukilo.

3 Conclusiones

El estudio hidroquímico de aguas pretende completar un ciclo de al menos tres años de mediciones, y compararlos con los datos climáticos. De momento tras estudiar los valores obtenidos a partir de los parámetros microbiológicos analizados se puede determinar que, aparentemente el régimen de visitas implantado en el periodo en la cueva Mendukillo, no afecta la composición microbiológica de las aguas, sino que la contaminación varía en función del aporte de objetos o restos de materia orgánica al agua, en determinados puntos y del aporte externo del agua de infiltración.