



# Estudio hidroquímico del karst de Indusi (Dima-Bizkaia)

## **Indusiko karstaren azterketa hidrokimikoa (Dima-Bizkaia)**

**NAGORE IRAZABAL TAMAYO**

*Doctora en Ciencias (Biología).*

*Plaza Celestino M<sup>o</sup> Arenal n<sup>o</sup> 9 – 7<sup>o</sup>d. 48015 Bilbao. nagore\_ira@yahoo.es*

**IÑAKI ANTIGÜEDAD**

*Catedrático Hidrogeología Katedraduna.*

*Departamento Geodinamika Saila Euskal Herriko Unibertsitatea – Universidad del País Vasco 48940 Leioa (Bizkaia). gopanai@lg.ehu.es*

**FOTOGRAFÍAS/ARGAZKIAK:**

*Jabier Les*

### ABSTRACT

Herewith we present hydrochemical and microbiological test results of the water of the karst of Indusi, as well as tests done using dyes between 2001 and 2003.

These results give important information about the characteristics and the direction of flow of the waters of the karst. By systematic observation of the waters of the karst system in different hydrological situations, we can obtain a lot of interesting information about how the system works.

## **RESUMEN**

Se presentan datos hidroquímicos y microbiológicos, así como los resultados de los ensayos con trazadores realizados entre los años 2001 y 2003 en las aguas del Karst de Indusi. Estos datos aportan información relevante sobre sus características, así como sobre la dinámica de flujo de las aguas. Se muestra que un seguimiento hidroquímico sistemático de las aguas en el sistema kárstico en diferentes situaciones hidrológicas suministra información de interés para conocer mejor el funcionamiento del sistema.

## **INTRODUCCIÓN**

El Sistema Cavernario del Río Baltzola funciona como colector de las aguas que provienen de los macizos kársticos de Kobagan, Garaio, y Bargondia.

Este sistema cavernario está integrado por una serie de conductos estrechos con forma laberíntica, profundos meandros inundados por donde corre el río Baltzola desde el Monte Kobagan hasta el valle cerrado de Indusi.

Ya se ha hecho referencia en el capítulo anterior al contexto geográfico y geológico, por lo tanto, en este apartado sólo mencionaremos que este sistema está integrado dentro del karst de Indusi.

## **LABURPENA**

Ondoren, Indusiko karstan 2001 eta 2003 urteetan zehar egindako lanen ondorioz lortutako datu hidrokimiko eta mikrobiologikoak, eta trazatzaileak erabilia egindako lanen emaitzak aurkeztu ditugu. Datu hauek, bere ezaugarri eta urorabideei buruz informazio ugari eman digu. Sistema karstikoaren uren jarraipen hidrokimiko sistematikoa informazio garrantzitsua eman digu sistemaren funtzionamendua hobeto ulertzeko.

## **SARRERA**

Baltzola erreka-koba-sistemak Kobagan, Garaio eta Bargondia zonaldeetatik datozen urak biltzen ditu.

Koba-sistema hau labirintua osotzen duten zenbait kondukto estuek osaturik dago, Kobagan menditik hasita eta Indusi arn sakoneirano urperatuta dauden meandro sakonetatik Baltzola erreka doalarik.



Vertido de colorante en la boca de Abaro  
*Abaroko sarreran koloratzailearen isuriketa*

## TRABAJOS DE CAMPO

Con el fin de realizar un estudio hidroquímico de las aguas del Karst de Indusi, se planificaron una serie de trabajos de campo que nos ayudaran a entender cómo funciona el sistema. Estos trabajos incluyen cuatro muestreos entre el 2001 y 2003, aprovechando regímenes de aguas altas y de estiaje, en las que se tomaron un total de entre 11 y 15 muestras cada vez, y los correspondientes análisis en el laboratorio. Se realizaron también coloraciones con fluoresceína que han permitido una mejor caracterización del sistema.

El objetivo de la realización de los muestreos ha sido analizar la variabilidad de las características de las aguas a lo largo de su recorrido, así como la variación temporal. Los puntos de muestreo y de estudio del agua han sido seleccionados a lo largo del sistema y en los sumideros, desde la entrada del agua en el exterior del karst hasta la salida del mismo en la resurgencia terminal. Fuera de las categorías descritas se encuentran, además, las muestras procedentes de los pequeños aportes y goteos en las galerías subterráneas. Las cavidades en las que se han tomado muestras son Baltzola, Sistema Abaro-Jentilzubi, Jentilzubi II, Resurgencia de Jentilzubi y Metrakazulo como las más significativas en el karst. Los muestreos hidroquímicos se han realizado en los siguientes lugares (En la **Figura 1** se muestran espacialmente los mismos):

- Punto 1: Río exterior Metrakazulo
- Punto 2: Río interior Metrakazulo
- Punto 3: Río Tunel Abaro
- Punto 4: Río Interior Abaro
- Punto 5: Goteo interior Baltzola
- Punto 6: Río interior Gibeldar
- Punto 6.1: Fuente Baltzola (goteo)
- Punto 7: Río interior Baltzola
- Punto 8: Sifón Río Jentilzubi II
- Punto 9: Resurgencia Jentilzubi
- Punto 10: Lago Abaro
- Punto 11: Río Indusi (puerto)
- Punto 12: Río exterior Barrobarro
- Punto 13: Río interior Barrobarro
- Punto 14: Larrakoarri
- Punto 15: Pozo Bernaola nuevo (cantera)

En el tratamiento de datos efectuado no se han tenido en cuenta los puntos 11 y 15 por no estar directamente relacionados con el Sistema Cavernario Río Baltzola. Los muestreos se realizaron en las siguientes fechas ordenadas cronológicamente:

- Muestreo 1: 29 de abril de 2001 (situación de aguas medias)
- Muestreo 2: 15 de junio de 2002 (situación de aguas medias)
- Muestreo 3: 5 de octubre de 2002 (situación de aguas bajas)
- Muestreo 4: 11 de enero de 2003 (situación de aguas altas)

Aurreko kapituluaren aipatu dugunez ingurune geografiko eta geologikoa dela eta, sistema hau Indusiko karstaren barnean kokaturik dago.

### KARSTAN EGINDAKO LANA

Indusiko Karstaren uretako azterketa hidrokimikoa egiteko asmoz, sistema hau nola funtzionatzen duen ulertzen lagungarri suerta zitekeen lanen plangintza egin zen. Lan hauen barnean 2001 eta 2003 urteetan zehar lau laginketa egin ziren, erreken ur kantitate desberdinak aztertzeke, laginketa bakoitzean 11 eta 15 bitarteko laginak harturik, eta ondoren laginak laborategian aztertuz. Fluoreszeina erabiliz ere zenbait kolorazio burutu ziren sistemaren karakterizazioan sakontzeko asmoz.

Laginketen asmo nagusiak ondorengoak izan dira: alde batetik, ibilbideen zehar uren ezaugarrien aldakortasuna aztertu, eta bestaldek, aldakortasun tenporala aztertu. Lagindutako puntuak sistema osoan zehar eta isurbideetan aukeratuak

izan dira, karstaren kanpoaldearen sarreran hasita eta azken erresurgentziaren irteeran bukatuta. Lagin-puntu horietan barne, lur azpiko galeriekin tantakako ur-isuria eta emeri txikiak daude. Indusiko Karstaren barruan langindu diren kobak ondokoak izan dira: Baltzola, Abaro-Jentilzubi sistema, Jentilzubi II, Jentilzubiko erresurgentzia eta Metrakazulo.

Laginketa hidrokimikoa ondorengo leku eta puntuetan burutu dira (**1. Irudia**):

- 1. puntua : Metrakazulo/kanpoaldeko erreka
- 2. puntua : Metrakazulo/barnealdeko erreka
- 3. puntua: Abaro Tunelaren erreka
- 4. puntua: Abaro/barnealdeko erreka
- 5. puntua: Baltzola/barnealdeko tantakako ur-isuria
- 6. puntua: Gibeldar/barnealdeko erreka
- 6.1. puntua: Baltzola/iturria (tantakakoa)
- 7. puntua: Baltzola/barnealdeko erreka
- 8. puntua: Jentilzubi II erreken sifoa
- 9. puntua: Jentilzubiko erresurgentzia

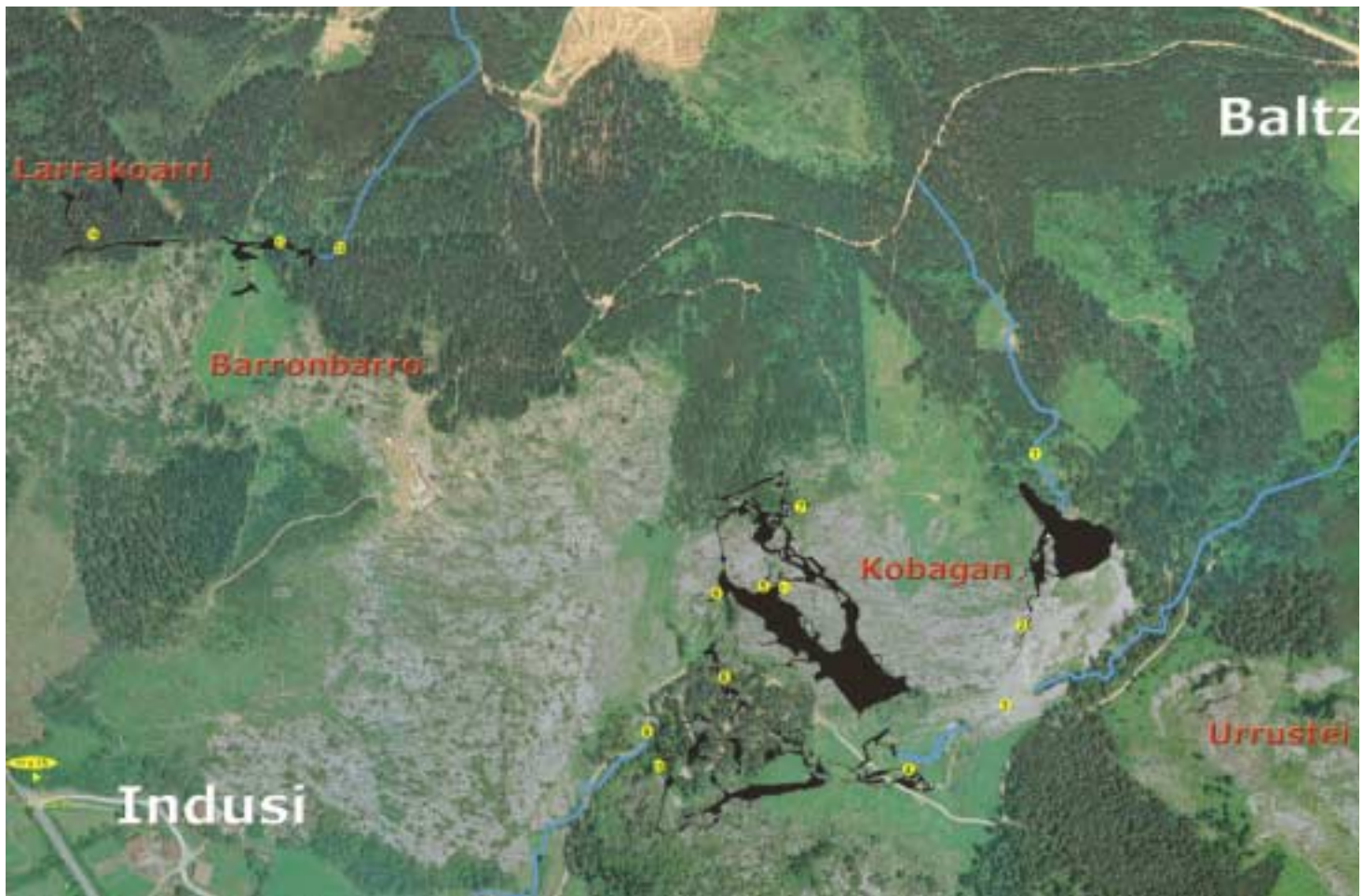


Figura 1.  
1. Iruidea

Se llevaron a cabo siete ensayos con trazadores que se realizaron durante el año 2002 y 2003, en diferentes situaciones hidrológicas. En los dos últimos, efectuados en enero de 2003 se colocaron fluocaptoreos y se analizaron los mismos en el laboratorio (UPV-EHU) tras estar en el agua durante 24 horas.

## METODOLOGÍA

Se determinaron *in situ*, pH, conductividad, temperatura del agua y ambiental, y se llevó a cabo una estimación del caudal. El resto de determinaciones de aniones y cationes ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) se realizaron

- 10. puntua: Abaro/lakua
- 11. puntua: Indusi erreka(portua)
- 12. puntua Barronbarro/kanpoaldeko erreka
- 13. puntua: Barronbarro/barnealdeko erreka
- 14. puntua: Larrakoarri
- 15. puntua: Bernaola putzu berria(harrobia)

Datuen tratamendurako ez dira kontutan hartu 11. eta 15. puntuak, ez baitaude zuzenean Baltzola erreka-koba-sistemari lotuta. Laginketak ondoko datetan burutu ziren:

- 1. Laginketa: 2001ko apirilaren 29an (ur-kopuru ertaineko egoera)
- 2. Laginketa: 2002ko ekainaren 15ean (ur-kopuru ertaineko egoera)
- 3. Laginketa: 2002ko urriaren 5ean (ur-kopuru baxuko egoera)
- 4. Laginketa: 2003ko urtarrilaren 11an (ur-kopuru altuko egoera)

2002 eta 2003 urteetan zehar trazatzaileak erabilita, zazpi saiakuntza burutu egin ziren, egoera hidrológico desberdinetan. Azkeneko bietan, 2003ko urtarrilean burututakoak, fluo-hartzaileak ipini ziren eta berauek, uretan 24 ordu egon eta gero, laborategian (UPV-EHU) analizatu ziren.

## METODOLOGIA

*In situ* pHa, eroankortasuna, uraren eta airearen tenperatura, eta kaudalaren estimazioa neurtu ziren. Bestelako anioi eta katioien determinazioak ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) 100 mililitrotako plastikozko botiletan hartutako laginak erabilita burutu ziren Bigarren eta hirugarren laginketaren aleak (2002 eta 2003) laborategi berean aztertu egin ziren (UPV-EHU), hori dela eta, bere tratamendu bateratua egokia iruditu zaigu eta ondoren, lortutako emaitzak jarri ditugu. Informazio hidrokimikoaren tratamendurako, Konponente Garrantzitsuen Análisisa egin da lortutako emaitzekin.

Bestalde, trazatzaileen saiakuntzak fluoreszeina trazatzaile eta ikatz aktiboa kaptatzaile izanik egin ziren, horretarako erreka hondoa urperaturik nylonezko galtzerdi batean sartutako ikatz aktibozko 70 g, finkatu ziren. 24 ordu beranduago kaptatzaileak bildu eta laborategira eraman ziren (UPV-EHU) bere analisirako. Ondoko taulan (**1. Taula**) koloretan lortutako datuak laburbildu dira.

sobre muestras de 100 ml tomadas en envases de plástico. Las muestras de la segunda, tercera y cuarta campaña (2002 y 2003) fueron analizadas en el mismo laboratorio (UPV-EHU) por lo que su tratamiento conjunto parece razonable; son esas muestras las que se consideran a continuación. Para el tratamiento de la información hidroquímica recogida se ha realizado un Análisis en Componentes Principales (ACP) con los datos obtenidos.

Por otro lado, los ensayos con trazadores se realizaron utilizando fluoresceína como trazador y carbón activo como captador, para lo cual se introdujeron unos 70 g de carbón activo en una media, y se anclaron dentro del lecho del río dejándolos bien sumergidos bajo el agua. Tras 24 h de la coloración se recogieron los captadores y se llevaron a laboratorio (UPV-EHU) para su posterior análisis. En la siguiente Tabla (Tabla 1) se resumen los datos referentes a las coloraciones:

**Tabla 1: Datos relativos a las coloraciones realizadas.**

Coloración	Fecha	Situación hidrológica	Fluoresceína (gr)	Punto de coloración	Fluocaptadores(Puntos)
1	13/04/2001	Aguas en crecida	200	4. R. Int. Abaro	-
2	1/05/2001	Aguas medias	150	7. R. Int. Baltzola	-
3	5/07/2001	Aguas bajas	250	7. R. Int. Baltzola	-
4	11/05/2002	Aguas medias	250	6. R. Int. Gibeldar	-
5	5/11/2002	Aguas medias	250	7. R. Int. Baltzola	-
6	11/01/2003	Aguas en crecida	250	2. R. Int. Metrakazulo	3, 4, 6, 7, 8, 9
7	18/01/2003	Aguas en crecida	250	7. R. Int. Baltzola	6, 8

Los parámetros microbiológicos considerados en el presente estudio de Bacterias Aerobias Totales, Coliformes Totales, Coliformes fecales, *S. aureus*, Estreptococos fecales y

Hongos totales se determinaron en el laboratorio, al cual se enviaron las muestras tras su recogida en las condiciones de mantenimiento adecuadas.

Lan honetan aztertutako mikroorganismoak ondorengoak izan dira: Bakterio aerobio totalak, Koliforme totalak, Koliforme fekalak, *S. aureus*, Estreptokoko fekalak eta Onddo totalak. Laginak baldintza egokietan hartu eta gero laborategira eraman ziren bere analisirako.

tua. Garrantzitsuena azterketaren jarraipena izatea da, lagin bidez, egoera hidrológico konkretuetan. Indusiko karraren ikerketa, gaur arte, egoera hidrológico desberdinetan sistemaren puntu desberdinetan laginketak egitera mugatu egin da.

## EMAITZAK ETA DISKUZIOA

### Uraren azterketa fisiko-kimikoa

Hidrokimika, uraren ezaugarriak ezagutzeaz gain, espeleologian oinarritako, eta eskuragarria kasu gehienetan, tresna dugu mundu subteraneoaren dinamika ulertzeko. Bestalde, azterketa kimiko batek balore puntuala suposatzen du: momentu eta toki konkretu batean urak duen konposaketa kimikoa adierazten digu. Beraz, ikerketa hidrogeologikoan aztertzen diren laginketa-puntuetak ur-kimikaren jarraipen tenporalean datza interesik handiena, sisteman jatorri espazio-tenporal desberdin duten urak identifikatzeko asmoz. Azterketa sistematikoak ez du suposatzen azterketa jarrai-

**2. Taulan**, pH, uraren eta ambientearen tenperatura, eta kaudalaren estimazio gutxigoraberekoak adierazi dira, egun diren lau laginketak burututako ordenean ipiniz.

Azkeneko hiru laginketen (2002 eta 2003koak) uren datu hidrokimikoak erabilia Konponente Garrantzitsuen Análisis (ACP) burutu egin da. Aldagai gisa ondoko katioiak hartu dira:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , eta honako anioi garrantzitsu hauek:  $\text{C}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ . Guztira 36 laginen datuak kontutan hartu dira (Taula); 11. eta 15. puntuaren datuak ez dira kontutan hartu hauek Baltzola koba-sistematik kanpo baitaude. Taulan agertzen diren datuak mg/l-tan (edota ppm-tan) ematen ditugun erroankortasuna izan ezik  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ -tan ematen dela.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis físico-químico del agua

La hidroquímica resulta una herramienta esencial, y perfectamente accesible en espeleología, para la comprensión de la dinámica del medio subterráneo, más allá de la caracterización química de las aguas. Por otra parte, un análisis químico presenta un valor exclusivamente puntual: representa la composición que el agua tiene en el momento y en el lugar del muestreo. Por ello, en la investigación hidrogeológica el interés se centra en el seguimiento temporal de la química de las aguas en los puntos de control, con el fin de identificar la presencia en el sistema de aguas de diferente procedencia espacio-temporal. El control sistemático no significa el control en continuo. Lo más importante es centrar el control, el muestreo, en episodios hidrológicos concretos. En el Karst de Indusi el estudio, hasta el presente, se ha limitado a muestrear en algunas diferentes condiciones hidrológicas una red de puntos del sistema.

En la **Tabla 2** se muestran los resultados de las determinaciones del pH, temperatura del agua y ambiental, y la estimación del caudal aproximado de los cuatro muestreos realizados, por orden de realización.

Se ha procedido a realizar un Análisis en Componentes Principales (ACP) con los datos químicos de las aguas muestreadas en las tres últimas campañas (2002 y 2003). Como variables se han considerado los cationes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) y aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) principales disponibles. En total se han tenido en cuenta 36 muestras (**Tabla 3**); se han incluido todos los puntos, excepción hecha del 11 (río Indusi) y del 15 (pozo Bernaola) con el fin de centrarse exclusivamente en las aguas del Sistema Cavernario Río Baltzola. Los datos de la tabla están expresados en mg/l (o ppm), excepto la conductividad ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

El ACP realizado con las 36 muestras y 6 variables muestra en su matriz de correlación relaciones positivas muy significativas entre  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  (0,86), menos significativas entre  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  (>0,50), y negativa entre  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$  (-0,59). En el análisis se han considerado 3 factores, que conjuntamente explican el 86,6 % de la varianza inicial. El factor I (55,0 %) está caracterizado por  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ; el factor II (22,6 %) por  $\text{Ca}^{2+}$ , y el factor III (9,0 %) por  $\text{NO}_3^-$ .

**Tabla 2.- Datos de pH, temperatura del agua y ambiental, y la estimación del caudal aproximado de los cuatro muestreos realizados**

(Muestreo 1: 29 de abril de 2001; Muestreo 2: 15 de junio de 2002 ; Muestreo 3: 5 de octubre de 2002; Muestreo 4: 11 de enero de 2003).

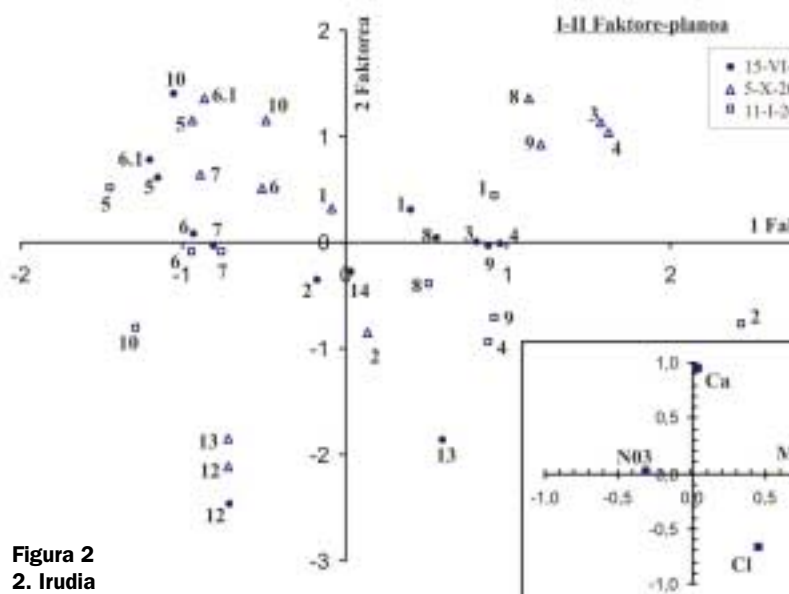
	Muestra	pH	Tª ambiental (°C)	Tª agua (°C)	Caudal (l/s)
1	3- R. Exterior Abaro	7.6	12.5	10.9	3
2	4- R. Interior Abaro	7.7	11.2	10.1	9
3	6- R. Interior Gibeldar	7.7	10.2	11.2	1
4	7- R. Interior Baltzola	8.3	12.2	11.6	1
5	8- R. Interior Gentilzubi II	7.6	12.2	10.5	3
6	9- Resurgencia	8.2	10.4	9.2	10
7	10- Lago	8.1	10.8	10.3	lago
8	1-R. Exterior Metrakazulo	7.4	-	14.2	0.2
9	2-R. Interior Metrakazulo	8.1	-	9.3	0.5
10	3-R. Exterior Abaro	8.3	-	14.2	3
11	4-R. Interior Abaro	8.2	-	13.4	8
12	5-Goteo Interior Baltzola	8.5	-	12.8	goteo
13	6.1-Goteo Fuente Baltzola	8.3	-	12.3	goteo
14	6-R. Interior Gibeldar	8.4	-	11.8	0.5
15	7-R. Interior Baltzola	8.3	-	11.7	1
16	8-R. Interior Gentilzubi II	8.2	-	11.7	2
17	9-Resurgencia	8.1	-	12.8	10
18	10-Lago	8.1	-	11.2	lago
19	12-R. Ext. Barronbarro	8.0	-	14.8	1
20	13-R. Int. Barronbarro	8.1	-	10.9	1
21	14-Sifon Larrakoarri	7.9	-	11.1	sifón
22	1-R. Exterior Metrakazulo	6.9	17.5	14.1	0.3
23	2-R. Interior Metrakazulo	7.9	10.2	10.1	1
24	3-R. Exterior Abaro	8.3	15.5	14.0	2
25	4-R. Interior Abaro	8.0	14.2	13.3	30
26	5-Goteo Interior Baltzola	8.4	14.4	13.4	goteo
27	6.1-Goteo Fuente Baltzola	8.4	14.4	13.1	goteo
28	6-R. Interior Gibeldar	8.4	15.8	12.4	1
29	7-R. Interior Baltzola	7.9	12.7	12.0	1
30	8-R. Gentilzubi II	8.1	14.3	12.5	3
31	9-Resurgencia	8.1	18.0	13.2	3
32	10-Lago	8.5	14.5	13.5	lago
33	12-R. Ext. Barronbarro	7.6	11.0	13.2	
34	13-R. Int. Barronbarro	7.7	10.6	10.8	
35	1-R. Exterior Metrakazulo	8.4	1.3	6.7	1
36	2-R. Interior Metrakazulo	8.6	5	6.5	3
37	4-R. Interior Abaro	8.7	4.3	5.5	35
38	5-Goteo Interior Baltzola	8.1	2.7	10.6	goteo
39	6-R. Interior Gibeldar	8.5	2.7	10.2	1
40	7-R. Interior Baltzola	8.1	9.6	11.5	4
41	8-R. Gentilzubi II	8.2	10.1	9.1	3
42	9-Resurgencia	7.9	3.4	7.6	40
43	10-Lago	7.7	10.8	8.0	lag

**Tabla 3.- Casos y variables (excepto conductividad)  
consideradas en el Análisis en Componentes Principales.**

<b>Muestra</b>	<b>[Na<sup>+</sup>] ppm</b>	<b>[Mg<sup>2+</sup>] ppm</b>	<b>[Ca<sup>2+</sup>] ppm</b>	<b>[Cl<sup>-</sup>] ppm</b>	<b>[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] ppm</b>	<b>[NO<sup>3-</sup>] ppm</b>	<b>Cond.(US.cm<sup>-1</sup>)</b>	
1	1-R. Exterior Metrakazulo	5.7	6.35	46.97	6.62	67.1	0.1	330
2	2-R. Interior Metrakazulo	4.96	4.42	40.07	6.32	43.3	1.38	270
3	3-R. Exterior Abaro	6.39	8.95	40.66	5.83	50.82	1.09	330
4	4-R. Interior Abaro	6.3	8.63	41.38	6.08	50.98	1.72	300
5	5-Goteo Interior Balzola	2.84	0.617	45.00	3.55	7.5	3.4	240
6	6.1-Goteo Fuente Balzola	2.66	0.49	49.06	3.97	6.77	3.37	230
7	6-R. Interior Gibeldar	3.93	1.99	42.91	4.81	15.28	2.31	240
8	7-R. Interior Balzola	4.12	2.2	43.9	5.46	17.27	2.34	250
9	8-R. Interior Gentilzubi II	6.03	6.4	43.78	6.04	40.8	2.02	270
10	9-Resurgencia	6.53	7.84	42.77	6.33	49.62	1.56	290
11	10-Lago	3.56	1.12	58.54	4.31	9.11	2.31	310
12	12-R. Ext. Barronbarro	5.83	4.78	22.46	7.87	19.99	1.04	200
13	13-R. Int. Barronbarro	5.87	4.86	24.76	6.71	17.46	5.05	200
14	14-Sifon Larrakoarri	3.93	2.14	46.62	7.03	17.49	5.05	280
15	1-R. Exterior Metrakazulo	4.74	6.3	50.4	7.07	52.69	0.24	300
16	2-R. Interior Metrakazulo	5.14	4.2	36.6	6.84	37.6	2.73	270
17	3-R. Exterior Abaro	6.22	11.75	54.2	6.51	74.09	0.7	390
18	4-R. Interior Abaro	7.04	10.85	53.6	6.27	66.51	0.9	410
19	5-Goteo Interior Balzola	2.47	1.07	51.6	3.61	8.44	3.91	270
20	6.1-Goteo Fuente Balzola	2.58	0.88	56.4	4.08	7.67	3.99	280
21	6-R. Interior Gibeldar	4.38	2.39	51.8	5.69	18.11	2.57	270
22	7-R. Interior Balzola	3.7	2.8	52.8	5.61	16.6	1.92	280
23	8-R. Gentilzubi II	6.0	8.46	58.8	6.11	53.76	1.66	360
24	9-Resurgencia	6.16	9.66	53.0	6.33	60.99	1.16	330
25	10-Lago	4.44	3.07	56.4	4.94	21.86	1.93	280
26	12-R. Ext. Barronbarro	5.38	5.38	32.4	9.23	19.95	0.87	220
27	13-R. Int. Barronbarro	4.96	5.4	34.2	8.99	22.52	1.01	220
28	1-R. Exterior Metrakazulo	6.38	5.83	55.8	8.25	67.48	0.91	330
29	2-R. Interior Metrakazulo	13.92	4.68	43.0	7.37	47.85	0.98	240
30	4-R. Interior Abaro	6.46	3.68	35.6	7.19	55.27	2.98	260
31	5-Goteo Interior Balzola	3.12	0.73	45.6	3.87	6.06	2.32	260
32	6-R. Interior Gibeldar	4.01	1.74	42.1	5.17	15.88	2.32	280
33	7-R. Interior Balzola	4.2	1.85	44.4	5.75	19.17	2.4	280
34	8-R. Gentilzubi II	5.86	4.2	41.2	6.53	37.85	3.05	250
35	9-Resurgencia	6.15	5.28	37.1	6.9	48.5	3.2	270
36	10-Lago	3.7	1.29	36.2	5.76	9.83	2.33	330

En la **Figura 2** se representa la distribución de los casos (muestras de agua) en el plano factorial I-II. Varias observaciones de interés se deducen de esta distribución (nos referimos a los puntos por su numeración):

- En el río Metrakazulo las aguas presentan una mayor mineralización antes (1) de su entrada en el sistema cavernario. Una vez dentro del sistema (2) se observa una dilución en los contenidos de los elementos considerados, excepto de  $\text{NO}_3^-$ , en el que siempre se produce un ligero incremento, y, puntualmente, de  $\text{Na}^+$ . La diferencia entre (1) y (2), ese descenso general en la mineralización, es debida a los aportes de agua propios de las calizas, menos mineralizados que los aportes exteriores al sistema. Estos últimos están caracterizados, sobre todo, por  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , que pueden considerarse como *marcadores externos* al sistema cavernario. En las fechas de muestreo los caudales entrantes (1) oscilaban entre 0,25 l/s, las dos primeras campañas, y 1 l/s, la última. Los internos (2) se estimaron en 0,5, 1 y 3 l/s, respectivamente. Esto da una medida de los escasos aportes de las calizas y permite afirmar que son de menor mineralización que los aportes externos. En lo que a la temperatura del agua se refiere, es variable en el exterior (1), entre 6,7 y 14,2 °C, y disminuye siempre en el interior (2), 6,5-10,1 °C.



**Figura 2**  
**2. Irudia**

- En el río Abaro las aguas de (3) y de (4) son, para cada campaña, prácticamente idénticas, lo que indica que de haber aportes intermedios éstos deberían ser de la misma composición química que (3). A la vista de las estimaciones de caudal realizadas en los muestreos resulta que hay un incremento notable de caudal entre esos dos puntos, pasando de 3 a 9 l/s en el primero, de 3 a 8 l/s en el segundo, de 2 a 30 l/s en el tercero, y de 20 a 35 l/s en el último. Por tanto, es lógico pensar que los caudales cir-

36 lagin eta 6 aldagaiak erabilita egindako ACP-an, ondoko ikus daiteke bere korrelazio-matrizean: oso erlazio positiboa  $\text{Mg}^{2+}$  eta  $\text{SO}_4^{2-}$  -aren artean (0,86), ez hain argia  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  eta  $\text{SO}_4^{2-}$  -aren artean (>0,50), eta negatiboa  $\text{SO}_4^{2-}$  eta  $\text{NO}_3^-$  -aren artean (-0,59). Analisisan, hasierako aldakortasuna %86,6koa dela azaltzen duen 3 faktore hartu dira kontutan. I faktorea (%55,0)  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  eta  $\text{SO}_4^{2-}$  -ak karakterizatu egiten dute, II faktorea (%22,6)  $\text{Ca}^{2+}$  -a karakterizaturik dago eta III faktoreak (%9,0)  $\text{NO}_3^-$  -a karakterizaturik dago.

**2. Irudian** kasuen banaketa (ur-laginak) I-II planu faktorialean adierazi dira. Zenbait behaketa interesgarri ondorioz daitezke banaketa honetatik (lagin-puntuak adierazteko zenbakiak erabili ditugu):

- Metrakazulo erreka urek, koba-sisteman sartu baino lehen (1) mineralizazio handiagoa aurkezten dute. Sistemaren barnean (2) kontsideratutako elementuen diluzioa ikus daiteke,  $\text{NO}_3^-$  -aren kasuan izan ezik, beti bere emendioa ikus daitezke, eta puntualki,  $\text{Na}^+$  -rena ere. (1) eta (2) -ren arteko diferentzia, hau da, bere mineralizazioaren beherapen orokorra, kalizen emariei dagokio, berauek siste-

maren at dauden emariak baino ez mineralizatuago baitaude. Azken hauek, ezaugarri gisa  $\text{Mg}^{2+}$  eta  $\text{SO}_4^{2-}$  erakusten dute, koba-sistemaren kanpo-markatzaile gisa kontsidera daitezke larrik. Laginketa desberdinak egin diren datetan sartzen diren emariak (1) 0,25 l/s-koak dira lehenengo biak, eta 1 l/s-koa azkenengoa. Barneko emariak (2), 0,5 l/s-koa eta 3 l/s-koa zirela estimatu ziren, batez beste. Honek kalizaren emarien eskazia adierazten digu eta kanpo-emariak baino ez mineralizatuagoak direla esan dezakegu. Uraren tenperaturari dagokionez, kanpoaldean aldakorra da, 6,7 eta 14,2°C artekoa, eta barnealdean (2), berau, beti jeitsi egiten da, 6,5-10,1°C artekoa izanik.

- Abaro errekan, (3). eta (4). urak, laginketa guztietan ia identikoak dira, beraz, tarteko emariak egotekotan, berauek (3) -ren konposizio kimiko berekoak izan beharko liriateke. Kaudalen estimazioak behatuz gero, bi puntu horien artean gehikuntza handia dagoela ikus dezakegu, 3 l/s-tik 9 l/s-ra lehenengo laginketan, 3 l/s-tik 8 l/s-ra pasatuz bigarren laginketan, 2 l/s-tik 30 l/s-ra pasatuz hirugarrenean eta 20 l/s-tik 35 l/s-ra pasatuz azkenengoa. Beraz, logikoa litzateke pentsatzea (4) -tik igarotzen diren kaudalak eta (3) -tik pasat-



Vertido de fluoresceína en Río Baltzola  
Baltzola errekan fluoresceína isuriketa

culantes por (4) tienen la misma procedencia que los de (3), y que proceden del exterior del sistema cavernario. También aquí resulta evidente que  $Mg^{2+}$  y  $SO_4^{2-}$  son marcadores de ese origen externo. Se observa (4) una disminución de la mineralización en la última campaña correspondiente a aguas bastante altas; aunque no hay datos de (3) en ese momento, seguramente la disminución viene ya desde el exterior. Aquí también desciende la temperatura del exterior (3) al interior (4), pero el descenso es muy pequeño, inferior a  $1^\circ C$ .

- Hay otro aspecto totalmente clarificador. En todos los muestreos aparecen las aguas de resurgencia Jentilzubi (9), descarga final del sistema cavernario, pegadas a las de (4). Esto indica una total afinidad hidroquímica, campaña a campaña, entre ambas, y desde un punto de vista hidrológico una total relación. Los caudales estimados en (9) fueron, respectivamente 10, 3 y 40 l/s, algo por encima de lo estimado en (4). Resulta obvio que las aguas de (4) terminan en (9), recogiendo en el camino aporte suficientemente escasos en caudal como para no perturbar la caracterización química de las aguas del camino principal Abaro-Jentilzubi.

- En lo referente a las aguas de goteo del sistema cavernario (5 y 6.1), presentan similar caracterización química siempre, correspondie

zen direnak, jatorri bera dutela eta kanpotatozela. Hemen ere  $Mg^{2+}$  eta  $SO_4^{2-}$  aren jatorri kanpokoak dela suposa dezakegu. Azkeneko laginketan (4), mineralizazioaren beheraperririk ikus daiteke, ur-kopuruen emendioa dela-etimomentu horretako (3).aren datuak izan ezararren, ziur asko beherapena kanpotik datorrela. Hemen ere tenperatura kanpotik (3) barnealdeko (4) jeitsi egiten da, baina jeitsiera oso txikia da  $1^\circ C$ etakoa baino txikiagokoa.

- Badago ere oso lagungarri izan daitekeen datua. Laginketa guztietan Jentilzubi erretegentzian agertzen diren urak (9), koba-sistemaren azken deskarga baitira, eta (4)en puntuak urak oso antzekoak dira. Honek, euren arteko erabateko afinitate hidrokimikoa dagoela esanahi du, laginketarik laginketa, eta ikuspuntu hidrogeologiko batetik aztertuta erabateko erlazioa dagoela esan dezakegu. (9)an estimatutako kaudalak, 10, 3 eta 40koak izan ziren batez beste, (4)an estimatutakoak baino pixkat altu

te a aguas de menor mineralización que el resto, respecto a las variables consideradas. Su característica, aparte del muy bajo contenido en elementos externos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  y sobre todo  $\text{SO}_4^{2-}$ ) es su mayor contenido en  $\text{NO}_3^-$ ). Al ser aguas de infiltración su  $\text{NO}_3^-$  probablemente esté en relación con los escasos suelos sobre los afloramientos calizos. Puntualmente, también las aguas entrantes al sistema cavernario presentan contenidos en  $\text{NO}_3^-$  similares a los de las aguas de goteo, pero en el caso de estas últimas la presencia de  $\text{NO}_3^-$  es permanente. La temperatura de las aguas de goteo es sistemáticamente la mayor del sistema interno, y la más regular, en torno a 12,3-13,4 °C. Las aguas del lago Abaro (10) se asemejan mucho a las de goteo, y podría ser éste su origen.

- Las aguas (6) y (7) son de ríos interiores del sistema cavernario, de muy escaso caudal, entre 0,5 y 1 l/s, excepto en la última campaña, la de aguas más altas, en (7) donde la estimación fue de 4 l/s. La composición química de estas aguas es muy similar entre sí, y bastante próxima a la de las aguas de goteo. De hecho, su posición en el plano factorial I-II es clara, ocupando posiciones entre las aguas de goteo (5, 6.1) y las aguas del río Metrakazulo (1, 2), pero más cerca de aquéllas, indicando una importante influencia de las aguas de infiltración en el propio sistema carbonatado. Las temperaturas

en ambos puntos (6, 7) son similares en cada campaña, variando entre 10,2 y 12,4 °C.

- Por último, están las aguas del sistema adjunto de Barronbarro (12, 13, 14), con caudales muy bajos durante los muestreos, inferiores a 1 l/s e, incluso, nulos. Estas aguas claramente se diferencian del resto en el plano factorial I-II, ocupando posiciones inferiores que corresponden a una hidroquímica caracterizada por los bajos contenidos en  $\text{Ca}^+$ , y los, comparativamente, altos en  $\text{Cl}^-$ . Este último aspecto puede ser indicativo de un mayor tiempo de estancia de las aguas de lluvia en el suelo, lo que favorecería la reconcentración del  $\text{Cl}^-$ . Los bajos contenidos en  $\text{Ca}^+$ , por su parte, indicarían la falta de condiciones favorables para el ataque del agua a las calizas. También en este sistema se observa una disminución de la temperatura de las aguas desde el exterior al interior, con mayor homogenización en el interior, en torno a los 10,8-11,1 °C.

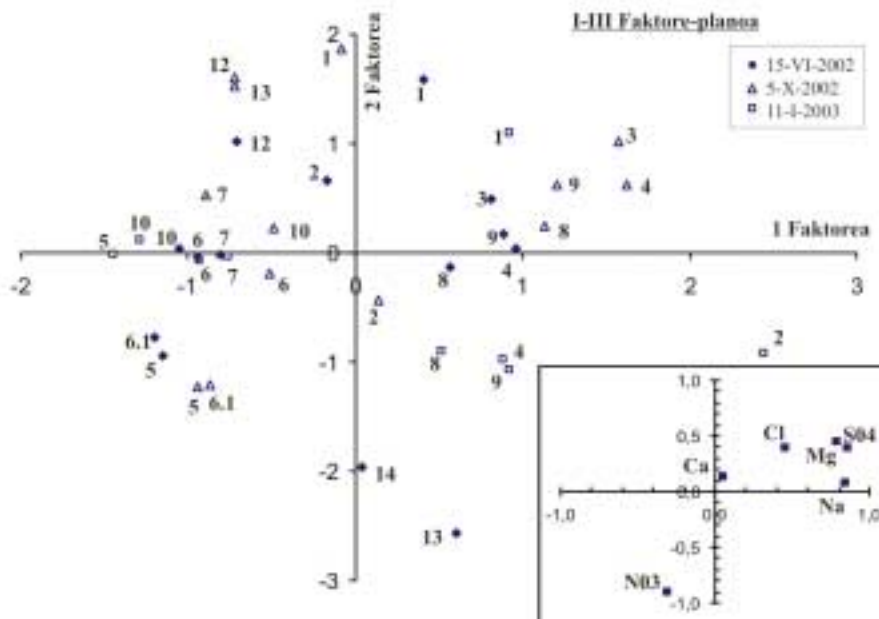
A la vista de la explicación dada, el factor I discrimina entre las aguas de influencia externa (más cargadas en los elementos que han sido identificados como marcadores externos al sistema cavernario), hacia el lado positivo del factor, y las de influencia interna, procedentes de la infiltración en el propio sistema carbonatado, hacia el lado negativo. El factor II, por su parte,



Vertido de fluoresceína en río interior Baltzola  
Baltzola barne errekan fluoresceína isuriketeta

go. Beraz, argi dago (4)ko urak (9)ko urekin elkartu egiten direla, bidean zenbait emari txiki batu ezker, baina hauek kaudalean eskas samar, Abaro-Jentilzubi ibilbide nagusia era nabarian eraldatzeko modukoak.

- Koba-sistemaren tantakako isurbideak direla eta (5 eta 6.1), beti oso antzekoak diren ezaugarri kimikoak erakusten dituzte, eta beste puntuekin konparatuz eta kontsideratu diren aldagaiak kontuan harturik, besteak baino askoz ere ez mineralizatuagoak egonik. Hauen ezaugarriak ondokoak dira, kanpo-elementuen oso kantitate txikiak ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  eta gehien bat  $\text{SO}_4^{2-}$ -arenak) eta  $\text{NO}_3^-$ -aren kantitate handiagoak. Infiltrazio urak direnez,  $\text{NO}_3^-$ a, behar bada, zonalde kalkareotan izaten diren lur eskasiarekin lotuta egongo da. Puntualki, sistemara barneratzen diren uren  $\text{NO}_3^-$ aren kontzentrazioak eta tantakako isurbideen kontzentrazioak oso antzekoak dira, azkenengo hauetan  $\text{NO}_3^-$ aren presentzia beti beha daitekela salbuespenarekin. Tantakako isurbideetako uren temperatura barne-sistemaren altuenak dira, eta erregularrena, 12,3-13,4°C takoa. Abaro lakuaren urak (10) eta tantakako isurbideen urak oso antzekoak dira eta, beraz, hauen jatorria hemen egon daiteke.



**Figura 3**  
**3. Irudia**

no es claro en la discriminación, ya que está caracterizado fundamentalmente por  $\text{Ca}^{2+}$ , y todas las aguas consideradas en este análisis son de facies bicarbonatada cálcica, tanto las externas como las internas; sólo las aguas del sistema Barronbarro quedan claramente diferenciadas del resto en este factor.

Con el fin de aclarar algo más los aspectos hidroquímicos se ha realizado también el plano factorial I-III, que se observa en la **Figura 3**. En

lo fundamental se mantiene la interpretación realizada con anterioridad, ya que ambos planos tienen en común el factor I, que es el más importante. La ventaja adicional del plano I-III es que el factor III discrimina bien las aguas en función de su contenido en  $\text{NO}_3^-$ . Se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Excepción hecha del segundo muestreo, en el que algunas aguas (13, 14) del sistema Barronbarro presentaban un contenido puntual relativamente alto en  $\text{NO}_3^-$ , son las aguas de goteo (5, 6.1) las que mayores contenidos presentan de manera continuada, como antes ya se había mencionado. Las de menores contenidos sistemáticamente, son las aguas de origen externo al sistema, es decir las de los ríos de entrada (1, 3, 12). Así pues, al  $\text{NO}_3^-$  habría que darle un origen, sobre todo, propio al sistema. De todas maneras, los datos no son suficientes para profundizar en este origen; en cualquier caso, estamos hablando de contenidos bajos que nunca han sobrepasado los 5,06 mg/l, por lo que no afectan a la calidad de las aguas.

### Ensayos con trazadores

Los ensayos con trazadores, a pesar de las limitaciones de utilización e interpretación que suelen conllevar, pueden proporcionar, a partir de informaciones directas, una visión clarificadora del modo en que se organiza el flujo y

- (6) eta (7)ko urak koba-sistemaren barne errekaok dira, oso kaudal gutxiak, 0,5 eta 1 l/s-koa, azkenengo kanpaina izan ezik, 4 l/s-koa izan zelarik (7)n. Bien konposizio kimikoa oso antzekoa da, eta tantakako isurbideekin konparatuz nahiko antzekoa ere. Izan ere, I-II planu faktorialeko euren kokagunea argia da, tantakako isurbideen artean (5, 6.1) eta Metrakazulo (1,2) errekaen artean kokaturik daudelarik, lehenengoetatik hurbilago, egia esanda ere, sistema karbonatatuaren infiltrazioen eragin garrantzia azpimarratzen digularik. Bi puntuetako (6,7) temperatura oso antzekoa da kanpaina guztietan, 10,2 eta 12,4°C artean daudelarik.

- Azkenik, Barronbarro alboko sistemaren urak ditugu (12,13,14), oso kaudal baxukoak, 1 l/s-koak baino baxuagoak eta batzuetan nuluak izanik ere. Ur hauek, I-II planu faktorialean oso desberdinduta agertzen dira, beheko kokapena okupatuz,  $\text{Ca}^{2+}$ -ko eduki baxu samar eta  $\text{Cl}^-$ -ko eduki altuko ezaugarri hidrokimikoei dagokion kokapena. Alde batetik, azken ezaugarri honek, ondokoa adieraz dezake, euri-uren egonaldi luzeagoa lurran zehar,  $\text{Cl}^-$ -ren birkontzen-

trazioa baimenduz.  $\text{Ca}^{2+}$ -ren eduki baxuak, bestalde, arroka kalizak erasotzeko uraren baldintza faboragarrien eza adieraz dezake. Sistema honetan ere, tenperaturaren jeitsierak beha daiteke kanpoaldetik barnealdera goazen elean, barnealdean homogenizazio handiagoa egonik, berau 10,8 eta 11,1°C takoa izanik.

Emandako azalpeni jarraituz gero, I faktoreak uraren bitan bereizten ditu. Batetik, kanpotikako eragina duten urak (koba-sistemaren kanpo-markatzaile gisa identifikatu ditugun elementu ugariago daramaten urak), faktorearen alde positiboan kokaturik. Eta bestetik, barneko eragina duten urak (sistema karbonatatu berean infiltratutako urak), faktorearen alde negatiboan kokaturik. II faktoreak, ordea, es du hauek argi bereizten ur-multzak,  $\text{Ca}^{2+}$  a dela eta bereizten ari da ur desberdinak, eta lan honetan ikertutako ur guztiak, kanpotikakoak zein barnekoak, kaltzio bikarbonatodun erako urak batetik; soilik, Barronbarro sistemaren urak bereizten dira nabari gainerakoekin.

Ezaugarri hidrokimikoak gehiago argitu nahian, **3. Irudia** ikus daiteken I-III planu faktoriala egin dugu. Orokorrean

transporte en determinados sectores del sistema kárstico estudiado, mostrando la complejidad dinámica, espacial y temporal del karst. La correcta realización de los ensayos requiere, además, un cierto seguimiento temporal, acompañado de medidas de caudal para definir con precisión la respuesta del sistema en las condiciones hidrológicas de realización del ensayo. Así, los ensayos con trazadores son una parte muy importante en la investigación y entendimiento de la hidrología del karst.

En el Karst de Indusi se han efectuado algunos trazados (**Tabla 1**), la mayoría de ellos solamente de inspección visual en un tiempo

limitado. En los dos últimos se instalaron fluocaptadores en algunos puntos durante 24 horas, lo que permitió, al menos, un control algo más extendido en el tiempo. En la siguiente Tabla (**Tabla 4**) se muestran los resultados de las cinco primeras coloraciones, que se realizaron sin fluocaptadores.

En nuestro caso, Karst de Indusi, se han realizado 2 coloraciones en el año 2003 con la colocación de fluocaptadores. En la primera la inyección tuvo lugar en el punto 2 y en la segunda en el punto 7, en este último caso los captadores sólo se pusieron en los dos puntos recogidos en la

**Tabla 4: Resultados de las coloraciones en las que se especifica el punto en el que se coloreó y los puntos que mostraron y no mostraron coloración.**

Coloración	Fecha	Punto inicial de coloración	Puntos que aparecen con coloración (positiva)	Puntos que aparecen sin coloración (negativa)
1	13/04/2001	4. R. Int. Abaro	9 (Tras 4.30 h)	10 (Tras 4.30 h)
2	1/05/2001	7. R. Int. Baltzola	9 (Tras 4.30 h)	8 (Tras 4.30 h)
3	5/07/2001	7. R. Int. Baltzola		8 (Tras 5 h); 9 (Tras 5 h)
4	11/05/2002	6. R. Int. Gibeldar	8 (Tras 0.30 h); 9 (Tras 1.30 h)	
5	5/11/2002	7. R. Int. Baltzola	9 (Tras 2 h)	8 (Tras 2 h)

aurrean egindako azalpena mantendu egiten da, planu biak I faktorea komunean dutelako, eta hau garrantzitsuena delako. I-III planuaren abantail nagusia zera da, honek uren bereizketa euren NO<sub>3</sub>aren edukiri jarraituz egiten duela. Ondoan dauden oharpenak egin ditzakegu:

Aurrean aipatu denez, tantakako isurbideak (5, 6.1) era jarraian NO<sub>3</sub>aren edukirik altuenak erakusten dituzten urak dira, bigarren laginetako Barronbarro sistemaren zenbait ur (13, 14) salbuzpen. Edukirik baxuenak erakusten dituzten urak, sistematikoki, sistematik kanpotikako jatorria duten urak dira, hau da, kanpoko jatorria duten errekek (1, 3, 12). Horrela izanik, NO<sub>3</sub>-ari, batik bat, jatorri berbera eman behar litzaioke. Dena den, datuak ez dira nahiko sakontzeko moduan; edonola ere, oso eduki baxuei buruz hitz egiten ari gara, inoiz ez direla 5,06 mg/l baino altuagoak izan, beraz NO<sub>3</sub>ari dagokionez, ez dute uraren kalitateari eraginik egiten.

#### Trazatzaileak erabilia egindako saioak

Trazatzaileak erabilia egindako saioak, nahiz eta gehie-

netan izaten dituzten erabilera eta interpretazio mugak, informazio zuzena ematen dute, eta uraren norabidea eta sistema karstikoaren garraioak nola bideratzen diren argitzeko erabil daitezke, karstaren zailtasun dinamiko, espaziala eta tenporala erakutsirik. Saioak era egokian burutu daitezten, jarraipen tenporala eskatzen du, eta horrez gain, kaudalaren datak, saioa burutzen ari den ezaugarri hidrologiko konkretu batzuetan, sistemaren erantzuna zein den, prezisioz interpretatzeko. Beraz, trazatzaileak erabilia egindako saioak karstaren hidrologiaren ulermenerako eta azterketarako zeharo garrantzitsuak dira.

Indusiko karstan trazado batzuk burutu dira (**1. Taula**), gehienak behaketa bisualean oinarriturik, denbora mugatu batean. Egin ziren azkenengo bi saioetan, zenbait puntutan eta 24 orduz, fluokaptatzaileak jarri ziren, eta horrela, denbora luzeagotan aztertutako datuak lortu egin ziren. Ondoko taulan (**4. Taula**) egin ziren lehenengo bost kolorazioen emaitzak laburbildu dira, berauek fluokaptatzaileak jarri gabe burutu ziren.

Gure kasuan, Indusiko karstan, 2003ko urtean fluokaptatzaileak erabilia 2 kolorazio burutu ziren. Lehengoan, injekzioa



**Tabla 5: Cantidades de fluoresceína recogidas en los fluocaptores.**

Muestra	2003-I-11 [Flu] µg/g muestra	2003-I-18 [Flu] µg/g muestra
Tunel Abaro (3)	0,021	
Sifón Abaro (4)	7,33	
R. Gibeldar (6)	62,00	18,63
R. Baltzola (7)	1822,95	
Sifón Jentilzubi (8)	-	68,34
Resurgencia (9)	11,54	

**Tabla 5.** En los dos ensayos los captores se retiraron a las 24 horas de su colocación. Este procedimiento, mediante captores, no permite cuantificar velocidades de flujo ni hacer balance de masa con precisión; es, más bien, semi-cuantitativo. Los datos derivados del análisis en laboratorio de los fluocaptores se recogen en la **Tabla 5**. El captor de 8 en la primera coloración no pudo finalmente ser analizado en el laboratorio.

De los datos de la tabla se deduce, para la primera coloración, un flujo de agua: 2 (inyección, 3 l/s) => 7 (4 l/s) ↔ 6 (1 l/s) => 9 (resurgencia, 40 l/s). Los caudales estimados, entre paréntesis, evidencian que el flujo no sigue un camino único, sino que debe haber ramificaciones de la corriente procedente de 2 que expliquen la aparición del trazador en 7 y 6 con esos caudales de paso. Las cantidades encontradas en 3 y 4 no son significativas para el ensayo, pudiendo tratarse de fluorescencia natural de las aguas.

En el segundo ensayo, en situación de aguas altas, el trazador vertido en 7 pasa por 6 y por 8 antes de llegar a la resurgencia final del sistema (9), aunque aquí no se puso captador.

Los datos de las 7 coloraciones junto con los datos hidroquímicos evidencian que las aguas circulan siguiendo dos caminos diferentes principales, ambos convergentes hacia la salida del sistema: resurgencia Jentilzubi (9). En resumen a continuación se muestran los sentidos de flujo del agua del Karst de Indusi:

- 1.- Punto 1=> Punto 2 => Punto 7 ↔ Punto 8 => Punto 9
- 2.- Punto 3 => Punto 4 => Punto 9

En situación de aguas altas y medias los puntos 5 y 6.1 se activan formándose el río Gibeldar, en el cual el punto 7 también aporta parte de su caudal. Esta situación no ocurre

2. puntuan egin zen eta bigarreanean 7. puntuan. Azken kasu honetan kaptatzaileak **5. Taulan** adierazitako bi puntuetan soilik ipini ziren. Bi saioetan, kaptatzaileak urperatuta egon eta 24 ordu beranduago batu ziren. Prozedura honen bidez, ezin da kuantifikatu fluxuaren abiadura, ezta prezisioz masa-balantzerik egin; erdi-kuantitatiboa dela esan dezakegu. Fluokaptatzaileak erabiliz gero

lortutako emaitzak **5. Taulan** laburbildu dira. Lehengo kolorazioaren 8. puntuaren kaptatzailea ezin izan zela laboraegian analisatu esan beharra dago.

**5. Taula: Fluohartzailleen bidez lortutako fluoreszeina-kantitateak.**

Lehenengo koloraziorako, taularen datuetatik ondoko ur-fluxua ondoriozta daiteke:

2 (injekzioa, 3 l/s) => 7 (4 l/s) ↔ 6 (1 l/s) => 9 (erresurgentzia, 40 l/s).

Parentesi artean dauden kaudalak, zera adierazten digu, fluxuak ez duela bide bakarra jarraitzen, baizik eta korrentearen adarkapen bat dagoela trazatzailea 6. eta 7. puntuetan

agertzeko. 3. eta 4. puntuetan agertzen diren kantitateak ez dira esanguratsuak, uretan berez dagoen fluoreszenti naturala izan daitekelerik.

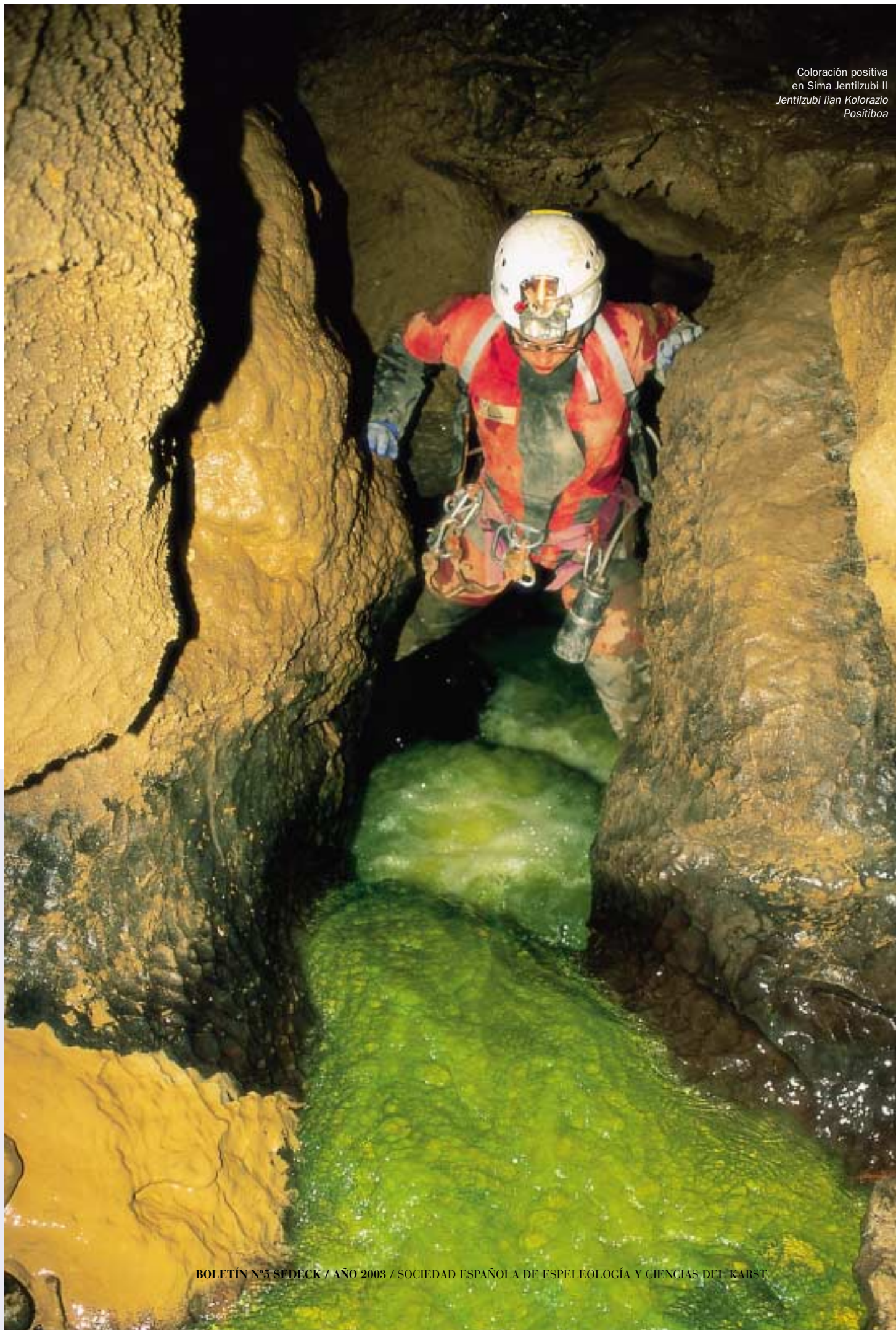
Bigarren saioan, ur-kopuru altuko egoeran, 7. puntua botatako trazatzailea 6. eta 8. puntuetatik pasatzen da, azken erresurgentzira (9) ailegatu baino lehen, nahiz eta hemen kaptatzaileak ez ipini.

Egindako zazpi kolorazioen datuek datu hidrokimikoek batera, urak bi bide nagusi jarraitzen duela adierazten digu. Bi sistemaren azken erresurgentzian elkartzen direlarik Jentilzubi erresurgentzian, hain zuzen ere (9). Azpian adierazten ditugu laburbildurik Indusiko Karstaren ur-fluxuen norabideak:

- 1.- 1. Puntua=> 2. Puntua=> 7. Puntua ↔ 6. Puntua=> 8. Puntua => 9. Puntua
- 2.- 3. Puntua => 4. Puntua => 9. Puntua

Ur-kopuru ertaineko eta altuko egoeran, 5. y 6.1. puntua aktibatzen egiten dira Jibeldar erreka eratuz, bertan 7. puntua

Coloración positiva  
en Sima Jentilzubi II  
Jentilzubi IIan Kolorazio  
Positiboa



durante todo el año, sino que sólo sucede en época de lluvias, por lo que el resto del año este cauce está seco.

Punto 7

3.- Punto 5 – Punto 6.1=>  $\Downarrow$  => Punto 6=>  
Punto 8 =>Punto 9

Los datos obtenidos tras los análisis físico-químico del agua y ensayos de trazadores se han sintetizado en el siguiente modelo realizado por ordenador de la dinámica de las aguas del karst de Baltzola. (**Figura 4**)

### Análisis microbiológico del agua

La calidad de unas aguas viene determinada además de por sus características físico-químicas, por sus características microbiológicas. Por otra parte, al igual que sucede con el análisis físico-químico, presenta un valor exclusivamente puntual: representa la carga microbiológica que el agua tiene en el momento y en el lugar de muestreo.

La caracterización microbiológica de las aguas se realizó en el primer muestreo (29/04/2001) coincidiendo con la analítica físico-química, simplemente con el fin de tener una referencia de su calidad microbiológica. Los datos se aportan en la tabla anexa. (**Tabla 6**) Estos datos muestran una leve contaminación microbiológica de las aguas, destacando como la menos contaminada microbiológicamente agua de la muestra del Río Interior Baltzola.

**Parámetros microbiológicos (u.f.c./100 ml)**

Muestra	Aerobios mesófilos	Coliformes totales	Coliformes fecales	S. aureus	Estreptococos fecales	Hongos
3-R. Exterior Abaro	1.764	360	104	3	15	10 <sup>4</sup>
4-R. Interior Abaro	2.772	120	54	8	6	10 <sup>4</sup>
6-R. Int. Gibeldar	3.024	420	20	0	12	10 <sup>4</sup>
7-R. Int. Baltzola	84	1	0	0	0	1.000
8-R. Int. Gentilzubi II	1.512	110	38	2	8	10 <sup>4</sup>
9-Resurgencia	2.600	320	52	0	8	10 <sup>4</sup>
10-Lago	1.700	260	6	0	0	10 <sup>4</sup>

ere bere emariaren parte bat gehitzen duelarik. Egoera hau ez da urte osoan zehar gertatzen, soilik euri jasak daudenean ematen da, beraz urtearen beste partean ez dago ur-fluxu hau.

7. Puntua

3.- 5. Puntua=> 6.1. Puntua=>  $\Downarrow$  =>6. Puntua=>  
8 Puntua=> 9 Puntua

Uraren azterketa fisiko-kimikoak eta trazatzaileen saiok burutu eta gero lortutako emaitzak, ondoko ordenagailuen bidez egindako Baltzolako Karstaren ur-dinamikaren ereduaren laburtu eta irudikatu egin dira (**4. Irudia**)

### Uraren azterketa mikrobiologikoa

Uraren kalitatea, bere ezaugarri fisiko-kimikoz gain, bere ezaugarri mikrobiologikoz ere azaltzen dute. Bestalde, azterketa fisiko-kimikoetan gertatzen den bezalaxe, azterketa mikrobiologikoa hauek, balore puntuala erakusten dute: laginketak, momentu eta toki konkretu batetan duen karga mikrobiologikoa erakusten dute.

Azterketa mikrobiologikoa, uraren kalitate mikrobiologikoren erreferentzi bat izatearren egin zen, lehenengo azterketa fisiko-kimikoa burutu zenean (2001/04/29). Datu hauek **6. Taulan** erakusten dira. Datu hauek kutsadura mikrobiologikoa ahula erakusten dute, Baltzola barne errekaen lagina gutxienez kutsatuta dagoena azpimarraturik.





## Conclusiones

El presente trabajo realizado entre los años 2001 y 2003 en las aguas del Karst de Indusi aporta datos relevantes sobre las características hidroquímicas, microbiológicas, así como sobre la dinámica de flujo de las aguas. Con esos datos se ha elaborado un modelo de ordenador de la dinámica de las aguas del karst. Con ello creemos haber contribuido al esclarecimiento, en cierta medida, de la gran complejidad dinámica, espacial y temporal del karst de Indusi.

Los resultados del trabajo realizado son además, desde el punto de vista aplicado, básicos para los organismos encargados de la gestión de este entorno, tanto para la correcta adecuación del Plan de Uso y Gestión de este entorno subterráneo como para facilitar las herramientas necesarias para que la antropización y consiguiente deterioro a causa de visitas incontroladas sea mínima y, en todo caso, reversible. Por lo tanto, el conocimiento científico de las variables del sistema kárstico, adquirido tras la realización del presente proyecto constituyen la base y forma fundamental de controlar la variabilidad futura de alguna de estas cavidades.

## Agradecimientos

Muchas gracias, a todas las personas que han tomado parte en este trabajo, especialmente a Jabier Les, Rakel Malanda, Gaizka Carretero, Marian Alonso, Alaitz Mitxelena, Mikel Ortega, Rosa Díez y toda la gente que ha ayudado en laboratorio, y también suministrando infraestructuras o de cualquier otra forma.

A pesar de los fríos polares que hemos pasado para coger las muestras, a veces, otras veces calores intensos, y siempre llenos de barro mojadados hasta el cuello, creemos que ha merecido la pena.

Gracias mil por todas las horas pasadas arrastras y entre barro como reptiles, y así todo no perder nunca la alegría.

## Konklusioak

2001 eta 2003. urteetan zehar Indusiko Karstan egindako lan honetan, uren fluxu-dinamiko, ezaugarri fisiko-kimiko eta ezaugarri mikrobiologikoei buruz datu garrantzitsuak erakusten ditu. Datu hauekin, ordenadorean bidez egindako karstaren ur-dinamikaren eredua egin dugu. Lan honekin, Indusiko karstaren konplexutasun dinamikoan, espazialean eta tenporalean ikerketan lagundu egin dugulakoan gaude.

Egindako lanaren emaitzak, gainera, ikuspuntu aplikatu batetik ere, funtsezkoak dira inguru honen gestioan zerkusia duten erakundeentzako, bai ingurune subterreneoaren Erabilera eta Gestio Plangintzaren egokipenerako, bai kontrolik gabe egiten diren bisitaldien hondamenak gutxitzeko asmotan. Beraz, sistema karstikoaren aldagaien ezagumenak, hain zuzen ere proiektu honen ondorioz lortutakoa, koba hauetan etorkizunean gerta daitezken aldaketen bidea eta oinarria izan daitezke.

## Eskerrak

Esker anitz lan honetan parte hartu duten guztientzako bereziki Jabier Les, Rakel Malanda, Gaizka Carretero, Marian Alonso, Alaitz Mitxelena, Mikel Ortega, Rosa Díez eta baita laborategiko lanarekin zein infrastrukturak eskeiniz edo beste edozein modura lagundu duten guzti guztientzako.

Nahiz eta ur laginak hartzeko pasatutako hotz polarra izan batzuetan, edota bero itzelak besteetan, eta ia beti bururaino zeharo zikindurik eta bustirik, pena merezi izan duela uste izan gaude.

Mila esker, narrastiak bezala arrastaka, eta lokatzaren artean gehienetan pasatutako ordu guziak, eta hala eta guztira ere alaitasuna ez galtzeagatik.



BOLETÍN N°5 SEDECK /