

# Relación entre litología y características hidroquímicas de las aguas subterráneas. Red de Control de la Calidad del Principado de Asturias

A. Ortuño<sup>(1)</sup>, M. Meléndez<sup>(2)</sup> y M.L. Rodríguez<sup>(2)</sup>

(1) Avda. Maisonnave, 33-39. 03003 Alicante.  
E-mail: dortuno@hotmail.com

(2) Instituto Geológico y Minero de España. Oficina de Proyectos de Oviedo. c/ Matemático Pedrayes, 25. 33005 Oviedo.  
E-mail: oviedo@igme.es

## RESUMEN

Durante los años en los que el IGME gestionó la Red de Control de la Calidad del Agua Subterránea en la Cuenca Norte-II (Asturias y Cantabria) se llevaron a cabo dos campañas anuales de toma de muestras (en primavera, período de lluvias, y en otoño, período de estiaje) y su posterior análisis químico, a partir de cuyos resultados se elaboraron estudios hidroquímicos para establecer la calidad de las aguas subterráneas y la tendencia de su evolución en el tiempo. Con los datos obtenidos en las campañas del año 2000 se realizó un estudio en el que se establece la correlación entre el quimismo del agua y las litologías de los materiales por los que circula, definiéndose tres grupos fundamentales de aguas: uno relacionado con litologías calcáreas (subdividido en dos familias, una de las cuales presenta influencias de sedimentos evaporíticos), otro con materiales cuarcíticos y el tercero ligado a materiales detríticos, para lo cual se ha utilizado, además de las metodologías convencionales de estudio (relaciones iónicas, diagramas de Piper y Stiff, caracterización mediante facies, mineralización y dureza, etc.), el Análisis de Componentes Principales.

Palabras clave: Análisis de Componentes Principales, Asturias, calidad, hidroquímica, relación hidroquímica-litología

## ***Relation between litology and groundwater hydrochemistry characteristics. Quality Control Network of Principado de Asturias, Spain***

## ABSTRACT

*During the years that IGME managed the Groundwater Quality Control Network in North Basin-II (Asturias and Cantabria) two yearly campaigns sampling (in springtime, rain period, and in autumn, dry period) and its following chemical analysis were carried out. Hydrochemical studies were performed from these results in order to settle the groundwater quality and its evolution in time. With the obtained data in 2000 yearly campaigns a study was performed in order to establish the correlation between the water chemistry and the litology of the materials through the water runs, three main water groups are defined: the first one, regarding to calcareous litologys (subdivided in two families, one of these with evaporitic sediments influence), the second one with quartzitics materials and the third one related to detrital sediments, for which it has been used the Analysis of Principal Components, besides conventional methodologies of studies (ionic relations, Piper and Stiff Diagrams, characterisation by facies, mineralization and hardness).*

*Key words: Asturias, hydrochemistry, hydrochemistry-litology relation, Principal Components Analysis, quality*

## Introducción

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME), organismo autónomo del Ministerio de Ciencia y Tecnología, gestionó, entre los años 1981 y 2001, la Red de Vigilancia y Control de la Calidad de las Aguas

Subterráneas en la Cuenca Norte II (comunidades autónomas de Cantabria y del Principado de Asturias). Perseguía un mejor conocimiento de la calidad de las aguas subterráneas y el establecimiento de los mecanismos para su control y protección frente a la contaminación. Esta red constaba de 135 puntos,

de los que 70 se ubicaban en el Principado de Asturias.

En el año 2000 (abril-mayo y septiembre-octubre) se realizó un estudio detallado sobre la calidad química de las aguas subterráneas del Principado de Asturias (Ortuño, 2001) para establecer una correspondencia entre las principales características del agua y la litología de los materiales por los que circula, a partir de los resultados de los análisis químicos de 127 muestras de agua tomadas sobre 65 de los puntos de la Red durante las dos campañas. Esto se llevó a cabo mediante la caracterización química de las mismas atendiendo a su facies, mineralización y dureza, representaciones gráficas (diagramas de Piper, Stiff y diagramas rectangulares de D'Amore), interpretación de relaciones iónicas y técnicas estadísticas (ACP).

### Marco geológico

En primer lugar, conviene resaltar que en la región asturiana existen dos conjuntos geológicos diferentes por su edad y modo de afloramiento. El más antiguo, constituido por rocas precámbricas y, sobre todo, paleozoicas pre-pérmicas, ocupa la mayor parte del territorio asturiano; el más moderno, integrado por materiales pérmicos, mesozoicos y terciarios, se sitúa en la parte norte de la zona central de Asturias (aproximadamente desde la línea Oviedo-Avilés hasta Ribadesella) y vuelve a aparecer cerca del límite con Cantabria. Además de estos dos conjuntos, existen en Asturias abundantes depósitos cuaternarios de distinta naturaleza (Bastida y Aller, 1995).

El primero de ellos forma parte del denominado "Macizo Hespérico", que fue dividido en cinco zonas (Lozte, 1945; Julivert *et al.*, 1972). De éstas, tienen representación en el Principado de Asturias la Zona Cantábrica y la Asturoccidental-leonesa. El centro y oriente de Asturias se incluyen en la Zona Cantábrica, que constituye el segmento más externo del Orogéno Hercínico de la Península Ibérica (Julivert, 1971) y se caracteriza por la existencia de una potente sucesión paleozoica afectada por una tectónica tangencial de tipo superficial en la que dominan los pliegues de tipo "Apalachense". Tectónicamente, la deformación tiene lugar en niveles superficiales de la corteza, y se produce debido a la traslación de grandes masas de roca a lo largo de importantes cabalgamientos, con ausencia casi total de metamorfismo y magmatismo (Bastida y Aller, 1995), mientras que la zona occidental asturiana forma parte de la Zona Asturoccidental-leonesa, que tiene continuidad en las comunidades de Galicia y Castilla-León.

El conjunto más moderno, constituido por los materiales de la cobertera permo-mesozoico-terciaria, ha sido deformado durante el Terciario (Orogénesis Alpina). La sedimentación de estos materiales y su deformación constituyen el "Ciclo Alpino", en el que se pueden diferenciar dos etapas. En la primera, de carácter distensivo, se generó una cuenca marina en la parte septentrional de la Península Ibérica. Durante el transcurso de esta etapa tuvo lugar la sedimentación de los materiales permo-mesozoicos. La segunda etapa, compresiva, se produjo a lo largo del Terciario y tuvo como consecuencia un acortamiento norte-sur, con la generación de nuevas fallas y la reactivación de cabalgamientos, fundamentalmente hercínicos (Bastida y Aller, 1995).

En resumen, se puede indicar que la estructura de la corteza de la Cordillera Cantábrica y del margen noribérico es el resultado de la superposición de la deformación alpina, debido al cierre parcial del Golfo de Vizcaya durante el Terciario sobre la estructura cortical consolidada tras la Orogénesis Varisca (Gallastegui, 2000).

### Marco hidrogeológico

Las unidades hidrogeológicas definidas en la región asturiana (Figura 1) son las siguientes: 01.16 Llanes-Ribadesella, 01.17 Picos de Europa-Panes, 01.18 Región del Ponga, 01.19 Villaviciosa, 01.20 Llantones, 01.21 Pinzales-Noreña, 01.22 Oviedo-Cangas de Onís, 01.23 Peña Ubiña-Peña Rueda y 01.24 Somiedo-Trubia-Pravia (DGOH-IGME, 1988; DGOH, 1990; ITGE, 2000).

Los principales niveles acuíferos, agrupados por edad geológica, a los que se encuentran asociados los puntos de agua de la Red de Calidad, son:

- Formaciones precarboníferas: en este conjunto se incluyen todos los niveles permeables de edades geológicas anteriores al Carbonífero. Los más importantes desde el punto de vista hidrogeológico son: calizas/dolomías de la Fm. Láncara (Cámbrico Inferior-Medio), niveles calcáreos del Complejo Rañeces (Devónico Inferior), calizas de la Fm. Moniello (Devónico Inferior-Medio) y calizas de la Fm. Candás (Devónico Medio-Superior). Los parámetros hidrogeológicos de transmisividad y coeficiente de almacenamiento son muy variables, si bien la escasa continuidad lateral de los niveles calcáreos y/o las intercalaciones de niveles impermeables hace suponer que no se puedan obtener caudales importantes desde el punto de vista de la explotación del agua subterránea. En la unidad

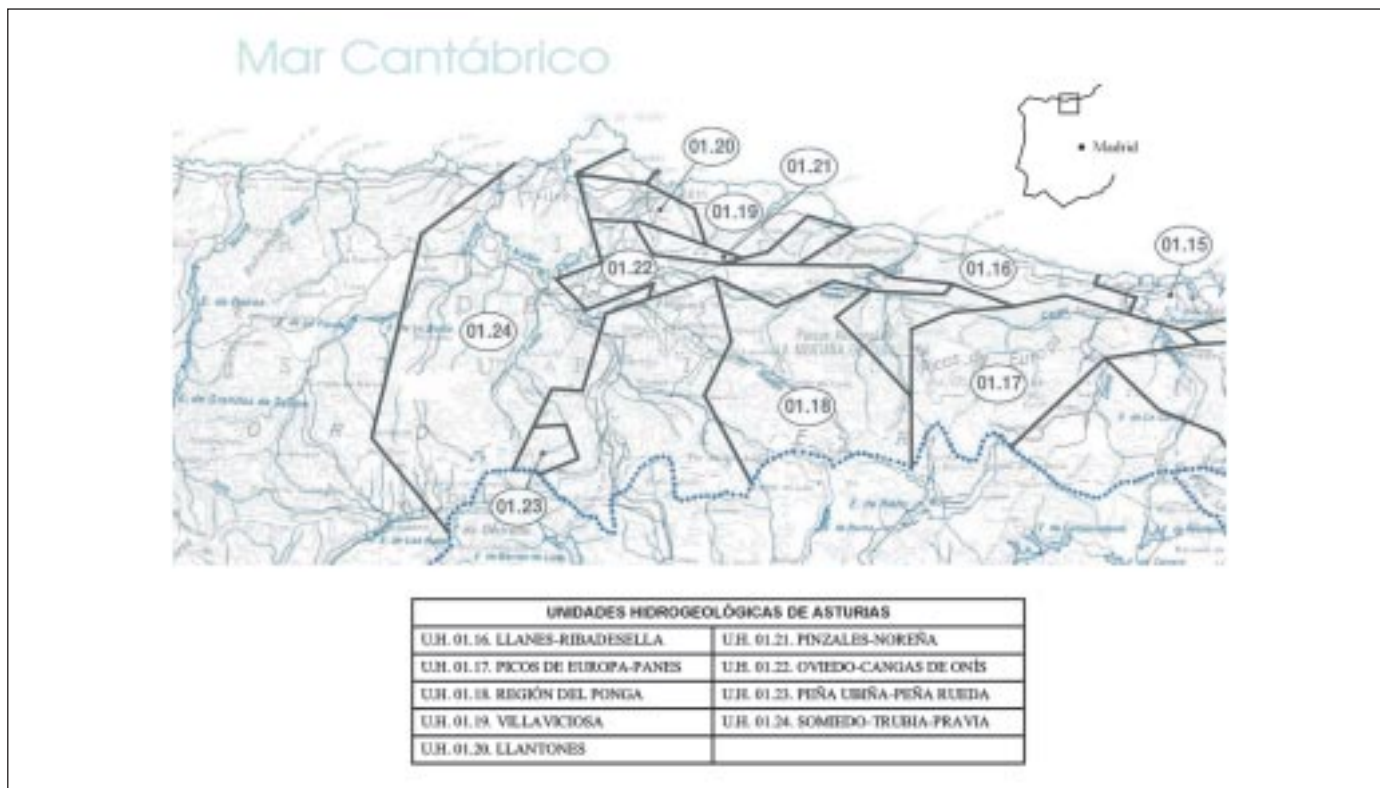


Fig. 1. Unidades hidrogeológicas (U.H.) de Asturias (ITGE, 1997)  
 Fig. 1. Hydrogeological units of Asturias (ITGE, 1997)

- 01.24 parte de los niveles acuíferos están constituidos por estos materiales (IGME, 1984 a).
- Formaciones calcáreas y calcareo-dolomíticas carboníferas: en este conjunto se pueden distinguir seis formaciones principales: Fm. Barcaliente (Carbonífero Inferior), y Fm. Valdeteja, Fm. Caliza Masiva o de Peñarredonda, Fm. Escalada, Fm. Picos de Europa y Fm. Puentellés (Carbonífero Superior). Presentan, en general, valores de permeabilidad elevada, aunque variable debido a su desarrollo por fisuración y carstificación. Estos materiales constituyen los acuíferos más importantes de las unidades hidrogeológicas 01.16, 01.17, 01.18, 01.23 y 01.24 (IGME, 1984 a).
  - Formaciones jurásicas: en este conjunto se puede distinguir entre el Jurásico detrítico, de escasa importancia desde el punto de vista hidrogeológico, y el Jurásico calcáreo, de mayor interés. En este último se puede mencionar la Formación Gijón (Hettangiense-Sinemuriense Inferior), incluida en el denominado Grupo Villaviciosa, con sus miembros Dolomías de Solís y Sotiello, Calizas magnesianas de Gijón, Calizas del Pozo de los Lobos, Calizas tableadas de La Pedrera, Calizas

- nodulosas de Gijón y Calizas oolíticas de Deva (Valenzuela, 1988). La permeabilidad en estos materiales se desarrolla, fundamentalmente, por fisuración y carstificación y, en general, presenta valores elevados. Estos materiales forman los principales acuíferos de las unidades 01.19, 01.20 y 01.21 (ITGE, 1993).
- Formaciones cretácicas: están constituidas, principalmente, por materiales detríticos con intercalaciones calcáreas. Los tramos acuíferos diferenciados pueden agruparse en dos conjuntos según su litología: detrítica o calcárea. Los de naturaleza detrítica, de mayor entidad, están representados por tres niveles arenosos:
  - Acuífero superior (AK-1): equivale a la Formación La Argañosa (edad Coniaciense), que está compuesta por una serie fundamentalmente siliciclástica, con niveles lutíticos y arcillosos a muro.
  - Acuífero intermedio (AK-2): equivale a la Formación Piedramuelle (edad Cenomaniense Medio), que está constituida por arenas de grano medio a grueso. Es el acuífero con mayor potencialidad.
  - Acuífero inferior (AK-3): equivale a los tramos

basales del Cretácico (Fms. El Caleyú, Ullaga y Pola de Siero, edad Albiense-Cenomaniense), formados, fundamentalmente, por niveles arenosos y conglomeráticos.

Además de los tramos acuíferos detríticos, también de edad Cretácico (Albiense, Cenomaniense y Coniacense), se presentan diferentes tramos de naturaleza calcárea que, en ocasiones, pueden considerarse de interés desde el punto de vista hidrogeológico (IGME, 1984 a).

Los acuíferos cretácicos se encuentran confinados en parte por los materiales impermeables o semipermeables del Terciario, y constituyen los acuíferos más importantes de la U.H. 01.22 y, en menor medida, los de la U.H. 01.21.

- Formaciones de baja permeabilidad: la Fm. Barrios (Cámbrico Medio-Ordovícico Inferior) es la más importante y está constituida, esencialmente, por cuarzo-arenitas blancas, muy endurecidas, entre las que se intercalan pizarras grises o verdosas. En general, esta formación presenta valores de permeabilidad muy bajos o nulos, a excepción de las zonas que se encuentran muy fracturadas o alteradas en las que este parámetro puede ser algo mayor (ITGE-DGOHCA, 1999).
- Materiales triásicos: los materiales del Buntsandstein están formados por un tramo inferior de predominio conglomerático y uno superior con alternancias de areniscas arcillosas y arcillas arenosas o limolíticas, siendo ambas rojizas, mientras que la facies Keuper consta de arcillas rojizas, más arenosas hacia la base, con intercalaciones de yesos. Presentan un comportamiento impermeable, si bien, en determinados sectores, ejercen cierta influencia en el quimismo del agua.

## Características hidrogeoquímicas

### Características generales de la Red

En el año 2000, los puntos muestreados de la Red de Calidad en Asturias fueron 65, y se dispuso de un total de 127 muestras, tomadas durante las campañas de primavera y otoño (Ortuño, 2001). En la Tabla 1 se recoge el número total de puntos muestreados por unidad y la superficie de ésta en km<sup>2</sup>, así como la naturaleza, litología y uso de los puntos de agua.

La situación de los 65 puntos se muestra en la figura 2. El 82,1% son puntos de agua cuyos caudales proceden de materiales calcáreos, correspondiendo por edades al Devónico (fms. Complejo Rañeces y Moniello, el 4,5%), Carbonífero (fms. Barcaliente, Valdeteja y Picos de Europa, el 28,3%), Jurásico (Lías,

el 40,3%) y Cretácico Superior (el 9%). Entre los puntos no asociados a materiales calcáreos, el 13,4% son aguas que proceden de arenas cretácicas y terciarias, el 3% en cuarcitas ordovícicas y el 1,5% restante en areniscas triásicas.

Respecto a la naturaleza de los puntos de agua de la Red de Calidad Química, cabe destacar que más de la mitad de ellos son manantiales y el resto sondeos. El agua se utiliza, casi en un 50%, para abastecimiento, predominantemente a núcleos urbanos.

### Resultados analíticos y caracterización

Los resultados de los análisis químicos de los elementos mayoritarios, así como los datos tomados "in situ", permitieron la caracterización de las aguas subterráneas en cada unidad (Tabla 2).

La conductividad, parámetro que depende del contenido en sales, presenta valores medios que varían entre 185 y 370  $\mu\text{S/cm}$ , con un mínimo de 42  $\mu\text{S/cm}$  y un máximo de 1.673  $\mu\text{S/cm}$  que corresponden, respectivamente, a aguas procedentes de materiales cuarcíticos incluidos en la unidad 01.22 y a aguas del acuífero jurásico calcáreo de la unidad 01.19. Este parámetro presenta, en general, valores homogéneos en los análisis realizados, si bien sobresale el amplio rango de la Unidad 01.19, con valores que varían desde 272 hasta 1.673  $\mu\text{S/cm}$ . La elevada conductividad de algunas aguas de esta unidad (puntos 1304.4.0028 y 1403.6.0013) está relacionada con un valor alto de la concentración de sulfatos, que alcanza un máximo de 824 mg/L, procedentes de la disolución de materiales evaporíticos presentes en la base de las calizas liásicas. Este fenómeno también se manifiesta en el punto 1304.8.0013 de la Unidad 01.21 (figura 2), con una conductividad del orden de 700  $\mu\text{S/cm}$  y una concentración de sulfatos de casi 200 mg/L.

Los valores de pH oscilan entre 6,1 y 8,3, medidos, respectivamente, en aguas que han circulado a través de sedimentos arenosos cretácicos y a través de formaciones calcáreas carboníferas. Este parámetro presenta cifras medias entre 7,5 y 8. En general, estos valores se mantienen estables en las dos campañas, lo que pone en evidencia que no hay aportes externos por sustancias de diferente naturaleza, ácida o alcalina, que puedan modificar el pH de las aguas (López Mosquera *et al.*, 2000).

Los valores medios de las concentraciones de los iones mayoritarios en las distintas unidades presentan los siguientes rangos: Cl<sup>-</sup> : 6 - 24 mg/L, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> : 2 - 84 mg/L, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> : 115 - 294 mg/L, Na<sup>+</sup> : 2 - 12 mg/L, Mg<sup>2+</sup> : 5 - 28 mg/L, Ca<sup>2+</sup> : 30 - 100 mg/L y K<sup>+</sup> < 3 mg/L.

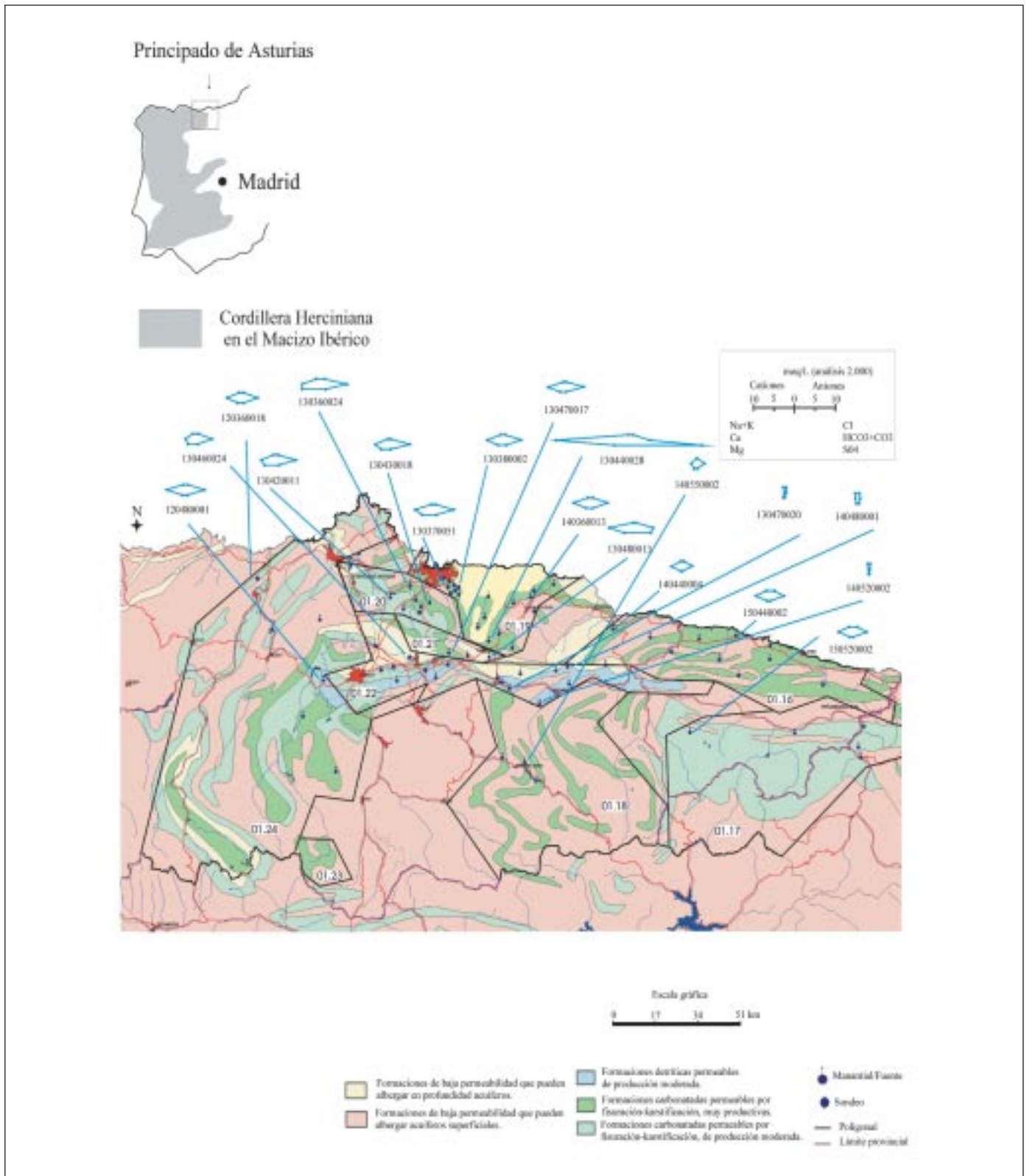


Fig. 2. Mapa hidrogeológico de Asturias (modificado de ITGE, 2000). Localización de puntos muestreados que integran la Red de Control de la Calidad del Agua Subterránea y diagramas de Stiff  
 Fig. 2. Hydrogeological map of Asturias (modified from ITGE, 2000). Location of the sampled points included in the Groundwater Quality Control Network and Stiff diagrams

LITOLOGÍA	UNIDAD	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )	Nº PUNTOS	NATURALEZA	USO
Calizas carboníferas/ precarboníferas	01.16	550,6	9	Manantial/ Sondeo	Abastecimiento/ sin uso/ fuente pública
	01.17	968,4	5		
	01.18	955,7	2		
	01.24	2010,05	7		
Calizas jurásica/ areniscas triásicas	01.19	303,7	20	Manantial/ Sondeo	Abastecimiento/ sin uso/ fuente pública/ ganadería/industria
	01.20	106,4	7		
	01.21	79,8	3		
Arenas y calizas cretácicas y terciarias/ cuarcitas ordovicicas	01.22	457,4	17	Manantial/ Sondeo	Abastecimiento industria/ fuente pública/sin uso

Tabla 1. Resumen de los puntos pertenecientes a la Red de Calidad de la Cuenca Norte II-Asturias  
 Table 1. Summary of the points included in the Quality Network of North Basis II-Asturias

Unidad Hidrogeológica	Facies	Mineralización	Dureza
01.16	Bicarbonatada cálcica	Ligera	Media
01.17	Bicarbonatada cálcica	Ligera	Blanda
01.18	Bicarbonatada calcico magnésica	Muy débil	Media
01.19	Bicarbonatada calcico magnésica	Notable	Media
01.20	Bicarbonatada calcico magnésica	Notable	Media
01.21	Bicarbonatada cálcica	Ligera	Media
01.22	Bicarbonatada cálcica	Ligera	Media
01.24	Bicarbonatada cálcica	Ligera	Media

Tabla 2. Caracterización hidroquímica de las unidades hidrogeológicas  
 Table 2. Hydrochemistry characterisation of hydrogeological units

A gran escala, la facies predominante es la bicarbonatada cálcica, que se asocia a los sedimentos calcáreos carboníferos y jurásicos, principalmente. Como facies secundaria aparece la bicarbonatada calcico-magnésica, también asociada a materiales carboníferos y jurásicos de naturaleza calcareo-dolomítica. La mineralización es ligera (conductividad con valores entre 201 y 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y la dureza media (valores entre 121 y 350 ppm  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) (IGME, 1988). Estas consideraciones están en la línea de las obtenidas en otras investigaciones hidrogeológicas lleva-

das a cabo anteriormente por el IGME (IGME, 1984 b; ITGE, 1993; ITGE-DGOHCA, 1999).

### Clasificación de las aguas

Las aguas se han agrupado en tres conjuntos principales, atendiendo a la litología de la surgencia o de la columna del sondeo. Un grupo engloba a las aguas asociadas a materiales calcáreos del Devónico, Carbonífero, Jurásico y Cretácico, que constituyen los

acuíferos más importantes, formados por todos los puntos de las unidades 01.16, 01.17, 01.18, 01.19, 01.20 (excepto el 1303.6.0024), 01.21 y 01.24 y un tercio de los puntos de la Unidad 01.22. Otro grupo lo constituyen las aguas asociadas a materiales cuarcíticos ordovícicos: son los puntos 1404.8.0001 y 1405.2.0002 de la Unidad 01.22. El último grupo, que incluye la mitad de los puntos de la Unidad 01.22 y el 1404.5.0012 en la Unidad 01.20, identifica las aguas asociadas a materiales detríticos (arenas cretácicas y terciarias y areniscas triásicas).

Los diferentes tipos de aguas procedentes de materiales calcáreos se han dividido en dos familias, separando las que presentan influencia de materiales evaporíticos (tres puntos en la Unidad 01.19 y un punto en la Unidad 01.21). En estos puntos las relaciones iónicas  $(HCO_3^- + CO_3^{2-})/Ca^{2+}$  y  $SO_4^{2-}/Ca^{2+}$  presentan un valor inferior en la primera y más elevado en la segunda. La familia 1 (con influencia evaporítica) presenta valores de conductividad superiores a 780  $\mu S/cm$ , mientras que en la familia 2 los valores están comprendidos entre 153 y 550  $\mu S/cm$ . En la tabla 3 se observa que los valores de las concentraciones de  $SO_4^{2-}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $Ca^{2+}$  son mayores en las aguas con influencia evaporítica que en las de la familia 2.

Como se aprecia en el diagrama de Piper (figura 3), las aguas correspondientes a la familia 2 presentan facies bicarbonatadas cálcicas o cálcico-magnésicas, asociadas, estas últimas, a materiales de naturaleza calcareo-dolomítica (Custodio y Llamas, 1975). La mineralización es ligera o notable, con predominio de esta última en las aguas que proceden de formaciones calcáreas jurásicas de las unidades 01.19, 01.20 y 01.21. La dureza es media.

Las aguas de la familia 1, procedentes de materiales calcáreos, con facies de influencia sulfatada, se localizan en el gráfico de Piper desplazadas del resto de las aguas (figura 3). La mineralización es notable y la dureza media y, en algunos casos, dura o muy dura.

En las aguas que han atravesado materiales cuarcíticos se analizaron concentraciones inferiores a 35 mg/L en los componentes aniónicos e inferiores a 10 mg/L en los catiónicos. Estas aguas tienen un contenido en sales muy bajo, lo que implica que de las representaciones gráficas y de las relaciones iónicas calculadas no se pueden obtener conclusiones claras sobre las especies iónicas mayoritarias, ni sobre el enriquecimiento preferencial en iones (Meléndez y Rebollar, 2001). Presentan mineralización muy débil y dureza muy blanda.

Las aguas asociadas a los materiales detríticos engloban sedimentos triásicos, cretácicos y terciarios. Estos sedimentos están formados por materiales

	FAMILIA 1	FAMILIA 2
Cl <sup>-</sup>	14 - 36	4 - 25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	155 - 824	0 - 65
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	258 - 312	121 - 268
Na <sup>+</sup>	7 - 16	2 - 18
Mg <sup>2+</sup>	30 - 50	2 - 30
Ca <sup>2+</sup>	117 - 366	4 - 95

Tabla 3. Comparación de los valores (mg/L) de las concentraciones de los iones mayoritarios en las dos familias de aguas procedentes de materiales calcáreos

Table 3. Comparison of main ions concentration values (mg/L) in the two water families proceeding from calcareous materials

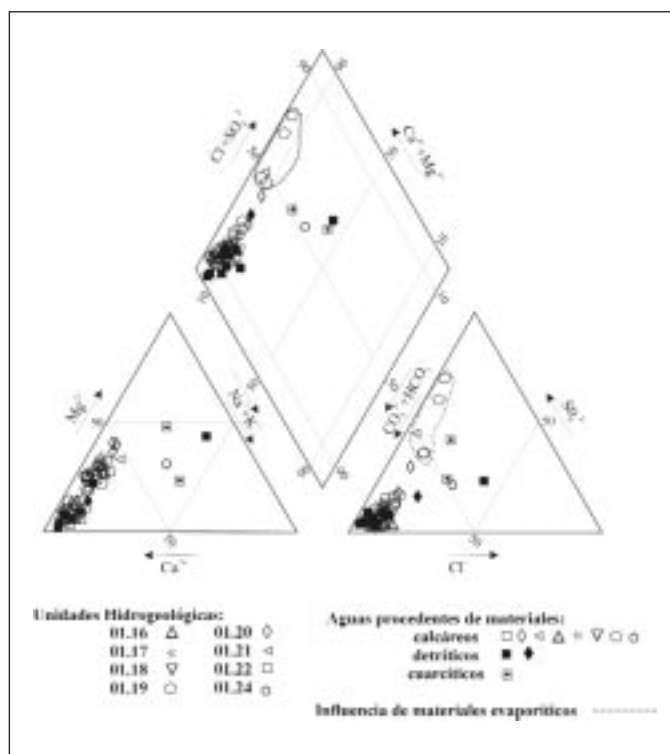


Fig. 3. Clasificación hidrogeoquímica de las aguas subterráneas usando el diagrama de Piper

Fig. 3. Hydrogeochemical classification of groundwater using Piper diagram

de distinta naturaleza y con gran variedad de facies. En líneas generales, presentan valores comprendidos entre 331 y 648 mS/cm para la conductividad; 7,1 y 7,8 para el pH; 175 y 348 mg/L para el HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y 47 y 122 mg/L para el Ca<sup>2+</sup>. Presentan facies bicarbonatada cálcica, con mineralización ligera y dureza media. En el diagrama de Piper de la figura 3 se distinguen claramente del resto al situarse en el sector donde no domina ninguna especie iónica.

Difiere de estas características la muestra tomada en el punto 1304.7.0020, incluido en la U.H. 01.22 (figura 2), con concentraciones iónicas sensiblemente inferiores, pH más ácido, mineralización *muy débil*, dureza *muy blanda* y unas relaciones iónicas distintas. De todo lo expuesto para este grupo, se aprecia que las aguas muestreadas proceden de un nivel acuífero constituido por arenas limpias y con unas características químicas parejas a las que proceden del grupo de los materiales cuarcíticos.

### Análisis de Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una herramienta de uso frecuente en estudios hidrogeocquímicos (Melloul y Collin, 1992). Se trata de un método estadístico que simplifica el tratamiento de un gran número de datos iniciales, generando nuevas variables (componentes) que están relacionadas con las variables originales y explican la mayor parte de la varianza de éstas (Ibáñez y Sanchís, 1983).

Los resultados del análisis estadístico realizado (figura 4) indican que con dos componentes se explica más del 98% de la varianza: el componente 1 explica el 72,8% de la varianza, y relaciona las variables concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y de  $\text{SO}_4^{2-}$ , siendo esta última la que más peso tiene sobre dicho componente, mientras que el componente 2 explica un 26,1% de la varianza, y se asocia predominantemente a la concentración del ión  $\text{HCO}_3^-$ , anión mayoritario de las aguas analizadas. Por otra parte, en la proyección de las variables sobre el plano definido por los componentes 1 y 2 se observa que el resto de variables ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y DQO) están situadas en el sector positivo de los dos ejes. Aunque la mayoría de las muestras tienen facies bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica, el hecho de que el componente 1 explique la mayor parte de la varianza indica que son los parámetros  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  los que presentan una mayor variación.

La mayor parte de las muestras se distribuyen paralelamente al eje del componente 2, indicando que el contenido en  $\text{SO}_4^{2-}$  apenas interviene en la distribución de la mayoría de los puntos. Destaca el mayor peso del componente 1 en las muestras de los puntos 1304.4.0028 y 1403.6.0013 de la Unidad 01.19 y la del punto 1304.8.0013 de la Unidad 01.21. El desplazamiento de las mismas hacia la derecha respecto al grupo mayoritario es reflejo de la disolución de los sedimentos evaporíticos contenidos en los materiales calcáreos jurásicos, perteneciendo todas ellas a la familia 1 dentro del grupo de las aguas procedentes de materiales calcáreos. En la parte inferior izquierda

de la distribución, que corresponde a una menor conductividad, se agrupan las muestras de los puntos 1304.7.0020, 1404.8.0001 y 1405.2.0002, de la Unidad 01.22, englobadas en las aguas procedentes de materiales detríticos, la primera, y cuarcíticos, las dos últimas. Por tanto, como se ha mencionado en el apartado de características hidroquímicas, el agua de la muestra del punto 1304.7.0020 tiene características químicas más próximas a las de procedencia cuarcítica que a las que proceden de materiales detríticos.

### Tendencia histórica

Para conocer la evolución del contenido iónico se utilizaron los datos históricos disponibles en la Base de Datos de Aguas del IGME, seleccionando cuatro puntos de agua con suficiente número de datos para este fin. Los gráficos de la figura 5 muestran los histogramas realizados para la concentración de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en los siguientes puntos: 1504.4.0002, unidad 01.16, cuya evolución es similar a la registrada en las unidades 01.17 y 01.18; 1304.4.0028, unidad 01.19, con el fin de observar la evolución de las aguas asociadas a materiales calcáreos con influencia de materiales evaporíticos; 1304.8.0013, unidad 01.21, representativo también de la unidad 01.20, y 1204.8.0001, unidad 01.24.

En líneas generales los contenidos iónicos son estables, resaltando el punto de la unidad 01.19 en el se aprecian notables variaciones en el tiempo, siendo relevante la disminución de  $\text{SO}_4^{2-}$  en los años 1992 y 1999, y recuperando posteriormente el valor medio característico de los mismos. Esto podría ser debido a una mayor dilución con agua de lluvia causada por períodos con pluviometría elevada.

En la Unidad 01.21 se aprecia un notable aumento de  $\text{SO}_4^{2-}$  en las campañas de otoño de los años 1993 y 1994. Esto se asocia a períodos de sequía muy acusada, que pudieron provocar el descenso del nivel piezométrico y la mayor concentración de estas especies procedentes de la disolución de yesos contenidos en la base de los materiales jurásicos.

### Calidad del agua para el consumo humano

El 93% de las aguas de los puntos muestreados que integran la red, de acuerdo con los valores obtenidos de los análisis químicos en el año 2000 y teniendo en cuenta la normativa española vigente (R.D. 140/2003, de 7 de febrero), son potables desde el punto de vista inorgánico.

En cuanto a especies nitrogenadas, la concentra-



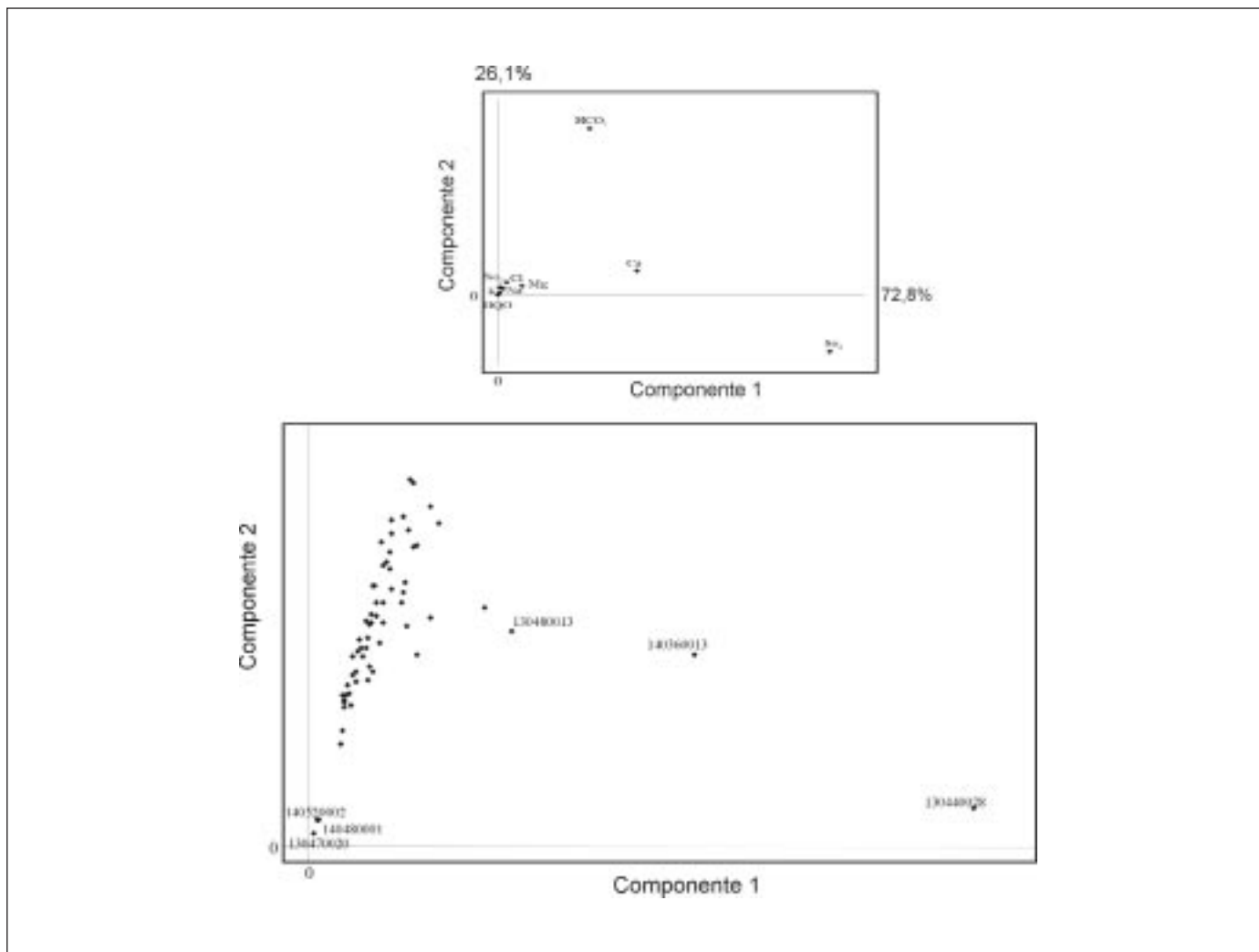


Fig. 4. Análisis de Componentes Principales (septiembre 2000)  
 Fig. 4. Principal Component Analysis (september 2000)

ción en nitratos es inferior o igual a 10 mg/L en casi el 90% de las muestras. Las unidades 01.19 y 01.22 presentan máximos de 41 mg/L (punto 1403.6.0004) y 33 mg/L (punto 1404.7.0005), respectivamente; este hecho está ligado a un aumento de la concentración en  $K^+$  (16 y 11 mg/L), lo que parece indicar una contaminación provocada por residuos ganaderos, bien por deficiencias en su almacenamiento o por riego abusivo con estas sustancias usadas como abono (Navarrete *et al.*, 1994).

Aparecen valores altos de nitritos de forma ocasional en las unidades 01.16 (0,33 y 0,31 mg/L) y 01.17 (0,35 mg/L). Para discernir la fuente de contaminación se debería realizar un estudio detallado de los entornos afectados. Dos puntos de la unidad 01.19 presentan valores extremos de sulfatos, a causa de la disolución de yesos contenidos en la base de la formación

calcárea jurásica; estos puntos son el 1304.4.0028 (824 mg/L en noviembre de 2000) y el 1403.6.0013 (432 mg/L en septiembre de 2000).

### Conclusiones

La Red de Control de la Calidad del Agua Subterránea en Asturias constaba en el año 2000 de 66 puntos, aproximadamente la mitad de ellos en las unidades 01.19 (25,7 %) y 01.22 (24,3 %), que ocupan el 13,7 % de la superficie total constituida por las nueve unidades definidas en la provincia. Cerca del 80 % son manantiales, y el resto sondeos. El uso, en la mitad de los puntos, va destinado al abastecimiento urbano y al abastecimiento a núcleos aislados. Las litologías a las que están asociados son: materiales calcáreos,

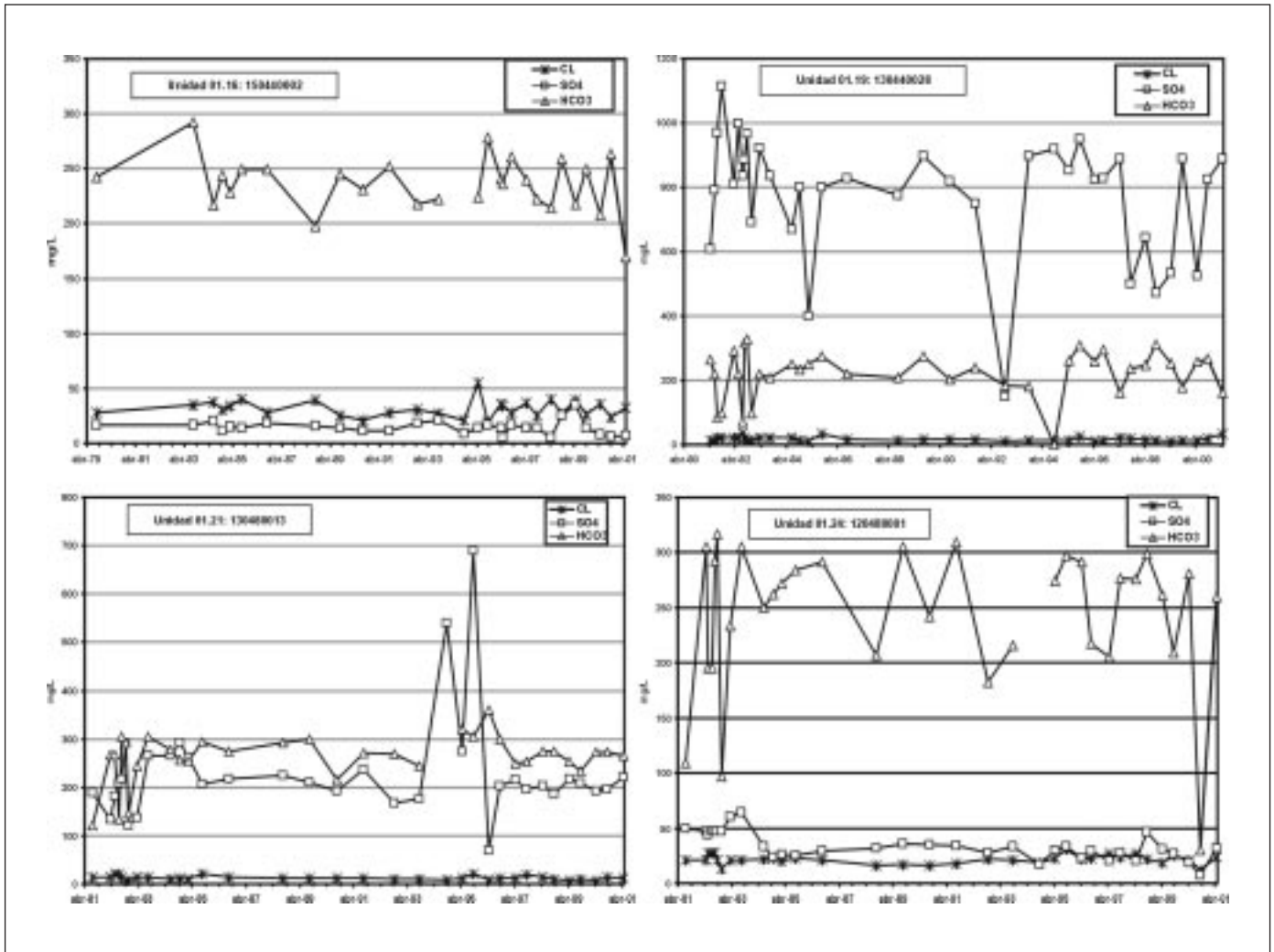


Fig. 5. Evolución de la composición química de las aguas de distintas unidades hidrogeológicas  
 Fig. 5. Evolution of chemical composition of groundwater from different hydrogeological units

el 82 %, predominando las formaciones jurásicas y carboníferas; materiales detríticos (triásicos, cretácicos y terciarios), el 15 %, y materiales cuarcíticos cambrico-ordovícicos, el 3 %.

Mediante la combinación de técnicas estadísticas (ACP) e hidrogeoquímicas (cálculo de los parámetros A-F, relaciones iónicas y diagramas de Piper y Stiff) se ha facilitado la agrupación de las aguas en tres conjuntos, según su procedencia: las que proceden de materiales calcáreos, subdivididas en dos familias, separando las que presentan influencia de materiales evaporíticos contenidos en la base de las calizas liásicas; las que proceden de materiales detríticos, y las que circulan a través de materiales cuarcíticos. En este último grupo se podría incluir el agua de un punto asociado a materiales detríticos (surge en arenas cretácicas), cuyas características se asemejan a

las que proceden de materiales cuarcíticos. Mayoritariamente se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas o cálcico-magnésicas, con bajos contenidos salinos y poco duras. Las más mineralizadas son las de las unidades 01.19 y 01.20, como consecuencia de la influencia de materiales evaporíticos. Se distinguen, además, aguas que han circulado a través de terrenos dolomíticos.

La calidad para el consumo humano es buena, en general. No se han detectado problemas de contaminación urbana, industrial o agropecuaria. Tres puntos (unidades 01.16 y 01.17), con carácter puntual y de forma esporádica, superan las concentraciones máximas admitidas en nitritos. Se analizaron concentraciones en sulfatos, superando los límites reglamentarios en dos puntos de la unidad 01.19 relacionados con la presencia de yesos.

Debido a la influencia en el quimismo de las aguas subterráneas de la abundancia o ausencia de precipitación en los períodos precedentes a la toma de muestra, se considera muy interesante añadir a las medidas de temperatura, pH y conductividad, que se realizan habitualmente "in situ", algunos datos sobre la pluviometría en el entorno del punto en los 6-12 meses anteriores a la toma de muestra y la medida o estimación del caudal del punto. De este modo se podrá disponer así de un registro histórico útil tanto para la explicación de las posibles anomalías estacionales en los parámetros hidrogeoquímicos de las aguas analizadas como para otras investigaciones hidrogeológicas.

## Referencias

- Bastida, F. y Aller, J. 1995. Rasgos geológicos generales. En: *Geología de Asturias*. (Aramburu, C. y Bastida, F., eds). Ediciones Trea, S.L. Gijón: pp 27-33.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. 1975. *Hidrología Subterránea*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.
- DGOH-IGME 1988. *Estudio de delimitación de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e Islas Baleares, y síntesis de sus características*. Informe 2505 Servicio Geológico. Madrid.
- DGOH 1990. *Unidades hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares. Síntesis de sus características y mapa a escala 1:1.000.000*. Informaciones y Estudios nº 52. MOPU. 32 pp.
- Gallastegui, J. 2000. Estructura cortical de la cordillera y margen continental cantábricos: perfiles ESCI-N. *Trabajos de Geología*, 22, pp. 9-234. Universidad de Oviedo.
- Ibáñez, V. y Sanchís, E. 1983. Utilización de modelos estadísticos multivariados en Hidrogeoquímica. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, 9, pp. 263-275. Madrid.
- IGME 1984 a. *Investigación hidrogeológica de la Cuenca Norte: Asturias*. Colección Informe. IGME. Madrid. 81 pp.
- IGME 1984 b. *Calidad de las aguas subterráneas en la Cuenca Norte (Asturias)*. Colección Informe. IGME. Madrid. 53 pp.
- IGME 1988. *Normativa referente a la calidad de las aguas para abastecimiento urbano, de bebida envasada, agricultura e industria*. Documento inédito. IGME. Madrid.
- ITGE 1993. *Estudio hidrogeológico para la regulación y gestión del Sistema Acuífero Jurásico Gijón-Villaviciosa*. Documento inédito. IGME. Madrid.
- ITGE 1997. *Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas en España, período 1982-1993. Cuenca del Norte*. IGME. Madrid. 203 pp.
- ITGE-DGOHCA. 1999. *Estudio hidrogeológico de la Unidad 01.16 Llanes-Ribadesella*. Documento inédito. IGME. Madrid.
- ITGE 2000. *Unidades hidrogeológicas de España. Mapa y datos básicos*. IGME. Madrid. 34 pp.
- Julivert, M. 1971. Décollement tectonic in the Hercynian Cordillera of NW Spain. *American Journal Science*, 270, pp. 1-29.
- Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A. y Conde, I. 1972. *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. IGME, Madrid, 113 pp.
- López Mosquera, M.B., Paz, A., Dafonte, J. y Neira, X. 2000. Variabilidad espacial y temporal de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en Terra Chá (Lugo). *Jornadas hispano-lusas sobre las aguas subterráneas en el noroeste de la Península Ibérica*, pp. 317-319. A Coruña.
- Lotze, F. 1945. *Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta*. Geotekt. Forsch., nº 6, Berlín. (Trad. en Publ. Extr. Geol. Esp., t. 5, Madrid, 1.950).
- Meléndez, M. y Rebollar, A. 2001. Características hidrogeoquímicas de la Unidad Hidrogeológica 01.16 Llanes-Ribadesella. *VII Simposio de Hidrogeología*. Murcia. Tomo XXIV, pp. 647-658.
- Melloul, A. y Collin, M. 1992. The "principal components" statistical method as a complementary approach to geochemical methods in water quality factor identification. Application to the Coastal Plain aquifer of Israel. *Hydrogeology Journal*, nº 140, pp. 49-73.
- Navarrete, P., Virgós, L.I., Martín, G., Arenas, M. y Molina, A. 1994. Vulnerabilidad de los acuíferos de Asturias y Cantabria a la contaminación por actividades agropecuarias. *Congreso sobre "Análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas"*, pp. 439-453. A.I.H.-G.E. Alcalá de Henares (Madrid).
- Ortuño, A. 2001. *La Red de Control de la Calidad del agua subterránea en Asturias (Cuenca Norte-II)*. Documento inédito IGME. Madrid.
- Valenzuela, M. 1988. *Estratigrafía, sedimentología y paleogeografía del Jurásico de Asturias*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Oviedo.

Recibido: Junio 2003

Aceptado: Diciembre 2003