

8. CONTROL DE VIGILANCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

8.1 INTRODUCCIÓN

La DMA en su art. 5 establece la obligatoriedad de velar por el «*establecimiento de programas de seguimiento del estado de las aguas con objeto de obtener una visión general coherente y completa de las aguas en cada demarcación hidrográfica*», indicando que en el caso de las aguas subterráneas, «*los programas incluirán el seguimiento del estado químico y cuantitativo*». En este sentido el Área de Calidad de las Aguas opera, desde el año 1995, una red de control de puntos de agua subterránea, cuyo objeto es comprobar que estas masas mantienen sus condiciones físico-químicas naturales en relación a unas determinadas condiciones de referencia, en toda la Demarcación del Ebro.

Estas condiciones de referencia han de establecerse a partir de los datos pertenecientes a aquellos puntos donde la masa de agua no está sometida a presiones de tipo antropogénico, o éstas son de muy escasa importancia, y por tanto representan el quimismo natural del agua.

Hasta el momento, los objetivos del Área de Calidad han sido recabar el suficiente número y calidad de datos al objeto de obtener suficiente información que permita acometer el establecimiento de dichas condiciones de referencia.

En el año 2003, en un trabajo realizado por la Oficina de Planificación Hidrológica denominado «*Caracterización hidroquímica de las aguas de la cuenca del Ebro*» se realizó un primer intento de caracterización físico-química de las aguas subterráneas de la cuenca, con la información previa disponible proveniente de una diversidad de fuentes importante y con un gran número de puntos de agua subterránea. En dicho trabajo se realizó una exhaustiva depuración de los datos analíticos, que permitió establecer un quimismo general en relación a un ámbito hidrogeológico espacial muy amplio, como son los Dominios Hidrogeológicos de la Cuenca del Ebro.

En la actualidad se pretende partir de dicho trabajo, que aporta unas condiciones de referencia muy generales dada la gran cantidad de territorio que implica cada uno de los dominios hidrogeológicos. No obstante, con estos datos, se realizará una primera evaluación sobre el quimismo de las aguas subterráneas, si bien resta todavía un importante trabajo a realizar en los próximos años consistente en el establecimiento de las condiciones de referencia para cada una de las masas de agua (incluso acuíferos en su interior) que permitirán conocer, a través de los puntos de control de esta red, el estado «natural» de las masas de agua subterránea.

8.2 METODOLOGÍA. INFORMACIÓN PREVIA Y CONDICIONES DE REFERENCIA

Como ya se ha indicado anteriormente, la información previa disponible fue elaborada en el año 2003 por la Oficina de Planificación Hidrológica. Se dispone de un total de 8.786 analíticas, correspondientes a 2.154 puntos de inventario, distribuidos por toda la cuenca del Ebro.

Los principales resultados obtenidos en aquel informe fueron los siguientes:

La caracterización se realiza a partir de 6.052 análisis químicos depurados que aportan información de 2.146 puntos relacionados con la cuenca del Ebro.

El 34 % de **los puntos de agua** se encuentran en el Dominio 4 (Depresión del Ebro). Los Dominios 1 (Vasco-Cantábrico), 6 (Central Ibérico) y 8 (Maestrazgo-Catalánides) presentan cada uno de ellos entre el 10 y el 13 % del total de puntos de agua. El Dominio 5 (Demanda-Cameros) es el que menor porcentaje presenta (4,71 %). El 3,45 % de los puntos de agua se sitúa fuera de los límites de la cuenca del Ebro. Existe una buena correlación entre número de puntos de agua contenidos en cada dominio con el número de análisis químicos realizado en cada uno de ellos.

El 73 % de los puntos de agua con información hidroquímica (1.560 puntos) se encuentra dentro de las unidades hidrogeológicas (actuales masas de agua) definidas en la cuenca del Ebro. Dentro de estas unidades se encuentran el 81 % de los análisis químicos disponibles (4.920 análisis). El máximo número de puntos corresponde a la masa de agua 058 (aluvial del Ebro-Zaragoza) con 206 puntos de agua (651 análisis químicos).

La densidad media es de un punto cada 15 km² y la densidad mediana es de un punto cada 26 km². El valor máximo se da en la masa 045 (aluvial del Oja) con un punto cada 2,1 km². Analizando el número de análisis por km² se tiene un valor máximo en el aluvial del Zidacos con 2,2 análisis/km².

La asignación de las litologías captadas por cada uno de los puntos de agua permite concluir de forma preliminar, y aceptando las hipótesis de asignación de litologías empleadas, que el 63,2 % de los puntos de agua aporta información de litologías detríticas (35,1 % son detríticas gruesas, 26,9 % son finas y el 1,2 % restante es de facies detríticas sin asignar a ninguno de los dos tipos anteriores). El 26,9 % de los puntos de agua se encuentran en litologías carbonatadas, el 4,6 % se ha asignado a litologías del tipo «terciario mixto del centro de cuenca», que son litofacies margo-detríticas con presencia de yesos y sales características del centro de la cuenca del Ebro. El 2,4 % del tipo evaporítico, el 2,1 % del tipo silíceo, el 0,6 % del tipo intrusivo y el 2 % metamórficas.

El número de análisis promedio por punto de agua es de 2,82 con un máximo de 49 análisis en el punto 2509-7-0103 (Redomada). El 55 % de los análisis químicos presentan únicamente un análisis químico y el 90 % de los puntos tiene menos de ocho análisis.

La procedencia de la mayor parte de los análisis es el IGME con el 52 % de los análisis, seguida de los datos procedentes del Área de Calidad con el 25 % de los datos.

Los datos procedentes de las comunidades autónomas comprenden el 7,5 % y las instituciones universitarias el 3,9 %. Los primeros análisis son de 1967 y los últimos análisis de la consulta realizada son del 2002. Los datos del IGME aportan mayor información entre 1981 y 1995. A partir de 1995 el Área de Calidad de la CHE comienza a aportar datos hidroquímicos en una cantidad que está creciendo progresivamente cada año. El número medio de análisis por año es 168, con años con ningún análisis (1972) y años con 673 análisis (2000).

El error medio del balance para los 6.052 análisis químicos es $-0,18\%$ y la mediana es $0,05\%$. El 90% de los análisis considerados se encuentran dentro del rango comprendido entre -6 y 6% .

El TSD medio de todos los análisis es 1.612 mg/l y la mediana es 644 mg/l con un valor máximo de salinidad medida de 153.736 mg/l que corresponde al punto 2916-8-0013 (pozo 50) situado en las proximidades de una laguna salada de los Monegros que sufre un proceso de disolución de yesos y halitas y una posterior evaporación.

Las mayores salinidades se registran en el dominio de la Depresión del Ebro (media de 3.186 mg/l y mediana de 1.248 mg/l). Los dominios menos salinos son los más montañosos, con mayores precipitaciones y mayor lavado de los acuíferos. Son los dominios del Sinclinal de Tremp y de Jaca-Pamplona, con unas salinidades medianas de 377 y 367 mg/l , respectivamente. El dominio de la Demanda-Cameros presenta valores de salinidad en el rango de salinidades bajas comparables con los dos dominios menos salinos. Sin embargo, en salinidades altas presenta valores bastante elevados, hecho que indica descargas de agua especialmente enriquecidas en sales en comparación con otros dominios debido a la existencia de flujos de largo recorrido y al contacto de sus aguas con litologías con elevados contenidos en yesos.

Las muestras más salinas se encuentran en los puntos de agua asignados a las litologías del «terciario mixto centro cuenca» (media de 12.331 mg/l y mediana de 6.350 mg/l). La litología evaporítica también proporciona salinidades elevadas (media de 2.564 mg/l y mediana de 819 mg/l). Las aguas menos salinas corresponden con las litologías silíceas (media de 264 mg/l y mediana de 201 mg/l). Finalmente, las aguas carbonatadas (media de 879 mg/l y mediana de 477 mg/l), detrítica gruesa (media de 1.192 mg/l y mediana de 887 mg/l) y detrítica fina (media de 890 mg/l y mediana de 594 mg/l).

Los valores de menor salinidad se localizan en las áreas montañosas periféricas. La correlación entre cota del terreno del punto de agua y salinidad indica que a mayor cota la salinidad es menor. Este hecho se observa con más claridad en los dominios de Demanda-Cameros, sinclinal de Tremp y especialmente en el dominio del sinclinal de Jaca-Pamplona. En puntos situados a cotas mayores de 1.100 msnm no caben esperar salinidades mayores que 500 mg/l .

La mayor parte de las muestras (más del 70 %) tienen un carácter bicarbonatado cálcico con presencia de una cierta cantidad de sulfato, magnesio y calcio. Existe una **evolución del tipo de carácter químico con la salinidad** de esta manera:

- Las aguas con un TSD menor de 500 mg/l son básicamente bicarbonatadas cálcicas.

- Las aguas con un TSD entre 500 y 1.000 mg/l presentan un contenido aniónico que puede ser bicarbonatado, sulfatado, clorurado o mixto. El contenido catiónico es cálcico en la mayor parte de los casos y en algún caso magnésico-cálcico.
- Las aguas con un TSD entre 1.000 y 1.500 mg/l aumentan el contenido en sulfato y cloruro, perdiendo ya el carácter bicarbonatado y pudiendo ser sulfatadas, cloruradas y mixtas. El contenido catiónico continúa siendo cálcico y en muchos casos de tipo mixto.
- Las aguas con un TSD entre 1.500 y 5.000 mg/l presentan un carácter sulfatado (especialmente las que presentan una salinidad mayor de 2.000 mg/l) aunque algunas de ellas mantienen el carácter clorurado. Con respecto a los cationes las aguas aumentan el contenido en sodio y magnesio, presentando un carácter sódico, mixto o magnésico.
- Las aguas con un TSD entre 5.000 y 25.000 mg/l van aumentando progresivamente el contenido en cloruro y sodio presentando un carácter sulfatado o clorurado y magnésico, mixto o sódico.
- Las aguas con un TSD mayor de 25.000 mg/l se dirigen hacia un extremo sulfatado-clorurado o clorurado y el contenido catiónico hacia un carácter magnésico sódico o sódico.

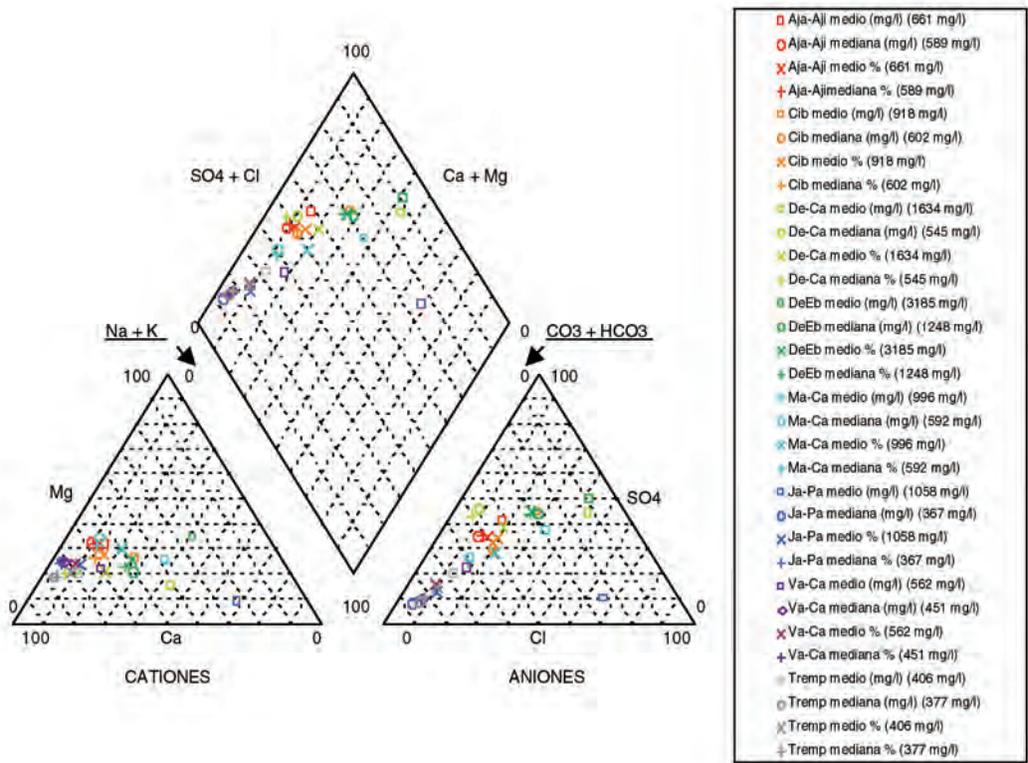
De los 2.146 puntos de agua, 1.034 contienen aguas carbonatadas, 596 son mixtas, 417 son sulfatadas y 99 son cloruradas. La composición clorurada está ligada principalmente a procesos de intrusión marina en el Delta del Ebro y a disolución de evaporitas. La composición mixta se localiza en el sector central del valle del Ebro, tramos medios de los ríos Martín y Guadalope y Alto Jiloca. La composición catiónica presenta una dominancia de aguas cálcicas con 1.453 puntos de agua, 55 de composición mixta, 109 sódicas y 79 magnésicas.

En general puede decirse que existe una **evolución del contenido químico de la composición mediana** de las aguas en función de la litología de la que aportan información. De esta manera, las aguas de litologías silíceas son aguas bicarbonatadas con un contenido de bicarbonatos entre el 70 y 80 %. Este contenido de bicarbonatos va disminuyendo en las aguas de litologías carbonatadas (entre 60 y 85 %), detríticas finas (entre 50 y 60 %), detríticas gruesas (40 % de bicarbonato y 40 % de sulfato), evaporíticas (ya con un carácter sulfatado, entre 50 y 60 %, bicarbonatado, entre el 30 y 40 %), y las procedentes del terciario mixto de la cuenca del Ebro, que son las más salinas con un carácter sulfatado (70 %) clorurado (30 %). La composición catiónica presenta menor variabilidad que la aniónica. Todas ellas son cálcicas (entre el 50 y 70 %) magnésico (entre el 20 y 35 %) excepto las del terciario mixto con un carácter mixto.

La composición química mediana de cada dominio hidrogeológico (figura 8.1) permite concluir que existe una evolución del carácter químico. Las aguas de los dominios Vasco-Cantábrico, Jaca-Pamplona y Sinclinal de Tremp son muy bicarbonatadas (entre 75 y 90 %). Las aguas de los dominios de Maestrazgo-Catalánides, Central Ibérico y Alto Jalón-Alto Jiloca son bicarbonatadas (entre el 45 y 60 %) sulfatadas. Las aguas del dominio de Demanda-Cameros son bicarbonatadas (entre el 40 y 50 %) sulfatadas (entre el 35

y 45 %). El dominio de la depresión del Ebro presenta un carácter sulfatado (40 %) bicarbonatado (30 %) clorurado (30 %). Con respecto al contenido catiónico los dominios más montañosos (Vasco-Cantábrico, Jaca-Pamplona, Tremp y Demanda-Cameros) son cálcicos (entre el 65 y 80 %), los dominios de la Ibérica (Alto Jalón-Alto Jiloca, Maestrazgo-Catalánides y Central Ibérico) son cálcicos (entre el 50 y 60%) con algo de magnesio (entre el 25 y 30 %) y finalmente el dominio de la Depresión del Ebro es cálcico (entre el 45 y 55 %), magnésico (entre el 20 y 25 %) y sódico (entre el 25 y 30 %).

FIGURA 8.1. DIAGRAMA DE PIPER DE LOS ANÁLISIS MEDIOS SEGÚN EL DOMINIO HIDROGEOLÓGICO DEL QUE APORTAN INFORMACIÓN. AJA-AJ: ALTO JALÓN-ALTO JILOCA; CIB: CENTRAL IBÉRICO; DE-CA: DEMANDA CÁMEROS; DEEB: DEPRESIÓN DEL EBRO; MA-CA: MAESTRAZGO-CATALÁNIDES; JA-PA: JACA-PAMPLONA; VA-CA:VASCO-CANTÁBRICO; TREMP: SINCLINAL DEL TREMP



El contenido en cloruro (media de 328 mg/l y mediana de 41 mg/l) presenta una tendencia al incremento con el aumento de salinidad. Esta tendencia se observa de forma similar en el **contenido de sodio** (media de 212 mg/l y mediana de 22 mg/l). De hecho, se ha confirmado que existe una buena correlación entre rCl/rNa con un valor de la pendiente próxima a 1. Este hecho indica que el origen de ambos iones es común (probablemente de la disolución en halita). Además, el hecho de que no se llegue a valores estables de ninguno de los dos iones con el aumento de la salinidad indica que no se llega a alcanzar la saturación en las sales que proporcionan estos iones en las aguas muestreadas. Este hecho es confirmado con la evolución del índice de saturación de la halita (rango entre -11,4 y 1,01, media de -7,8 y mediana de -7,65) que no presenta valores de saturación en ninguna muestra de agua.

El contenido en sulfato (media de 531 mg/l y mediana de 116 mg/l) presenta una tendencia al incremento con el aumento de salinidad del agua, especialmente a partir de valores de salinidad mayores de 500 mg/l. Existe una adecuada correlación del sulfato con el magnesio (media de 93 mg/l y mediana de 29 mg/l) a partir de un determinado contenido de ambos iones (aproximadamente 40 meq/l). La principal fuente de sulfato de las aguas subterráneas de la cuenca del Ebro procede de la disolución de yesos. Este hecho queda claramente de manifiesto en la evolución del índice de saturación de este mineral con el TSD. El rango del índice de saturación del yeso es de -5,1 y 0,6, con un valor medio y mediana de -1,50. A partir de salinidades en torno a 2.000 mg/l se llega al equilibrio en este mineral.

El contenido en bicarbonato (media de 249 mg/l y mediana de 246 mg/l) presenta una evolución claramente diferenciada con la salinidad en comparación con la evolución observada con el cloruro y sulfato. Hasta salinidades de 600 mg/l la distribución de los valores máximos de bicarbonato se ajustan de forma excelente a la de una solución de tipo bicarbonatada cálcica, indicando que las aguas a estas salinidades se encuentran condicionadas por la disolución de especies bicarbonatadas cálcicas y magnésicas. A partir de una salinidad de 600 mg/l empiezan a entrar en juego otras reacciones químicas en las que no entran las especies bicarbonatadas y que son las que proporcionan salinidad a las aguas. El contenido de bicarbonatos presenta un límite máximo que viene dado por el índice de saturación de las especies carbonatadas (principalmente calcita, dolomita y en algunas áreas magnesita). Este hecho se pone de manifiesto por el índice de saturación de estos minerales, en los que se ve que en aguas con salinidades menores de 200 a 300 mg/l las aguas no se encuentran saturadas en estos minerales, pero que a salinidades mayores se encuentran saturadas o ligeramente sobresaturadas.

No se ha observado una evolución de los nitratos con la salinidad dado su origen principal por contaminación humana. Tampoco se ha detectado una evolución del contenido en potasio con la salinidad.

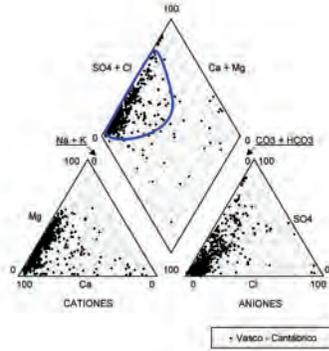
El análisis de la relación rCa/rMg pone de manifiesto la existencia de un punto de inflexión de dicha relación a partir de contenidos de calcio de 20 meq/l observándose la existencia de un aumento en el contenido de magnesio con respecto al contenido en calcio.

A partir de todos estos datos, se obtiene, para cada dominio, un quimismo de las aguas que puede representarse mediante diagramas de Piper (figura 8.2) y que constituyen las condiciones de referencia frente a las que se van a comparar los datos de la RBAS y de las redes de vigilancia de aquellas comunidades autónomas que disponen de ellas, correspondientes a los últimos muestreos realizados entre los años 2006 a 2008.

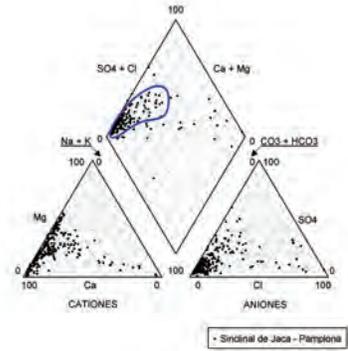
En los próximos años se pretende crear una red de control de las condiciones de referencia a partir de esta información previa, que incorporará una buena parte de la red de control de vigilancia, de tal manera que se permita evaluar la existencia de tendencias de evolución por causas naturales del quimismo de las aguas subterráneas, así como obtener la suficiente información para mejorar la definición de estas condiciones.

FIGURA 8.2. REPRESENTACIÓN DEL QUIMISMO DE LOS PUNTOS POR DOMINIOS

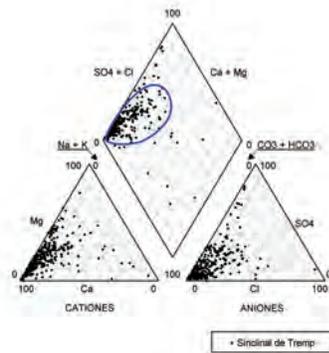
1. VASCO-CANTÁBRICO



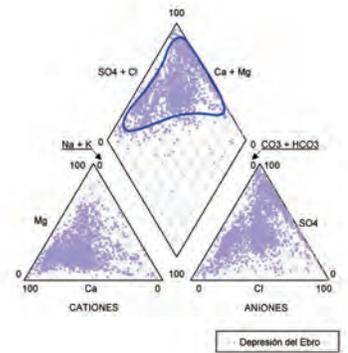
2. SINCLINAL DE JACA-PAMPLONA



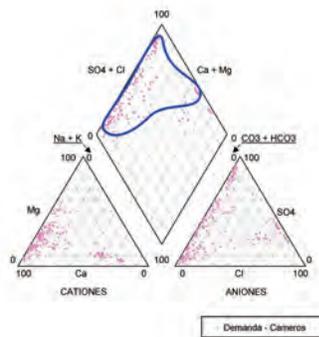
3. SINCLINAL DE TREMP



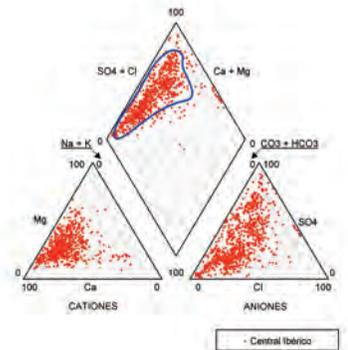
4. DEPRESIÓN DEL EBRO



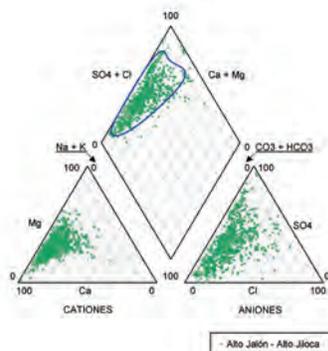
5. DEMANDA-CAMEROS



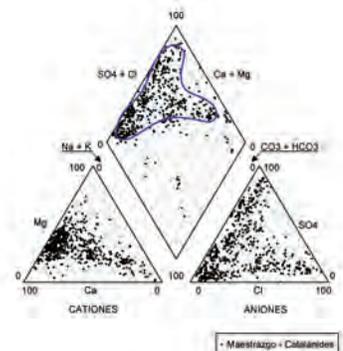
6. CENTRAL IBÉRICO



7. ALTO JALÓN-JILOCA



8. MAESTRAZGO CATALÁNIDES



8.3 DEFINICIÓN DE LA RED DE CONTROL DE VIGILANCIA

8.3.1 PUNTOS DE AGUA

La red de control de vigilancia de la calidad química general de las aguas subterráneas

de la cuenca del Ebro se definió inicialmente en el año 1995, con un total de 84 puntos, sufriendo sucesivas ampliaciones hasta alcanzar la cifra actual de 337 puntos de agua.

La selección de puntos fue realizada en función de la tipología de las diferentes masas de agua y acuíferos, de tal manera que como tipología, dentro de esta red se incluyen los siguientes puntos:

- Principales drenajes de las masas de agua subterránea, entendiendo como tales las mayores surgencias o manantiales, en el sentido de que afecten a la mayor parte del acuífero que drenan (surgencias localizadas).
- Principales zonas húmedas de la cuenca cuyo origen es íntegramente de aguas subterráneas (surgencias difusas).
- Principales extracciones del acuífero en cuestión: Se refiere a los pozos que extraen los mayores caudales y volúmenes en cada acuífero, bien sea para abastecimiento, uso industrial o agrícola.

Lógicamente, algunos de estos puntos comparten características, ya que algunos grandes manantiales están captados como abastecimientos de poblaciones, así como los puntos donde se realizan las mayores extracciones del acuífero.

La distribución de los puntos en relación a las masas de agua subterránea puede observarse en la tabla siguiente, así como en el mapa 8-1.

TABLA 8.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DEL PROGRAMA DE CONTROL DE VIGILANCIA DE LA CHE (RBAS) POR MASA DE AGUA

Masa de agua	Nº PUNTOS	Masa de agua	Nº PUNTOS
001 Fontibre	2	055 Hoya de Huesca	3
002 Páramo de Sedano y Lora	3	057 Aluvial del Gállego	3
005 Montes Obarenes	2	058 Aluvial del Ebro: Zaragoza	4
006 Pancorbo-Conchas de Haro	2	060 Aluvial del Cinca	4
007 Valderejo-Sobrón	4	061 Aluvial del Bajo Segre	3
008 Sinclinal de Treviño	4	063 Aluvial de Urgell	3
009 Aluvial de Miranda de Ebro	1	064 Calizas de Tárrega	5
010 Calizas de Losa	2	065 Pradoluengo-Anguiano	6
011 Calizas de Subijana	1	066 Fitero-Arnedillo	2
012 Aluvial de Vitoria	2	067 Detritico de Arnedo	1
014 Gorbea	1	068 Mansilla-Neila	2
016 Sierra de Aizkorri	2	069 Cameros	1
017 Sierra de Urbasa	3	070 Añavieja-Valdegutur	3
018 Sierra de Andía	4	071 Araviano-Vozmediano	3
019 Sierra de Aralar	2	072 Somontano del Moncayo	15
020 Basaburúa-Ulzama	2	073 Borobia-Aranda de Moncayo	1
022 Sierra de Cantabria	4	074 Sierras Paleozicas de La Virgen y Vicort	1
023 Sierra de Lóquiz	4	075 Campo de Cariñena	1
024 Bureba	1	076 Pliocuatenario de Alfamén	3
025 Alto Arga-Alto Irati	4	078 Manubles-Ribota	2
027 Ezcaurre-Peña Telera	6	079 Campo de Belchite	6
029 Sierra de Alaiz	2	080 Cubeta de Azuara	1
030 Sinclinal de Jaca-Pamplona	1	081 Aluvial Jalón-Jiloca	3
031 Sierra de Leyre	7	082 Huerva-Perejiles	2
032 Sierra Tendeñera-Monte Perdido	5	084 Oriche-Anadón	3
033 Santo Domingo-Guara	7	085 Sierra de Miñana	2
034 Macizo Axial Pirenaico	4	086 Páramos del Alto Jalón	16
036 La Cerdanya	3	087 Gallocanta	6
037 Cotiella-Turbón	5	088 Monreal-Calamocha	4
038 Tremp-Isona	9	089 Cella-Ojos de Monreal	4
039 Cadi-Port del Comte	1	090 Pozondón	1
040 Sinclinal de Graus	1	091 Cubeta de Oliete	5
041 Litera Alta	9	092 Aliaga-Calanda	17
042 Sierras Marginales Catalanas	7	093 Alto Guadalope	1
043 Aluvial del Oca	1	094 Pitarque	5
044 Aluvial del Tirón	1	095 Alto Maestrazgo	8
045 Aluvial del Oja	2	096 Puertos de Beceite	7
047 Aluvial del Najerilla-Ebro	1	097 Fosa de Mora	10
048 Aluvial de La Rioja-Mendavia	3	098 Priorato	4
049 Aluvial del Ebro-Aragón: Lodosa-Tudela	6	099 Puertos de Tortosa	1
050 Aluvial del Arga Medio	2	100 Boix-Cardó	2
051 Aluvial del Zidacos	1	101 Aluvial de Tortosa	1
052 Aluvial del Ebro:Tudela-Alagón	1	105 Delta del Ebro	2
053 Arbas	4	Sin definir masa	21

En relación con las comunidades autónomas, se cuenta con datos pertenecientes a las redes de vigilancia respectivas de las comunidades de Cataluña, Navarra y País Vasco. Las principales características de estas redes se observan en la tabla siguiente, en cuanto a número de puntos, etc.

TABLA 8.2. NÚMERO DE PUNTOS DE LA RED DE VIGILANCIA DE LAS CCAA

CCAA	Nº PUNTOS	Coincidentes CHE
Cataluña	123	15
Navarra	91	17
País Vasco	25	10

8.3.2 TOMA DE MUESTRAS Y PARÁMETROS ANALIZADOS

Por lo que respecta a la RBAS, durante los años 2006, 2007 y 2008 se han realizado sucesivos muestreos, de tal manera que en 2006 se realizaron 305 analíticas, en el 2007, 69 analíticas sobre 50 puntos y en 2008, 10 analíticas sobre sendos puntos.

Por lo que se refiere a los parámetros analizados, en la tabla 8.3, se recoge la relación de todos ellos agrupados según afinidades químicas y físicas.

TABLA 8.3. PARÁMETROS ANALIZADOS EN LA RBAS (CONTROL DE VIGILANCIA)

Parámetros físico-químicos	Cationes	Aniones
pH	Amonio total (mg/l NH ₄)	Nitritos (mg/l NO ₂)
Temperatura del agua (°C)	Calcio (mg/l Ca)	Cloruros (mg/l Cl)
Potencial redox (mV)	Magnesio (mg/l Mg)	Sulfatos (mg/l SO ₄)
Conductividad a 20 °C (µS/cm)	Sodio (mg/l Na)	Nitratos (mg/l NO ₃)
Oxígeno disuelto (mg/l O ₂)	Potasio (mg/l K)	Carbonatos (mg/l CaCO ₃)
Oxígeno disuelto (% sat)		Bicarbonatos (mg/l CaCO ₃)
CO ₂ libre (mg/l)		
DOO (mg/l O ₂)		
DBO5 (mg/l O ₂)		
Alcalinidad (mg/l CO ₃ Ca)		
Silice (mg/l SiO ₂)		

Puntualmente se han analizado otra serie de parámetros como metales, al objeto de realizar barridos ocasionales que no se van a comentar en este informe.

Por lo que respecta a las tres comunidades autónomas que operan redes de vigilancia de carácter básico, las analíticas disponibles se recogen en la tabla 8.4.

TABLA 8.4. ANALÍTICAS EXISTENTES EN LAS REDES DE VIGILANCIA DE LAS CCAA

CCAA	2006	2007	2008
Cataluña	93	99	227
Navarra	272	287	289
País Vasco	203	144	157

8.3.3 ORIGEN DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA

En relación con los puntos de la RBAS, los resultados analíticos con los que se ha elaborado la información se han generado tanto por el laboratorio de la CHE como a partir de una asistencia técnica contratada para el muestreo y análisis de aguas subterráneas adjudicado a la empresa TECNOMA, en el año 2005.

Los datos analíticos de este laboratorio han sido validados por el Laboratorio de la CHE a través de una aplicación informática que permite establecer la bondad del análisis, de tal manera que se rechazan todos aquellos que incumplen las condiciones previas establecidas por el Área de Calidad de las Aguas.

La supervisión y control de la toma de muestras, especialmente en lo relativo a los momentos de muestro, mantenimiento de las muestras y control de resultados, ha sido acometido por los técnicos del Área de Calidad de las Aguas.

En cuanto al resto de los datos proceden de las correspondientes comunidades autónomas, sin que se haga especial mención a los controles y validaciones que realizan en cada una de ellas.

8.4 RESULTADOS OBTENIDOS

En primer lugar y al objeto de tener una visión inicial de conjunto sobre la mineralización de las aguas subterráneas en estado natural, se ha procedido a elaborar los datos analíticos pertenecientes a la RBAS de la CHE desde que es operativa en el año 1995 y hasta el año 2008. No se han incluido los puntos de las CCAA ya que se dispone de un número insuficiente de analíticas en el tiempo.

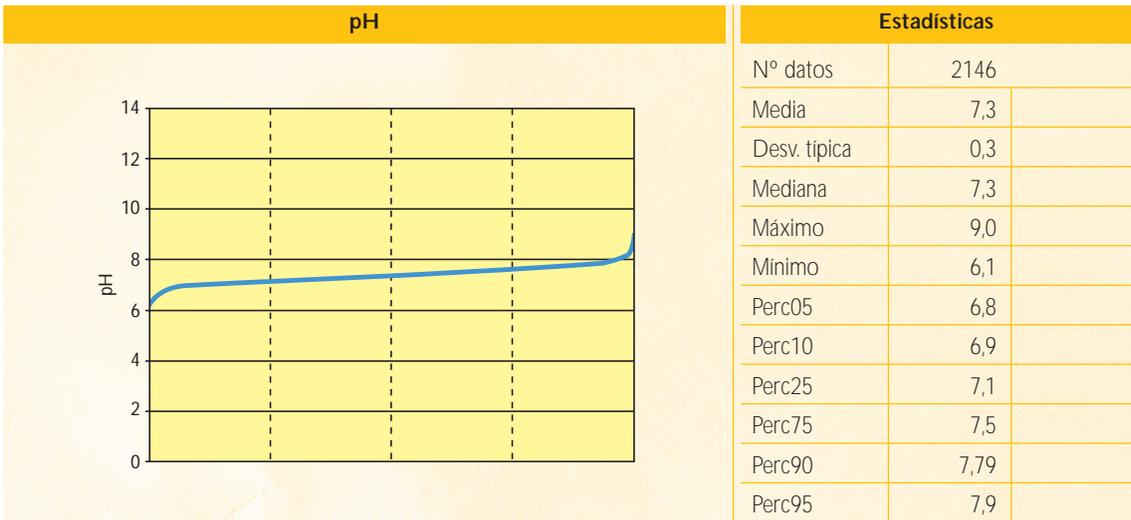
Se cuenta con un total de 2.179 analíticas que proceden íntegramente de la CHE y que han sido analizadas bien por el propio laboratorio, bien por otros a través de las correspondientes asistencias técnicas, cuyos resultados han sido, en todo caso, sometidos a los controles de validación internos antes mencionados. Estos primeros resultados que permiten obtener unas conclusiones sobre las características de las aguas subterráneas de la cuenca del Ebro, en relación a cada parámetro analizado. Las más destacadas se recogen a continuación.

8.4.1 pH

Por lo general los valores de pH para las aguas subterráneas están comprendidos entre 6,5 y 8 y más raramente entre 5,5 y 8,5. En casos excepcionales puede variar entre 3 y 11.

En los 2.179 análisis, existen valores de pH para 2.146 (98 %). Los valores oscilan entre un mínimo de 6,1 en el punto 262020009 (Pozo Ayuntamiento Irydate-12, Torrijo del Campo) y un máximo de 9 en el punto 351160004 (Fuentes del Cardener, Cardoner, La Coma i La Pedra). El 90 % de los valores no alcanzan el valor de pH 7,79, tienen una media de 7,3 y una mediana de 7,3.

FIGURA 8.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PH EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL EBRO



8.4.2 CONDUCTIVIDAD

La conductividad varía entre 100 y 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18°C para aguas dulces pudiendo llegar a más de 100.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en salmueras.

En los 2.179 análisis, existen valores de conductividad para 2.131 (98 %). Los valores oscilan entre un mínimo de 41 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto 320870006 (Uelhs deth joeu, Vielha e Mijaran) y un máximo de 22.222 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto 261180007 (Monte Saso, polígono 2, parcela 28, Biota). El 90 % de los valores no alcanzan el valor de conductividad de 1.898 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tienen una media de 1.041,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una mediana de 659 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

FIGURA 8.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE CONDUCTIVIDAD EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL EBRO



A partir de los 2.131 análisis disponibles, se ha calculado la conductividad promedio para cada uno de los puntos que forman parte de la Red y su distribución se muestra en el mapa 8-2.

8.4.3 CLORUROS

En las aguas subterráneas naturales, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Unos cuantos de estos iones se encuentran presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones disueltos. Sobre estos iones descansará la mayor parte de los aspectos químicos e hidroquímicos. El Cl⁻ es uno de estos iones mayoritarios.

Los límites teóricos para el contenido de este ión en aguas subterráneas son: de 10 a 250 mg/l en aguas dulces y hasta 220.000 mg/l en salmueras.

En los 2.179 análisis, existen valores de cloruros para 2.008 (92 %). Los valores oscilan entre un mínimo de 0 mg/l en varios puntos y un máximo de 5.537 mg/l en el punto 251730001 (Balneario Paracuellos de Jiloca, Paracuellos de Jiloca). El 90 % de los valores no alcanzan el valor de cloruros de 210 mg/l, tienen una media de 114,4 mg/l y una mediana de 23 mg/l.

FIGURA 8.5. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE CLORUROS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL EBRO



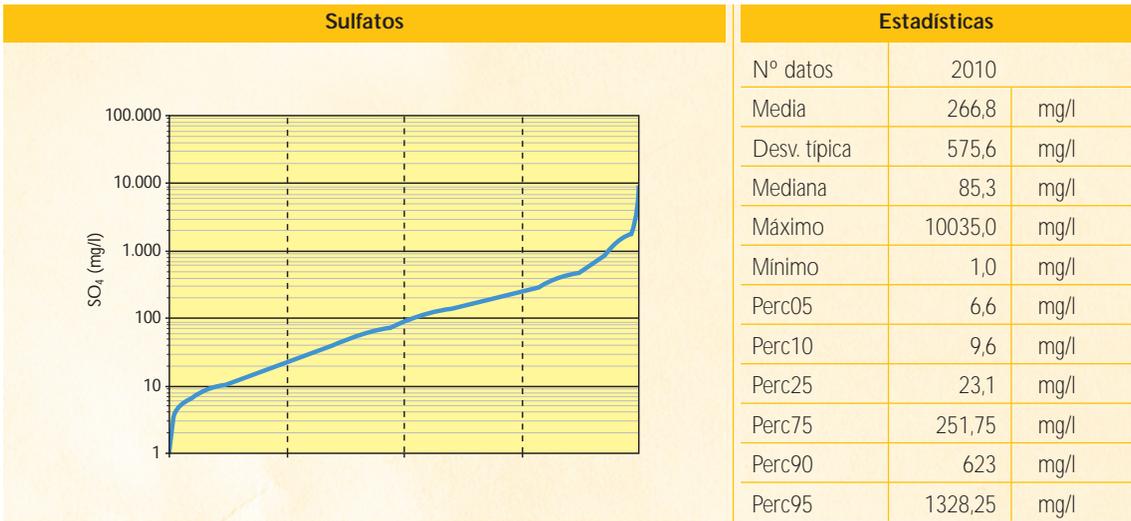
A partir de los 2.008 análisis disponibles, se ha calculado la concentración promedio de cloruros para cada uno de los puntos que forman parte de la Red.

8.4.4 SULFATOS

El sulfato se considera junto con el Cl⁻, HCO₃⁻, Na⁺, Mg²⁺ y Ca²⁺, ion mayoritario. En general las aguas muy puras tienen concentraciones de sulfato en torno a los 1,5 mg/l, las aguas salinas cerca de los 7.200 mg/l y las salmueras pueden contener hasta 200.000 mg/l.

En los 2.179 análisis, existen valores de sulfatos para 2.010 (92 %). Los valores oscilan entre un mínimo de 1 mg/l en el punto 361020002 (Arboleda de San Martí, Guils de Cerdaña) y un máximo de 10.035 mg/l en el punto 261180007 (Monte Saso, polígono 2, parcela 28, Biota). El 90 % de los valores no alcanzan el valor de sulfatos de 623 mg/l, tienen una media de 266,8 mg/l y una mediana de 85,3 mg/l.

FIGURA 8.6. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE SULFATOS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL EBRO



A partir de los 2.010 análisis disponibles, se ha calculado la concentración promedio de sulfatos para cada uno de los puntos que forman parte de la Red y su distribución se muestra en el mapa 8-3.

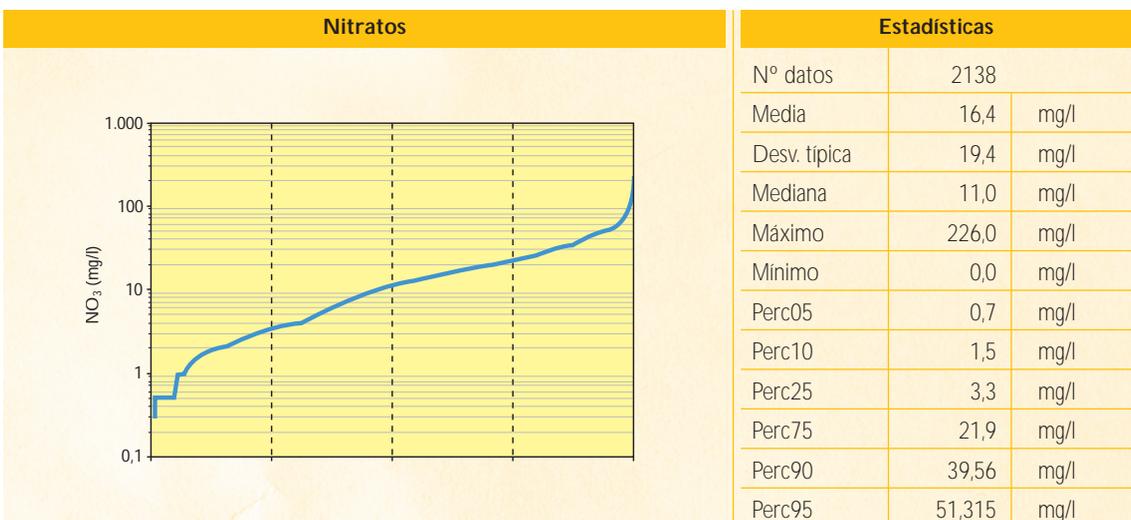
8.4.5 NITRATOS

Es un ión bastante estable. En medios reductores puede pasar a N_2 o NH_4^+ . La mayoría de los compuestos nitrogenados pasan a NO_3^- en medio oxidantes.

Las concentraciones habituales de nitratos están entre 0,1 y 1 mg/l, y en aguas muy contaminadas llegan a 200 e incluso 1.000 mg/l.

En los 2.179 análisis, existen valores de nitratos para 2.138 (98 %). Los valores oscilan entre un mínimo de 0 mg/l en varios puntos y un máximo de 226 mg/l en el punto 261910038 (Pozo Gastea, Bello). El 90% de los valores no alcanzan el valor de nitratos de 39,56 mg/l, tienen una media de 16,4 mg/l y una mediana de 11 mg/l.

FIGURA 8.7. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE NITRATOS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL EBRO



8.4.6 SODIO

Es uno de los cationes pertenecientes a los iones mayoritarios. Suele equipararse al ión Cl^- pero presenta diferencias. En aguas naturales alcanza valores de 1 a 150 mg/l y en salmueras naturales hasta 100.000 mg/l.

Existen 2.005 datos con valores de Na (92 %). Los rangos de valores están comprendidos entre un mínimo de 0 mg/l en varios puntos y 5.500 mg/l correspondiente al punto 261180007(Monte Saso, polígono 2, parcela 28, Biota), encontrándose el 98,9 % de los valores por debajo de los 1.000 mg/l. Presenta una media de 78,4 mg/l y mediana de 15 mg/l.

FIGURA 8.8. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE SODIO EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL EBRO

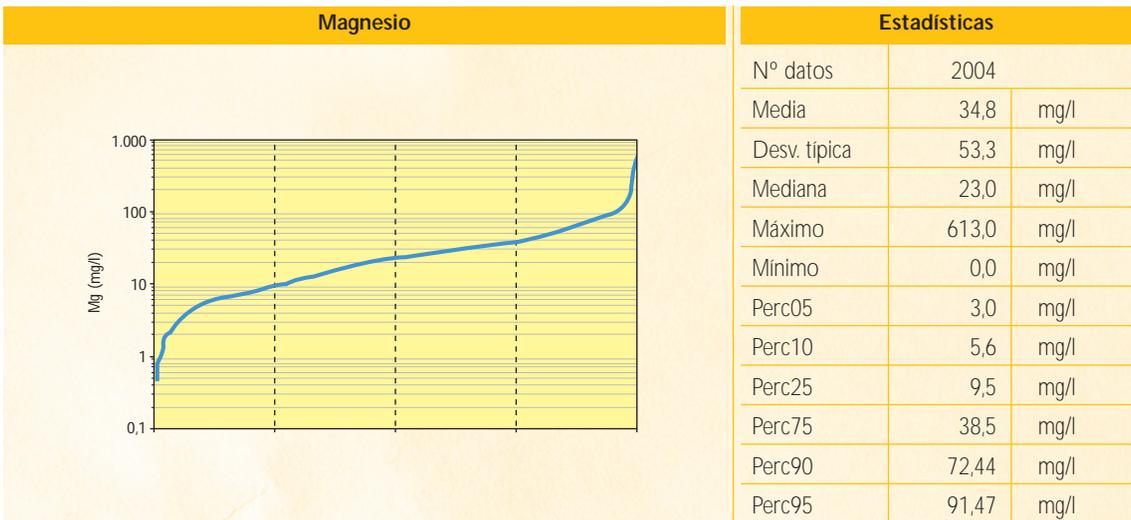


8.4.7 MAGNESIO

Sus concentraciones para aguas dulces varían entre 1 y 100 mg/l, pudiendo llegar a veces a algunos miles de mg/l en aguas salinas o salmueras. El agua del mar contiene unos 1.200 mg/l.

En los 2.179 análisis, existen valores de magnesio para 2.004 (92 %). Los valores oscilan entre un mínimo de 0 mg/l en el punto 220780112 (Las Nogueras, El Burgo) y un máximo de 613 mg/l en el punto 251730001 (Balneario Paracuellos de Jiloca, Paracuellos de Jiloca). El 90% de los valores no alcanzan el valor de magnesio de 72,44 mg/l, tienen una media de 34,8 mg/l y una mediana de 23 mg/l.

FIGURA 8.9. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE MAGNESIO EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL EBRO



8.4.8 CALCIO

La química de este catión va asociada a la de los iones CO_3H^- y CO_3^{2-} en muchas aguas naturales, pudiéndose precipitar y disolver con facilidad al cambiar el pH o la presión de CO_2 .

Sus concentraciones en aguas dulces varían entre 1 y 250 mg/l pero las salmueras llegan a alcanzar los 50.000 mg/l.

En los 2.179 análisis, existen valores de calcio para 2.005 (92 %). Los valores oscilan entre un mínimo de 4,8 mg/l en el punto 361020002 (Arboleda de San Martí, Guils de Cerdanya) y un máximo de 798 mg/l en el punto 251730001 (Balneario Paracuellos de Jiloca, Paracuellos de Jiloca). El 90 % de los valores no alcanzan el valor de calcio de 251,2 mg/l, tienen una media de 142,2 mg/l y una mediana de 105,0 mg/l.

FIGURA 8.10. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE CALCIO EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL EBRO

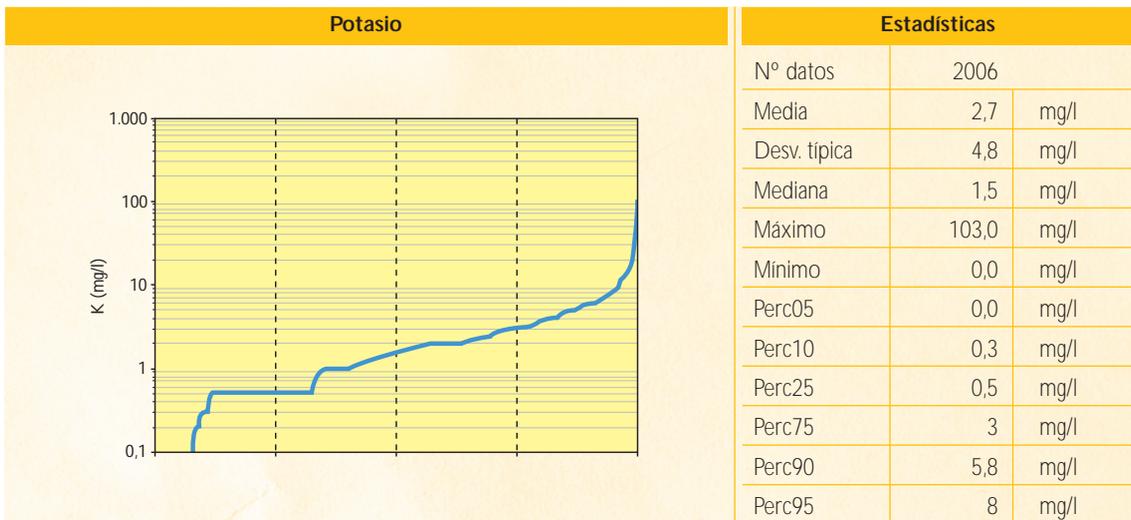


8.4.9 POTASIO

Las concentraciones que presenta este ión en aguas dulces son de 0,1 y 10 mg/l. Extraordinariamente presentan valores superiores a los 100 mg/l.

En los 2.179 análisis, existen valores de potasio para 2.006 (92 %). Los valores oscilan entre un mínimo de 0 mg/l en varios puntos y un máximo de 103 mg/l en el punto 250810004 (Manantial de Ibero, Urbeza, Olza). El 90% de los valores no alcanzan el valor de potasio de 5,8 mg/l, tienen una media de 2,7 mg/l y una mediana de 1,5 mg/l.

FIGURA 8.11. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE POTASIO EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL EBRO



8.5 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO QUÍMICO

El análisis hidroquímico de las aguas subterráneas a partir de los últimos muestreos de la RBAS y de los datos pertenecientes a las comunidades autónomas permitirá realizar una primera evaluación sobre el quimismo de las aguas, comparando los resultados obtenidos con las condiciones de referencia establecidas en los trabajos previos anteriormente mencionados.

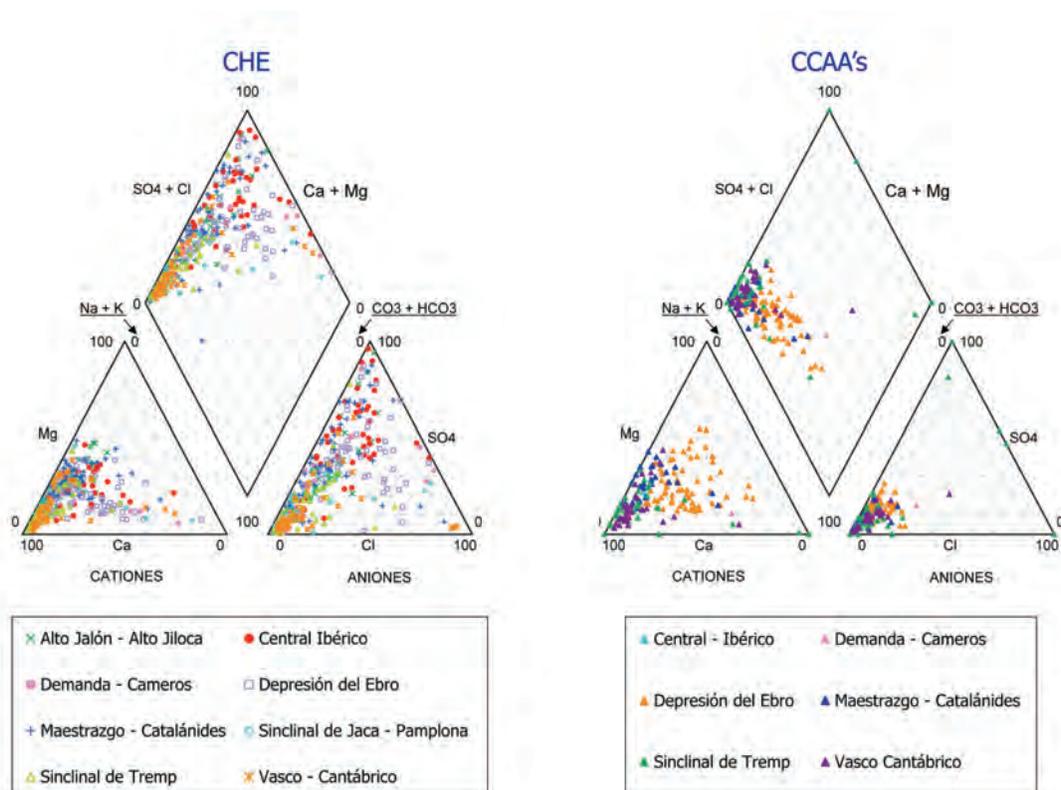
La facies química de las aguas subterráneas se ha caracterizado a partir de la presencia de los iones mayoritarios (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+) y de otros iones de importancia en el agua subterránea (NO_2^- , NH_4^+ , Fe y Mn).

La representación del diagrama de Piper de los últimos análisis de todos los puntos de la RBAS y de las CCAA se observan en la figura 8.12 e indica que la mayor parte de las muestras presentan un carácter bicarbonatado cálcico. En el gráfico se observa además la existencia de características hidroquímicas diferenciadas en función de las características geológicas y geográficas de cada Dominio.

Con respecto a la composición aniónica, las aguas de los Dominios Vasco-Cantábrico, Jaca-Pamplona y Tremp son muy bicarbonatadas, mientras que el resto de los Dominios presentan una composición más sulfatada. Así, los Dominios de Maestrazgo-Catalánides, Central Ibérico y Alto Jalón-Alto Jiloca presentan un carácter medio bicarbonatado o bicarbonatado sulfatado y las aguas del Dominio de la Demanda Cameros presentan

un carácter bicarbonatado sulfatado. El Dominio de la Depresión del Ebro presenta mayor variabilidad química en la composición del agua subterránea, con una composición media sulfato-bicarbonatada.

FIGURA 8.12. DIAGRAMA DE PIPER DE LOS ANÁLISIS DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL DE VIGILANCIA DISTRIBUIDOS POR DOMINIOS: CHE (IZDA.) Y CCAA (DCHA.)



La variabilidad de la composición catiónica es menor que la observada en la composición aniónica, predominando claramente las aguas cálcicas. No obstante, se observan mayores contenidos de calcio en los Dominios más montañosos (Vasco-Cantábrico, Jaca-Pamplona, Tresp y Demanda-Cameros), seguidos de los Dominios de la Ibérica (Alto Jalón-Alto Jiloca, Maestrazgo Catalánides y Central Ibérico) y, por último, las aguas del Dominio de la Depresión del Ebro presentan menores contenidos de calcio.

En las siguientes figuras se representan los diagramas de Piper de los diferentes dominios hidrogeológicos definidos en la demarcación del Ebro. En cada uno de ellos se representa una envolvente que expresa el quimismo general de dicho dominio, obtenida a partir del análisis de todos los datos anteriores. Sobre este diagrama se representan las últimas analíticas de los puntos pertenecientes a la RBAS y a las redes de las comunidades autónomas en puntos no coincidentes con la RBAS, correspondientes a cada masa de agua subterránea incluida en el dominio en cuestión (en caso de que existan más de un análisis anual se realiza el promedio). El periodo considerado es 2006-2008.

Con ello se pretende comprobar si los últimos datos de las redes de control generales que operan en la demarcación son acordes con el quimismo general esperable o bien escapan de dicha generalidad, y por tanto deben ser explicadas y en su caso evaluadas para buscar el origen de dichas anomalías.

8.5.1 DOMINIO VASCO – CANTÁBRICO (1)

El Dominio Vasco-Cantábrico está representado por 48 captaciones distribuidas en 20 masas de agua subterránea en la RBAS y 34 puntos distribuidos en 9 masas en las CCAA. Su química está dominada fundamentalmente por la disolución de calcita y dolomita y de algo de yeso (figura 8.13). La composición catiónica presenta una clara abundancia de aguas bicarbonatadas, muchas de ellas con un contenido muy elevado de este ión (90-94 %). Existe una tendencia hacia el aumento del contenido en sulfato lo que provoca que unos pocos análisis lleguen a ser sulfatados, y como excepción hay tres análisis con composición clorurada.

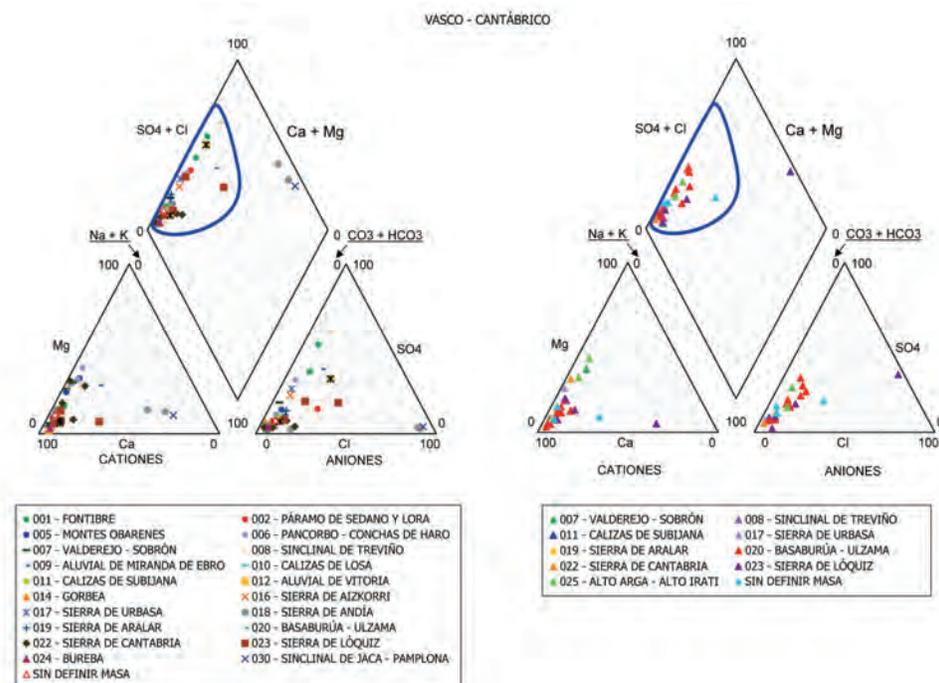
La composición catiónica del Dominio Vasco-Cantábrico presenta una dominancia de muestras que varían entre la composición netamente cálcica (94 %) y más cercana a magnésica (magnesio al 40 % y calcio al 60 %). Un pequeño número de muestras presentan un carácter más sódico que en algún caso llega hasta el 44 % de contenido en sodio.

Las tres captaciones que presentan un carácter clorurado sódico, corresponden a los puntos 250810039 (Baños de Belascoain) y 25081005 (Manantial de Echauri), ubicados en la masa de agua 018 (Sierra de Andía) y al punto 250810004 (Manantial de Ibero), situado en la masa 030 (Sinclinal de Jaca Pamplona). Los dos primeros presentan conductividades de 3.200 y 2.982 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y las elevadas concentraciones de cloruro y sodio se deben a su proximidad al diapiro de Salinas de Oro y a su elevado tiempo de permanencia. En cuanto al punto 250810004, con una conductividad de 4.490 $\mu\text{S}/\text{cm}$, puede ser debido a que se encuentre afectado por el vertido profundo de salmueras procedente de minería de sales potásicas en las fosas eocenas, a casi 1.000 m de profundidad.

En el caso de los puntos relativos a las CCAA, solo uno de ellos situado en Navarra y codificado como 24086011 presenta unas características anómalas (altamente clorurada sódica).

Por otra parte, la masa de agua 001 (Fontibre) presenta aguas más evolucionadas debido al contacto con material con evaporitas del Keuper que justifican contenidos mayores en sulfatos.

FIGURA 8.13. DIAGRAMA DE PIPER DEL DOMINIO VASCO - CANTÁBRICO (IZDA. RBAS, DCHA. CCAA)



8.5.2 DOMINIO SINCLINAL DE JACA – PAMPLONA (2)

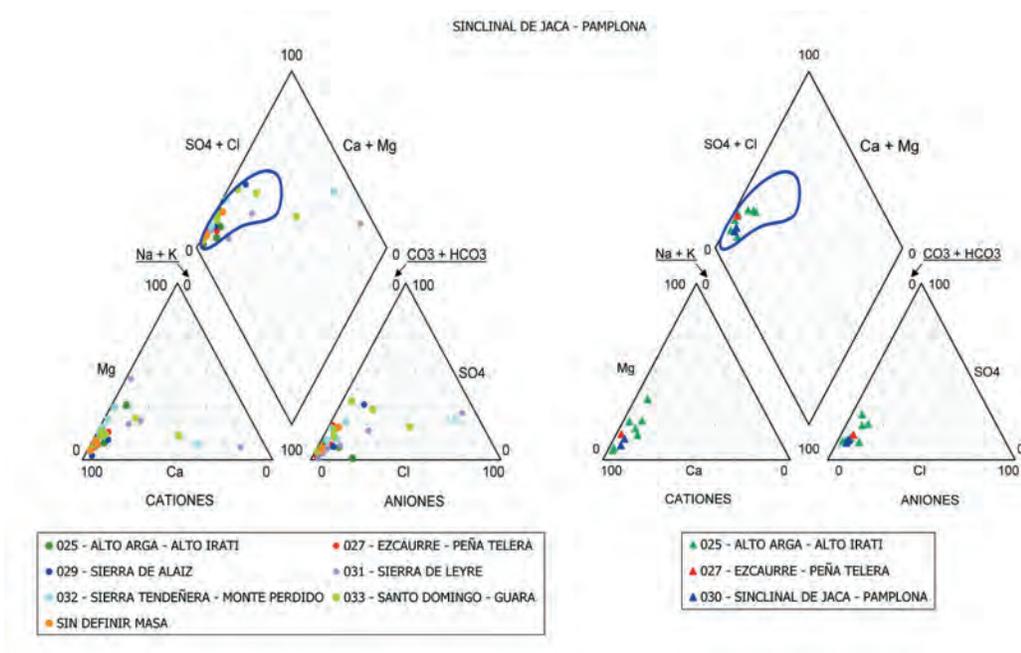
En relación a la RBAS, existen 34 puntos en el Dominio Sinclinal de Jaca-Pamplona distribuidos en 6 masas de agua subterránea y 10 puntos distribuidos en 3 masas de agua en relación a las CCAA. Este dominio presenta una composición aniónica claramente bicarbonatada debido a que el proceso químico dominante es la disolución de calcita y dolomita (figura 8.14). Algunas aguas más evolucionadas presentan contenidos mayores en cloruro, lo que queda justificado por su relación con grandes fracturas o por su contacto con material con evaporitas del tipo Keuper.

La composición catiónica del Dominio Sinclinal de Jaca-Pamplona presenta una dominancia de aguas cálcicas que varían entre aguas con contenidos en calcio de más de 94 % hasta aguas con contenido en calcio de 52 %. Estas variaciones se deben principalmente a la presencia de calizas y dolomías como litologías que aportan los iones calcio y magnesio. Unos pocos análisis presentan un aumento progresivo del contenido del sodio hasta valores del 79 %.

Atendiendo a los promedios realizados para cada una de las masas subterráneas, si bien la mayoría presentan un carácter bicarbonatado cálcico y se encuentran dentro de las condiciones de referencia establecidas con anterioridad, hay que destacar que las masas de agua 031 y 032 (Sierra de Leyre y Sierra Tendeñera – Monte Perdido) presentan mayores concentraciones de cloruro y sodio, debido a la presencia de los puntos de agua 270910002 (Balneario Tiermas) y 300980003 (Manantial Termal Puyarruego), los cuales se encuentran relacionados con grandes fracturas.

En este Dominio existen 3 captaciones ubicadas fuera de una masa de agua clasificada. Todas ellas presentan la facies hidroquímica del tipo bicarbonatado cálcico, con un contenido medio en calcio de 89 % y 87 % de bicarbonato.

FIGURA 8.14. DIAGRAMA DE PIPER DEL DOMINIO SINCLINAL DE JACA - PAMPLONA (IZDA. RBAS, DCHA. CCAA)



8.5.3 DOMINIO SINCLINAL DE TREMP (3)

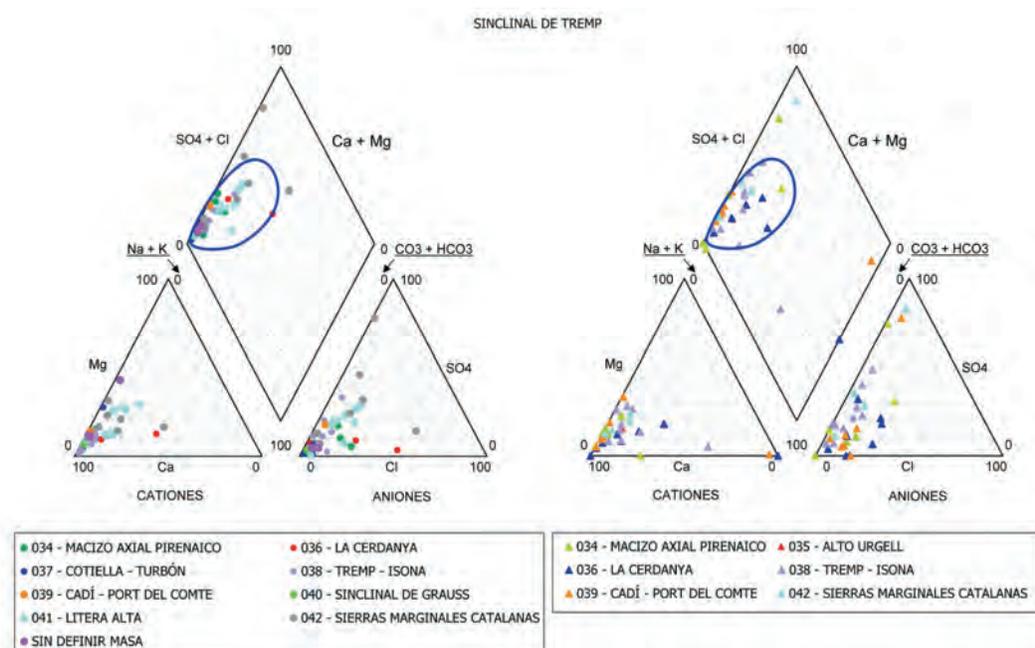
El Dominio Sinclinal de Tremp en la RBAS está representado por 42 puntos de agua distribuidos en 8 masas de agua subterránea y la red no coincidente de la comunidad autónoma de Cataluña dispone de un total de 39 puntos distribuidos en 6 masas. Presenta una composición bicarbonatada, con un gran número de análisis cuyos contenidos en bicarbonato son mayores que el 85 %, aunque hay una cierta dispersión de sus valores hacia mayores concentraciones en sulfato y cloruro, pero sin perder su carácter bicarbonatado (figura 8.15). En unas pocas muestras las aguas pasan a tener un contenido muy elevado en sulfatos (78 %).

La composición catiónica del Dominio del Sinclinal de Tremp presenta un carácter cálcico con una cierta dispersión en el eje del calcio y magnesio.

Atendiendo a su distribución dentro del Dominio en las 8 masas de agua existentes, todos los puntos se encuentran dentro del tipo bicarbonatado cálcico, con excepción de la masa 42 (Sierras Marginales Catalanas), en la cual se encuentran puntos con alto contenido en sulfatos. Estos puntos son los siguientes: 331270002 (Ager II, Barranco de la Louforna), relacionado con materiales del Garum; 321380005 (Almazir S.A.T.), situado en el frente de cabalgamiento de la Sierra Marginales con los depósitos terciarios de la Depresión del Ebro y el 331330012 (Pozo de Baldomar), ubicado en arcillas versicolores y yesos.

En cuanto a la red perteneciente a Cataluña, especialmente 4 puntos ubicados en las masas de La Cerdanya, Tremp-Isona y Cadi-Port del Comte presentan quimismos anómalos en relación al Dominio donde se ubican, y al resto de los puntos de la RBAS. Dichos datos deben ser contrastados en sucesivos años al objeto de establecer el origen de la singularidad de estos puntos.

FIGURA 8.15. DIAGRAMA DE PIPER DEL DOMINIO SINCLINAL DE TREMP (IZDA. RBAS, DCHA. CCAA)



8.5.4 DOMINIO DEPRESIÓN DEL EBRO (4)

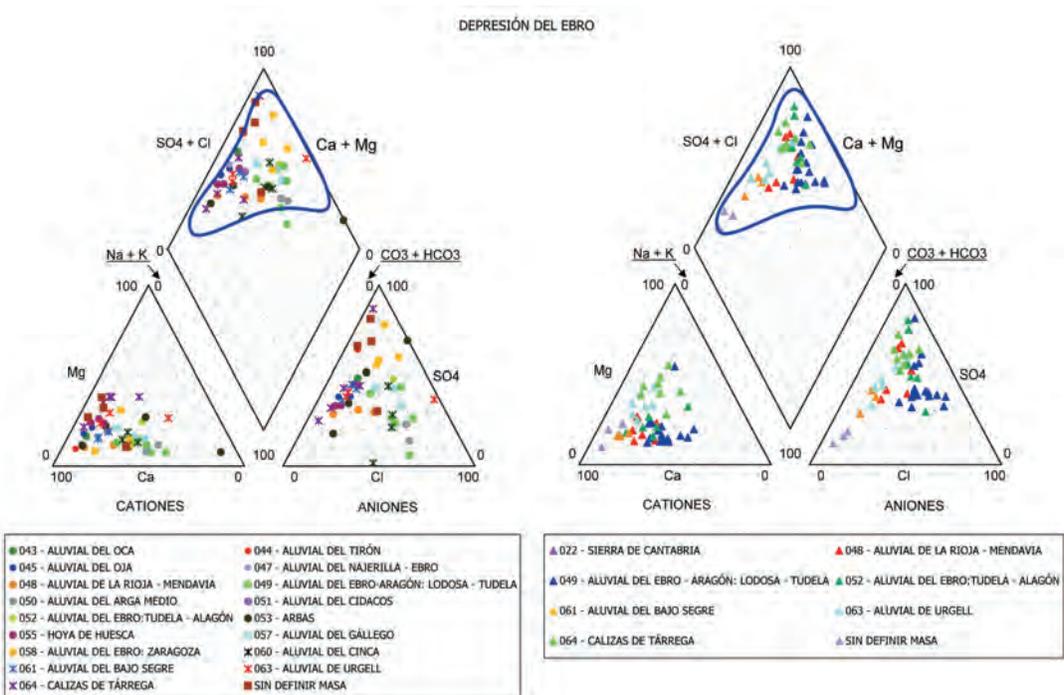
El Dominio de la Depresión del Ebro contiene 51 puntos de agua ubicados en 17 masas de agua subterránea (RBAS) y 72 puntos distribuidos en 7 masas en relación a las CCAA, y hay que destacar la presencia de muchos de ellos en aluviales de los grandes ríos, y en la zona semiárida con sustrato yesífero, de los Monegros. Las particulares condiciones geológicas e hidrogeológicas de los distintas masas de agua subterránea de este Dominio, hace que se registre la mayor variabilidad química en la composición del agua subterránea.

La composición aniónica comprende una gran superficie del diagrama de Piper siguiente, destacando la existencia de un gran número de muestras bicarbonatadas, sulfatadas y de facies mixtas (figura 8.16). También existen aguas cloruradas. La existencia de litologías yesíferas con pequeños cristales de halita en muchos materiales del centro de la Depresión, son un factor que condiciona esta composición claramente sulfatada y clorurada en algunos casos. En otras ocasiones estas composiciones se justifican por ser un agua de muy elevado tiempo de residencia en los materiales.

La composición catiónica de las muestras del Dominio de la Depresión del Ebro participan, aunque en menor medida, de la variabilidad que se ha identificado en la composición aniónica. Las aguas evolucionan desde un carácter cálcico hacia un carácter magnésico-cálcico, sin llegar a alcanzar un 40% de magnesio, y conforme van evolucionando en su flujo subterráneo alcanzan un carácter más sódico. Las elevadas concentraciones se deben a procesos de disolución de agua con mucho tiempo de residencia en el terreno y a procesos de evaporación en zonas de descarga (humedales o lagunas saladas).

Atendiendo a las diferencias hidroquímicas en función de las masas de agua subterránea, si bien la mayoría presentan un carácter sulfatado cálcico, hay que destacar la masa de

FIGURA 8.16. DIAGRAMA DE PIPER DEL DOMINIO DEPRESIÓN DEL EBRO (IZDA. RBAS, DCHA. CCAA)



agua 053 (Arbas) representada por 4 captaciones, que muestra un agua sulfatada sódica, con un contenido medio en sulfato de 66% y de sodio del 77%.

En este Dominio existen 6 captaciones ubicadas fuera de una masa de agua clasificada. Todas ellas presentan la facies hidroquímica del tipo sulfatado cálcico, con un contenido medio en sulfato de 65% y 60% de calcio.

8.5.5 DOMINIO DEMANDA – CAMEROS (5)

El Dominio de Demanda-Cameros en la RBAS está representado por 14 puntos de agua distribuidos en 5 masas de agua subterránea. El contenido aniónico está representado por aguas bicarbonatadas con una evolución hacia aguas sulfatadas y por otra parte existen aguas cloruradas (figura 8.17).

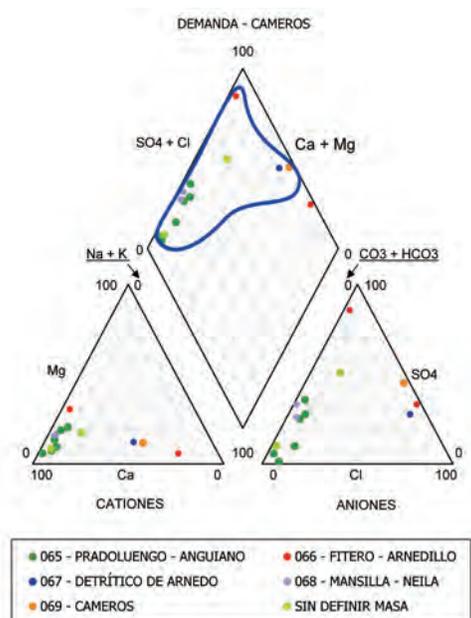
En cuanto a la composición catiónica, existen aguas cálcicas, con un porcentaje de magnesio de hasta un 30,5 % que van evolucionando a aguas con un creciente contenido de sodio (hasta un 72,4 %).

En la representación de las composiciones medias por masas de agua subterránea, se observa como las aguas de las masas 065 y 068 (Fitero – Arnedillo y Mansilla – Neila) son bicarbonatadas cálcicas, con conductividades medias de 312,67 y 216 mS/cm y por otra parte, la media de los análisis de las masas 066, 067 y 069 (Pradoluengo – Anguiano, Detrítico de Arnedo y Cameros) muestran aguas cloruradas sódicas, con un contenido en cloruro y sodio de 50,67, 63, 77 y 51,85 % y 55,76, 46,32 y 63,77 %, respectivamente.

Existen dos captaciones que se encuentra fuera de una masa de agua clasificada y corresponden a los puntos 201140008 (Manantial de Garganchón) y 211270004 (Fuente Sanza). La primera de ellas es un agua bicarbonatada cálcica y la segunda presenta un enriquecimiento en sulfatos hasta un 50,92 %, siendo de tipo sulfatado cálcico.

No hay datos de puntos operados por las comunidades autónomas.

FIGURA 8.17. DIAGRAMA DE PIPER DEL DOMINIO DEMANDA - CAMEROS (SOLO RBAS)



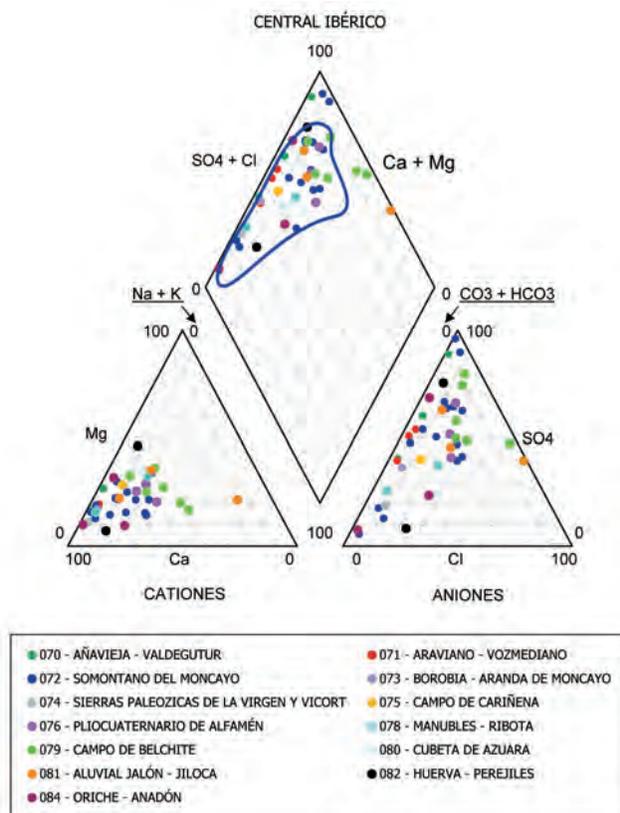
8.5.6 DOMINIO CENTRAL IBÉRICO (6)

Las aguas del Dominio Central Ibérico, con 44 puntos distribuidos en 13 masas de agua, presentan una distribución de valores semejante a las del Dominio Alto Jalón-Alto Jiloca aunque con mayor cantidad de aguas enriquecidas en sulfato y destacan también algunas facies hidroquímicas del tipo clorurado-sulfatadas sódicas que pueden ser indicativas de aguas muy evolucionadas de los manantiales termales, con aguas de elevado tiempo de residencia en el terreno y asociadas a zonas tectonizadas en su caso (figura 8.18). En este sentido, destaca el punto 251730001 (Balneario Paracuellos de Jiloca) ubicado en la masa de agua 081 (Aluvial Jalón – Jiloca), con una conductividad de 16.740 mS/cm y un elevado porcentaje de sulfatos, sodio y cloruro (39,57, 59,14 y 62,14% respectivamente).

Atendiendo a las diferencias hidroquímicas en función de las masas de agua subterránea, la composición media de las aguas de las masas de agua 073, 074 y 078 (Borobia – Aranda de Moncayo, Sierras Paleozoicas de la Virgen de Vicort y Manubles – Ribota), muestra un carácter bicarbonatado cálcico, mientras que en el resto de masas pertenecientes al Dominio presentan aguas más evolucionadas, con mayores contenidos aniónicos (sulfato y cloruro) y catiónicos (magnesio y sodio).

Al igual que en el caso anterior, no se dispone de datos analíticos de puntos pertenecientes a redes operadas por las comunidades autónomas.

FIGURA 8.18. DIAGRAMA DE PIPER DEL DOMINIO CENTRAL IBÉRICO (SOLO RBAS)



8.5.7 DOMINIO ALTO JALÓN – ALTO JILOCA (7)

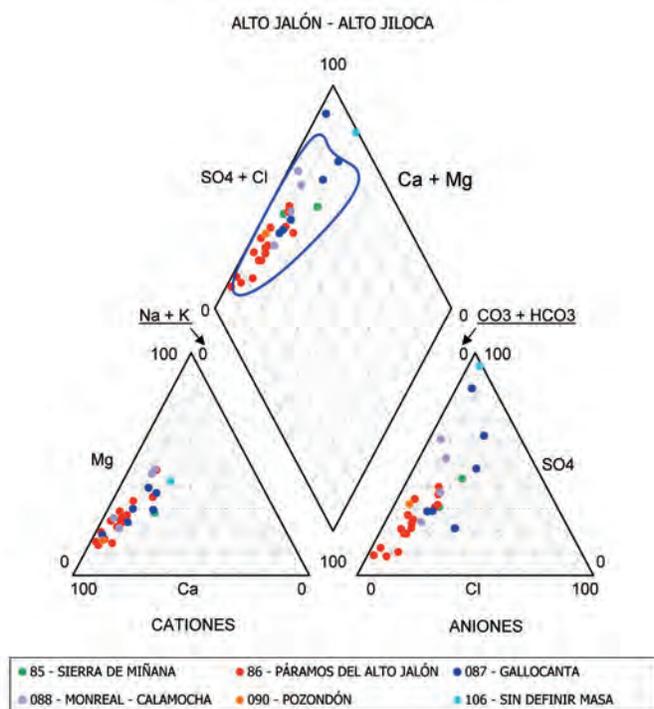
Existen 34 puntos en el Dominio Alto Jalón – Alto Jiloca distribuidos en 5 masas de agua subterránea. Estas aguas presentan una dispersión de los aniones desde el polo del bicarbonato produciéndose un progresivo enriquecimiento en sulfato y algo de cloruro. El agua pasa de bicarbonatada a bicarbonatada sulfatada y en fases más evolucionadas a sulfatado-bicarbonatadas y finalmente, sulfatadas. Los cationes presentan un carácter menos variable que los aniones. Las aguas son en su mayor parte cálcicas pasando en sus fases más evolucionadas a magnésico-cálcicas.

La representación de las composiciones medias por masas de agua subterránea, pone de manifiesto la existencia de características hidroquímicas diferenciadas en función de las características geológicas y geográficas de cada masa (figura 8.19). Así, las aguas de las masas 086 y 090 (Páramos del alto Jalón y Pozondón) presentan una conductividad media de 769,75 y 572 mS/cm y son bicarbonatadas cálcicas, pasando a bicarbonatada sulfatada en la masa 085 (Sierra de Miñana) y a sulfatado bicarbonatada en la 088 (Monreal – Calamocho). Finalmente, la media de las aguas de la masa 087 (Gallocanta) tiene carácter sulfatado, con una conductividad media de 1.287 mS/cm.

Únicamente hay una captación que se encuentra fuera de una masa de agua clasificada y corresponde al punto 241650003 (sondeo surgente de Monteagudo). Presenta carácter sulfatado, con un contenido en sulfatos del 94 %, probablemente relacionado con materiales yesíferos.

En este dominio no se dispone de datos pertenecientes a puntos operados por las comunidades autónomas.

FIGURA 8.19. DIAGRAMA DE PIPER DEL DOMINIO ALTO JALÓN – ALTO JILOCA (SOLO RBAS)



8.5.8 DOMINIO MAESTRAZGO – CATALÁNIDES (8)

El Dominio Maestrazgo – Catalánides presenta el mayor número de captaciones de la RBAS con 70 puntos de agua distribuidos en 12 masas de agua subterránea y 26 puntos de las CCAA distribuidos en 6 masas de agua.

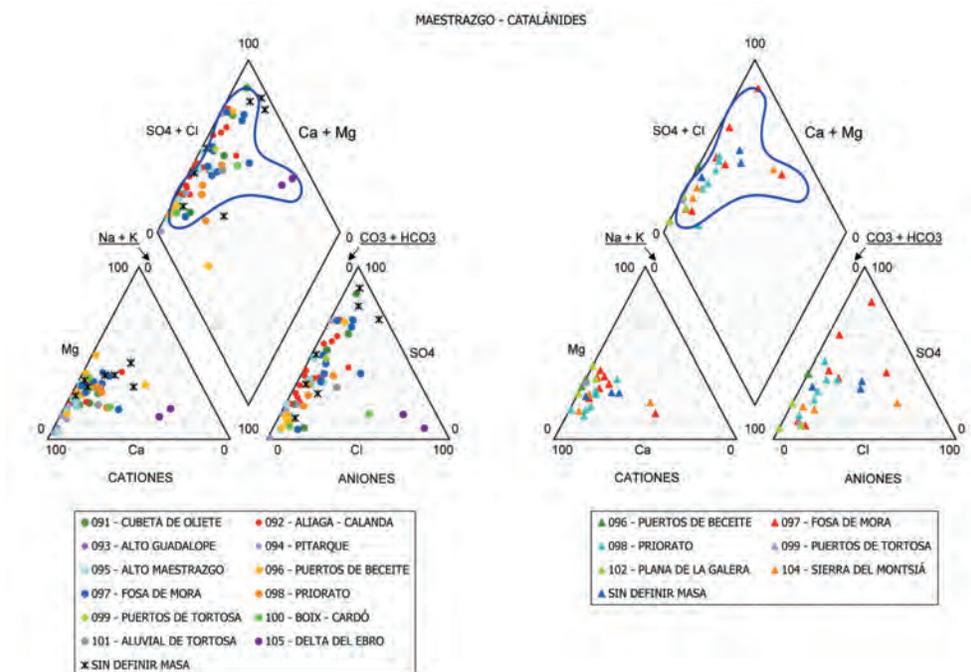
La composición aniónica presenta una tendencia claramente identificada en el diagrama de Piper (figura 8.20). Partiendo de las aguas bicarbonatadas se dirige hacia el vértice del sulfato (con un contenido máximo en este ión del 87,5 %), debido probablemente a procesos de disolución del yeso. Además existen muestras con altos contenidos en cloruros llegando a alcanzar un 83 % en el punto 322060018 (Dapsa) en relación con procesos de intrusión marina.

La composición catiónica del Dominio Maestrazgo-Catalánides presenta una gran cantidad de aguas con un carácter cálcico y cálcico-magnésico. Existe además un proceso gradual de sodificación en algunas muestras de este Dominio.

La representación de las composiciones medias por masas de agua subterránea, muestra la existencia de características hidroquímicas diferenciadas en función de las características geológicas y geográficas de cada masa. En este sentido, cabe destacar las aguas de la masa 105 (Delta del Ebro) las cuales son del tipo clorurado sódico con una conductividad media de 2.399 $\mu\text{S}/\text{cm}$, debido a procesos de intrusión marina. Por otra parte, las masas de agua 091, 097, 099 y 101 (Cubeta de Oliete, Fosa de Mora, Puertos de Tortosa y Aluvial de Tortosa) presentan aguas con mayores contenidos de sulfatos, mientras que el resto de masas del Dominio son de tipo bicarbonatado cálcico.

Existen 10 captaciones que se encuentran fuera de una masa de agua clasificada. Estas aguas pasan de bicarbonatadas a sulfatadas y son en su mayor parte cálcicas pasando en sus fases más evolucionadas a magnésico-cálcicas.

FIGURA 8.20. DIAGRAMA DE PIPER DEL DOMINIO MAESTRAZGO - CATALÁNIDES (IZDA. RBAS, DCHA. CCAA)



Como conclusión general sobre este programa de control y atendiendo a los datos analíticos de los últimos muestreos, hay que indicar que todos los puntos que conforman el programa de control de vigilancia se encuentran dentro de los límites establecidos en los dominios hidrogeológicos a que pertenecen. Las excepciones que se registran pertenecen en general a puntos relacionados con zonas termales o están relacionados con unos materiales muy determinados dentro de cada masa de agua.

