

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y DE LAS
CONDICIONES DE CAPTACIÓN PARA LA MEJORA
DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
HIDROMINERALES DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA
DE GALICIA**

VOLUMEN IV

**ESTUDIO DE LA RELACIÓN DE LOS
COMPONENTES FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS
AGUAS MINERALES Y DE LAS
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE
GALICIA**

Los trabajos cuyos resultados se exponen en este informe se inscriben dentro del Convenio de Asistencia Técnica suscrito entre la Consellería de Innovación, Industria y Comercio de la Xunta de Galicia y el Instituto Geológico y Minero de España, y han sido llevados a cabo por la empresa Investigación y Desarrollo de Recursos Naturales, S.A. –**IDRENA**– bajo la dirección del Instituto Geológico Minero de España.

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	8
2.	MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO.....	12
2.1.	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	13
2.2.	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	15
3.	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS MINERALES Y UNIDADES HIDROMINERALES	18
3.1.	UNIDAD DE ARTEIXO	21
3.2.	UNIDAD DE GUITIRIZ.....	23
3.3.	UNIDAD DE LA DEPRESIÓN MERIDIANA.....	25
3.4.	UNIDAD DE O CARBALLIÑO - BERÁN	36
3.5.	UNIDADES DE OURENSE - RIBADAVÍA Y BAÑOS DE MOLÍAS -XUNQUEIRA DE AMBÍA	38
3.6.	UNIDAD DEL RÍO TÁMEGA.....	42
3.7.	UNIDAD DEL DOMINIO DEL MANTO DE MONDOÑEDO	45
4.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	50
4.1.	HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS MINERALES: DIAGRAMAS DE PIPER-HILL-LANGLIER	51
4.2.	FACIES HIDROQUÍMICAS.....	54
4.3.	RELACIONES IÓNICAS Y DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN DE DATOS.....	60
4.4.	INDICADORES DE CONTAMINACIÓN	67
4.4.1.	Contaminación por fuentes antrópicas	67
4.4.2.	Contaminación por fuentes naturales	69
5.	CONCLUSIONES	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 0	Aprovechamientos de aguas minerales de la Comunidad Autónoma de Galicia	11
Cuadro 1.1	Localización geográfica y geológica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de Arteixo	22
Cuadro 1.2	Medidas <i>in situ</i> de parámetros inestables. Unidad de Arteixo	22
Cuadro 1.3	Resultados de análisis geoquímico de laboratorio y clasificación hidroquímica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de Arteixo	23
Cuadro 1.4	Resultados de análisis de minoritarios y sólidos en suspensión (SS) de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de Arteixo	23
Cuadro 1.5	Otros análisis químicos de laboratorio indicadores de contaminación en las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de Arteixo	23
Cuadro 2.1	Localización geográfica y geológica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de Guitiriz	24
Cuadro 2.2	Medidas <i>in situ</i> de parámetros inestables. Unidad de Guitiriz	24
Cuadro 2.3	Resultados de análisis geoquímico de laboratorio y clasificación hidroquímica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de Guitiriz.....	25
Cuadro 2.4	Resultados de análisis de minoritarios y sólidos en suspensión (SS) de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de Guitiriz	25
Cuadro 2.5	Otros análisis químicos de laboratorio indicadores de contaminación en las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de Guitiriz.....	25

Cuadro 3.1	Localización geográfica y geológica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de la Depresión Meridiana	26
Cuadro 3.2	Medidas <i>in situ</i> de parámetros inestables. Unidad de la Depresión Meridiana	28
Cuadro 3.3	Resultados de análisis geoquímico de laboratorio y clasificación hidroquímica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de la Depresión Meridiana	30
Cuadro 3.4	Resultados de análisis de minoritarios y sólidos en suspensión (SS) de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de la Depresión Meridiana	31
Cuadro 3.5	Otros análisis químicos de laboratorio indicadores de contaminación en las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de la Depresión Meridiana	32
Cuadro 4.1	Localización geográfica y geológica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de O Carballiño - Berán	36
Cuadro 4.2	Medidas <i>in situ</i> de parámetros inestables. Unidad de O Carballiño - Berán	37
Cuadro 4.3	Resultados de análisis geoquímico de laboratorio y clasificación hidroquímica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de O Carballiño - Berán	37
Cuadro 4.4	Resultados de análisis de minoritarios y sólidos en suspensión (SS) de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de O Carballiño - Berán	37
Cuadro 4.5	Otros análisis químicos de laboratorio indicadores de contaminación en las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad de O Carballiño - Berán	38
Cuadro 5.1	Localización geográfica y geológica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidades de Ourense-Ribadavía y Baños de Molgas-Xunqueira de Ambía	39
Cuadro 5.2	Medidas <i>in situ</i> de parámetros inestables. Unidades de Ourense-Ribadavía y Baños de Molgas-Xunqueira de Ambía	40

Cuadro 5.3	Resultados de análisis geoquímico de laboratorio y clasificación hidroquímica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidades de Ourense-Ribadavía y Baños de Molgas-Xunqueira de Ambía	41
Cuadro 5.4	Resultados de análisis de minoritarios y sólidos en suspensión (SS) de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidades de Ourense - Ribadavía y Baños de Molías - Xunqueira de Ambía	41
Cuadro 5.5	Otros análisis químicos de laboratorio indicadores de contaminación en las muestras de agua mineral de Galicia. Unidades de Ourense-Ribadavía y Baños de Molías-Xunqueira de Ambía	41
Cuadro 6.1	Localización geográfica y geológica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad del río Támeга	42
Cuadro 6.2	Medidas <i>in situ</i> de parámetros inestables. Unidad del río Támeга	43
Cuadro 6.3	Resultados de análisis geoquímico de laboratorio y clasificación hidroquímica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad del río Támeга.....	44
Cuadro 6.4	Resultados de análisis de minoritarios y sólidos en suspensión (SS) de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad del río Támeга	44
Cuadro 6.5	Otros análisis químicos de laboratorio indicadores de contaminación en las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad del río Támeга	45
Cuadro 7.1	Localización geográfica y geológica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad del Dominio del Manto de Mondoñedo	46
Cuadro 7.2.	Medidas <i>ins situ</i> de parámetros inestables. Unidades del Dominio del Manto de Mondoñedo	47
Cuadro 7.3	Resultados de análisis geoquímicos de laboratorio y clasificación hidroquímica de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad del Dominio de Mondoñedo	48

Cuadro 7.4	Resultados de análisis de minoritarios y sólidos en suspensión (SS) de las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad del Dominio del Manto de Mondoñedo	49
Cuadro 7.5	Otros análisis químicos de laboratorio indicadores de contaminación en las muestras de agua mineral de Galicia. Unidad del Dominio del Manto de Mondoñedo	49
Cuadro 8	Aguas minerales de facies cloruradas sódicas y bicarbonatadas cálcicas: flujos someros, aguas poco evolucionadas	55
Cuadro 9	Aguas minerales bicarbonatadas sódicas, sulfuradas y fluoruradas: flujos de trayectoria larga	56
Cuadro 10	Aguas minerales de facies bicarbonatada clorurada sódica, sulfuradas y fluoruradas: flujos profundos de evolución química intermedia	58
Cuadro 11	Aguas minerales cloruradas sódicas, sulfuradas y fluoruradas: flujos profundos y muy evolucionadas	59
Cuadro 12	Aguas minerales de facies cloruradas sódicas y bicarbonatadas cálcicas: flujos someros, aguas poco evolucionadas. Sin señales de contaminación química	67
Cuadro 13	Signos de contaminación en las aguas minerales: concentraciones en amonio o nitritos mayores que 0,50 mg/l	68
Cuadro 14	Signos de contaminación en las aguas minerales: contenidos en boro >1,0 mg/l y fluoruros >1,5 mg/l	70
Cuadro 15	Signos de contaminación en las aguas minerales: hierro >200 µg/l, manganeso >50 µg/l y/o arsénico >10 µg/l	71
Cuadro 16	Signos de contaminación en las aguas minerales: concentraciones en manganeso >50 µg/l	72
Cuadro 17	Signos de contaminación en las aguas minerales: concentraciones en arsénico >10 µg/l	73
Cuadro 18	Signos de contaminación en las aguas minerales: aluminio >200 µg/l y/o níquel >20 µg/l	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Situación de los aprovechamientos de <i>aguas minerales</i> de Galicia.....	20
Fig. 2	Diagrams de Piper-Hill-Langelier de las aguas minerales de Galicia	52
Fig. 3	Tipo de facies hidroquímicas	55
Fig. 4a	Diagrama de dispersión rNa^+/rCl^-	60
Fig. 4b	Diagrama de dispersión $\log Na^+/\log Cl^-$	61
Fig. 5	Diagrama de dispersión T vs rNa^+/rCl^-	62
Fig. 6	Diagrama de dispersión C.E./T	62
Fig. 7a	Diagrama de dispersión rCa^{2+}/rMg^{2+}	64
Fig. 7b	Diagrama de dispersión $\log Ca^{2+}/\log Mg^{2+}$	64
Fig. 8	Diagrama de dispersión rB/rCl^-	65
Fig. 9	Diagrama de dispersión T/rB.....	66
Fig. 10	Caracterización hidroquímica	77

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se da cuenta del planteamiento, el desarrollo de las distintas actividades y los resultados obtenidos en los trabajos realizados para el “Estudio de la relación entre los componentes físico-químicos de las aguas minerales y las características geológicas de Galicia”, que ha sido promovido y desarrollado en el marco del convenio suscrito por la Consellería de Innovación, Industria y Comercio de la Xunta de Galicia y el Instituto Geológico y Minero de España –IGME–, del Ministerio de Educación y Ciencia.

En la Comunidad Autónoma de Galicia existe un aprovechamiento tradicional de las *aguas minerales*, tanto en aplicaciones balnearias como para su consumo como aguas envasadas. En el Estudio objeto del presente informe se ha controlado la calidad físico-química de 61 captaciones de agua, correspondientes a 27 aprovechamientos de *agua mineral*, ya sean balnearios –17–, plantas envasadoras –7– o ambos tipos de explotaciones –3–. En el cuadro 0 se resumen las principales características de los aprovechamientos hidrominerales e hidrotermales de Galicia.

La mineralización de un agua subterránea tiene lugar durante su recorrido por el subsuelo: el agua subterránea interacciona con la roca que alberga el flujo y disuelve los minerales que forman el esqueleto rocoso, incorporando sales en disolución (se mineraliza) en un proceso cuya intensidad depende de la solubilidad de los minerales presentes en el esqueleto rocoso, del tiempo de residencia del agua en el subsuelo y de la temperatura a la que tiene lugar el equilibrio termodinámico agua-roca.

En condiciones naturales, las aguas de áreas de recarga o de circulación somera en macizos graníticos o metamórficos –medios fisurados– se caracterizan por presentar temperatura fría, composición química bicarbonatada cálcica y mineralización débil o muy débil. En función de la longitud y penetración de la trayectoria del flujo subterráneo y de las posibles mezclas con aguas subterráneas someras, la composición del agua mineral se hace más cálcico-sódica o sódica; si los flujos presentan una fuerte componente vertical con trayectorias muy penetrantes y largos períodos de residencia en el subsuelo, el agua se vuelve cada vez más mineralizada, aumenta su temperatura, y su composición química evoluciona a clorurada sódica ó sódico-cálcica, con importantes concentraciones en sílice y fluoruros resultado de la disolución de fluorita y/o fluorapatitos, y con aparición, bajo condiciones reductoras, de sulfuros como consecuencia de la reducción de pirritas, sobre todo, en rocas metamórficas. Por su parte, las aguas localizadas en áreas próximas al mar, pueden presentar igualmente una composición clorurada sódica, como consecuencia de la mezcla con agua de precipitación, pero, a diferencia de las aguas propias de flujos profundos, su mineralización es baja.

En un contexto hidrogeológico e hidrogeoquímico como el esbozado, característico de Galicia, el objetivo del proyecto es el estudio de la relación existente entre la mineralización de las aguas subterráneas explotadas en los aprovechamientos

balnearios y de agua envasada de dicha Comunidad Autónoma, y las características químicas y mineralógicas de las formaciones rocosas que albergan los correspondientes flujos subterráneos, constituidas fundamentalmente por granitoides y metasedimentos del zócalo paleozoico.

Para alcanzar el objetivo general indicado, se han desarrollado las actividades que a continuación se describen:

- Identificación del marco geológico e hidrogeológico en el que se encuentran cada una de las surgencias y captaciones de *agua mineral* explotadas por los aprovechamientos (balnearios y de bebida envasada) existentes, a partir de la documentación consultada, especialmente los Mapas Topográficos y Geológicos a escala 1:50 000 y el informe “Galicia: Geología y Recursos Hidrominerales” (Ferrero, 2003).

De esta manera, el trabajo dio comienzo con la localización¹ de cada captación de agua mineral en las hojas topográficas 1:50 000, para situar su emplazamiento geográfico exacto, y en las hojas geológicas 1:50 000, con objeto de situarlas con respecto a la litología, fase orogénica, petrología y características estructurales y tectónicas del entorno en el que se desarrolla el sistema de flujo correspondiente.

- Clasificación y caracterización hidroquímica de las muestras de agua agrupándolas en las unidades hidrominerales descritas en el informe citado (Ferrero, 2003), para ordenarlas de acuerdo con las condiciones de litología y estructura en que se enmarca el sistema de flujo correspondiente y, de este modo, facilitar la interpretación de los resultados de campo y laboratorio, teniendo en cuenta la información petrológica y los resultados de las medidas de parámetros inestables en campo y laboratorio.
- Interpretación y discusión de los resultados reagrupados en función del tipo de facies hidroquímica, para establecer la relación entre el quimismo del agua y los procesos geoquímicos que parecen tener lugar en las formaciones que albergan el flujo subterráneo captado en cada aprovechamiento. Para tal fin, se ha procedido a la representación de las muestras de agua en un diagrama de Piper-Hill-Langelier y al cálculo de relaciones iónicas características. En último lugar, se sintetizan los resultados de la caracterización hidrogeoquímica con su representación espacial en polígonos de Stiff, y se obtienen las conclusiones derivadas de su análisis.

¹ Las muestras de agua se han referenciado de acuerdo con su localización en los octantes de los mapas topográficos y geológicos 1:50 000; las correspondientes a un mismo emplazamiento se subdividen por letras de abecedario, así la nº 45-1-1b, es la primera muestra tomada en el primer octante de la Hoja 45, y existen, al menos, dos manifestaciones de agua en dicho emplazamiento.

CUADRO 0. APROVECHAMIENTOS DE AGUAS MINERALES DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE GALICIA

Nº Pto.	Código AGMI	Nombre del aprovechamiento	Tipo de aprovechamiento	Código NIPA	Ref. Texto	Toponimia	Provincia	Municipio	Facies HQ
1	13150050001	Balneario de Arteixo	Balneario	50510001	45-1-1a	Balneario Arteixo-1	La Coruña	ARTEIJO	ClF)-Na (B)
2				50510002	45-1-1b	Balneario de Arteixo, Arteixo 2			ClF)-Na (B)
3	13150130001	B. Burga do Tremo	Balneario	40770006	94-7-1	Balneario Do Tremo	La Coruña	BRION	(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
4	13150190001	Baños viejos de Carballo	Balneario	40560001	44-6-1a	Carballo Fuente	La Coruña	CARBALLO	(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
5				40560004	44-6-1b	Carballo manant. B. Viejos de Carballo			(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
6				70580001	47-8-1a	Fontoira 1			HCO ₃ Ca
7	13270150001	Fontoira	Planta envasadora	70580002	47-8-1b	Fontoira-2	Lugo	COSPEITO	HCO ₃ Ca
8				70580003	47-8-1c	Fuente Fontoira			HCO ₃ Ca
9				60580003		Guitiriz S-2 Cogeneración			
10	13270220001	Guitiriz	Balneario	60580006		Guitiriz S-3 Campo de Golf	Lugo	GUITIRIZ	
11				60580007		Guitiriz S-1 Pinar			
12				60580008	46-8-1	Guitiriz Fuente San Juan			(SiHCO ₃ -Na
13	13270260001	Fontcesta	Planta envasadora	80720001	98-2-1	Fontcesta	Lugo	LANCARA	HCO ₃ CaNa
14				70680001	72-8-1a	Balneario de Lugo Manantial Central			(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
15				70680002	72-8-1c	Balneario de Lugo Pozo-2			(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
16	13270280001	Balneario de Lugo	Balneario	70680003	72-8-1b	Balneario de Lugo Pozo-3	Lugo	LUGO	(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
17				70680004	72-8-1d	Balneario de Lugo Pozo-4			(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
18				70680005	72-8-1e	Balneario de Lugo Manantial Piscina			(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
19	13270570001	Fontcecelta	Planta envasadora	80760001	98-6-1a	Fontcecelta S-1	Lugo	SARRIA	(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
20				80760002	98-6-1b	Fontcecelta S-2			(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
21	13320030001	Balneario de Arnoya	Balneario	61110020	225-1-1b	Balneario de Arnoya Pozo 1-B	Orense	ARNOYA	(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
22				61110021	225-1-1a	Balneario de Arnoya Pozo P-4	Orense	ARNOYA	(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
23	13320070001	Baños de Molgas	Balneario	71170001	226-7-1a	Baños de Molgas Fuente Caliente	Orense	BAÑOS DE MOLGAS	(SiHCO ₃ -Na (B)
24				71170014	226-7-1b	Baños de Molgas Fuente la charca	Orense	BAÑOS DE MOLGAS	(SiHCO ₃ -Na (B)
25	13320190001	Balneario do Carballiño	Balneario	61020002	187-2-1	Balneario de Carballiño	Orense	CARBALLINO	(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
26				61060001	187-6-1b	Caldas de Partovia Fuente del Prado	Orense	CARBALLINO	(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
27	13320190002	Caldas de Partovia	Balneario	61060002	187-6-1c	Caldas de Partovia Fuente de Baños	Orense	CARBALLINO	(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
28				61060003	187-6-1a	Caldas de Partovia Fuente Interior	Orense	CARBALLINO	(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
29	13320250001	Balneario de Laias	Balneario	61120001	225-2-1	Balneario de Laias	Orense	CENLLE	(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
30	13320360001	Fuente Baño	Balneario	71160001	226-6-1	Fuente Baño	Orense	JUNQUERA DE AMBIA	(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
31	13320850001	Cabreiros	Planta envasadora	81320002	303-2-1a	Cabreiros Pozo sin gas Nº 1	Orense	VERIN	(SiHCO ₃ (F)-Na
32				81320006	303-2-1b	Cabreiros Pozo con gas Nº 2	Orense	VERIN	(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
33	13320850002	Fontenova	Planta envasadora	81320001	303-2-2a	Fontenova Manantial Principal	Orense	VERIN	(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
34				81320007	303-2-2b	Fontenova Manantial nº 2	Orense	VERIN	(SiHCO ₃ (F)-Na (B)
35				81320003	303-2-3a	Sousas Manantial I (Tradicional)			(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
36				81320008	303-2-3c	Sousas Manantial II Sondeo nº 1			(SiHCO ₃ -Na
37	13320850003	Sousas	Balneario y Planta envasadora	81320009	303-2-3d	Sousas Manantial II Sondeo Nº 2	Orense	VERIN	(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
38				81320010	303-2-3c	Sousas Manantial II Sondeo nº 3			(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
39				81320011	303-2-3f	Sousas Manantial II Sondeo nº 4			(SiHCO ₃ -Na
40				81320012	303-2-3b	Sousas M-2			(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
41	13360030001	Aguasana	Planta envasadora	41250002	261-6-1	Aguasana M-1	Pontevedra	BAYONA	ClNa
42	13360050001	B. Davila las Burgas	Balneario	40930010	152-3-2	Balneario Davila Las Burgas	Pontevedra	CALDAS DE REYES	(SiClF)-Na (B)
43	13360050002	Balneario de Acuña	Balneario	40930009	152-3-1b	Balneario de Acuña Pozo Bomba	Pontevedra	CALDAS DE REYES	(SiClF)-Na (B)
44				40930012	152-3-1a	Balneario de Acuña Fuente Ojos	Pontevedra	CALDAS DE REYES	(SiClF)-Na (B)
45				40940001	152-4-1a	Balneario de Cuntis Pozo Huerta			(SiHCO ₃ ClF)-Na
46	13360150001	Balneario de Cuntis	Balneario	40940002	152-4-1c	Balneario de Cuntis Calle Real	Pontevedra	CUNTIS	(SiHCO ₃ ClF)-Na
47				40940003		Cuntis Plaza de Galicia			
48				40940010	152-4-1b	Manantial Hera Nueva			(SiHCO ₃ ClF)-Na
49				41010001	185-1-1f	Balneario La Toja Caliente Lateral			ClF)-Na (B)
50				41010002	185-1-1b	Balneario La Toja Huerta Fria			ClF)-Na (B)
51	13360220001	Balneario de la Toja	Balneario	41010003	185-1-1a	Balneario La Toja Huerta Caliente	Pontevedra	EL GROVE	ClF)-Na (B)
52				41010004	185-1-1d	Balneario La Toja Pozo Capilla			ClF)-Na (B)
53				41010005	185-1-1c	Balneario La Toja Pozo Paseo del Mar			ClF)-Na (B)
54				41010009	185-1-1e	Balneario La Toja Fabrica			ClF)-Na (B)
55	13360310001	Balneario de Mondariz	Balneario y Planta envasadora	51120001	224-5-2	Balneario de Mondariz Sabajanes	Pontevedra	MONDARIZ	(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
56				51150001	224-5-3c	Balneario Mondariz Fuente Troncoso			HCO ₃ (F)-Na (B)
57				51150002	224-5-3b	Balneario de Mondariz Fuente Gandara			HCO ₃ (F)-Na (B)
58	13360310001	Balneario de Mondariz	Balneario y Planta envasadora	51150004		Mondariz Fuente del Val-2	Pontevedra	MONDARIZ-BALNEARIO	
59				51150005		Mondariz-4			
60				51150009	224-5-3a	Balneario Mondariz Amorales			HCO ₃ (F)-Na (B)
61				41280001	261-8-1a	Manantial Mari Cruz	Pontevedra	TUY	SiClF-Na (B)
62	13360550001	Caldelas de Tuy	Balneario	41280007	261-8-1b	Caldelas de Tuy San Antonio	Pontevedra	TUY	SiClF-Na (B)
63				41280008	261-8-1c	Caldelas de Tuy San Francisco	Pontevedra	TUY	SiClF-Na (B)
64				50840005	121-4-2a	Baños de Brea Fuente termal	Pontevedra	VILLA DE CRUCES	(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
65	13360590001	Baños de Brea	Balneario	50840007	121-4-2b	Baños de Brea Sondeo Nº 5	Pontevedra	VILLA DE CRUCES	(SiHCO ₃ (F)-Na(B)
66				50840008	121-4-1	Baños de Brea Pozo patio	Pontevedra	VILLA DE CRUCES	SO ₄ (F)-Na(B)
67	13360600001	San Xines	Planta envasadora	40920004	152-2-1	Sarcines	Pontevedra	VILLAGARCIA DE AROSA	ClNa

2. MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

2.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

En la Comunidad Autónoma de Galicia afloran predominantemente materiales ígneos y metasedimentos de edades que van desde el Precámbrico al Devónico-Carbonífero Inferior. El Mesozoico –materiales calcáreos y arcillosos– no aflora en la parte emergida, y están representados materiales detríticos –arcillas, gravas y arenas– del Terciario y Cuaternario, que rellenan pequeñas cuencas.

Entre los materiales metasedimentarios aflorantes, los más abundantes en la parte central y occidental de Galicia son los esquistos y paragneises: y, en su parte oriental, las pizarras, areniscas, cuarcitas y calizas.

Aunque se han reconocido en algunos sectores estructuras de deformación debidas a eventos tectónicos anteriores a la Orogenia Hercínica o Varísca, son las estructuras y el metamorfismo desarrollado durante esta Orogenia lo que ha modificado sustancialmente las características originales de las rocas que actualmente afloran en Galicia. Durante la orogenia alpina se produjo un importante flujo térmico que originó, además de un metamorfismo regional, la formación de granitoides que ocupan gran parte del territorio de Galicia, sobre todo en los sectores central y occidental. Durante los últimos estadios compresivos de la Orogenia Alpina (compresión N-S), se produjo la reactivación de fracturas hercínicas y la formación de nuevas fracturas.

En cuanto a la deformación, cuya intensidad aumenta, en general, de Este a Oeste, se admite la existencia de tres fases generalizadas de edad hercínica y localmente algunas estructuras tardi- y post-hercínica, así como la existencia de estructuras asignables a los movimientos alpinos. Las dos primeras fases de deformación (D1 y D2) hercínica se produjeron en un régimen de esfuerzos tangenciales que originaron en la primera fase pliegues acostados con la vergencia al Este, con una foliación de plano axial asociada del tipo “slate clivage”. En la segunda fase se produjeron cabalgamientos hacia el Este con un desarrollo de una foliación tectónica en el entorno de planos de cizalla. La tercera fase (D3) produjo un plegamiento que verticalizó las estructuras anteriores; el metamorfismo regional aumentó en intensidad hacia el Oeste, y es de forma general polifásico, plurifacial y progrado, existiendo en algunos sectores un importante metamorfismo retrógrado o retrometmorfismo.

El magmatismo prehercínico está representado por ortogneisises glandulares muy deformados y el magmatismo hercínico está representado por distintos tipos de granitoides originados, sobre todo, durante las etapas de relajación de los esfuerzos compresivos hercínicos. Así, entre las fases de deformación D1 y D2, se produjo la intrusión de los granitoides clacoalcalinos biotíticos que constituyen las denominadas “granodioritas precoces”. Principalmente, desde los últimos momentos de la fase D2 y

hasta la fase D3, se formaron los granitoides de la serie alcalina que constituyen los denominados “granitoides sincinemáticos de dos micas” que tienen carácter intrusivo, y los “granitoides inhomogéneos” originados por anatexis, que representan secotes en los que la presencia de enclaves y estructuras migmatíticas son abundantes. Con posterioridad a la fase D3 intruyeron los granitoides calcoalcalinos biotíticos que constituyen cuerpos circunscritos que no presentan deformación tectónica significativa y que se agrupan bajo la denominación de “granitoides postcinemáticos”.

Durante el periodo tardihercínico se produjeron sistemas de fracturas normales y de desgarre que, en gran medida, se reactivaron con posterioridad a la Orogenia Hercínica, como consecuencia de la extensión cortical E-O, con la que se relaciona la apertura del océano Atlántico durante el Mesozoico, y de los esfuerzos compresivos N-S durante la Orogenia Alpina. Se trata de varios sistemas de fracturas con desgarre conjugadas NO-SE y NE-SO (y NNE-SSO), así como las fracturas E-O con caracteres de fallas normales o de desgarre, y las N-S que constituyen un sistema de fallas normales.

Una aproximación a las relaciones entre la presencia de manifestaciones de aguas minerales con o sin relación termal y las características geológicas de Galicia se realiza en Ferreo (2003). Parece clara la relación entre las aguas minerales con la fracturación tardi-posthercínica; de hecho, parece haber una estrecha asociación entre las aguas minerales con relación termal y la fracturación con direcciones NNE-SSO, N-S y NE-SO y su conjugada NO-SE; mientras que a las direcciones NE-SO y N-S parecen asociarse la mayor parte de las aguas sin características termales. Esta fracturación afecta tanto a las rocas metamórficas como a las ígneas. El binomio litología-fracturación parece controlar la localización de las aguas minerales sin relación termal, mientras que la aparición de las aguas termales parece gobernada por el binomio granitoides –sobre todo de la serie alcalina– y fracturación.

La distinta distribución de los materiales metasedimentarios, la mayor intensidad del metamorfismo desde el Este al Oeste, así como la mayor presencia de magmatismo ácido e intermedio en un nivel cortical más profundo hacia el Oeste, parece estar en correspondencia con la distribución de los distintos tipos de aguas minerales termales o no en las diferentes zonas paleogeográficas en las que suele dividirse el Hercínico del noroeste peninsular (Ferreo, 2003), tal como se detalla a continuación:

1. Zona Asturoccidental-Leonesa y Zona Centro-Ibérica: no se ha señalado la presencia de aguas con relación termal; en zonas de fractura, que cortan predominantemente a pizarras, areniscas, cuarcitas, calizas y magnesitas en la primera Zona, y también a gneises en la segunda, surgen aguas de temperaturas frías.
2. En la Zona de Galicia-Trás os Montes, donde el metamorfismo es más intenso

–constituido por esquistos, gneises, anfibolitas y vulcanitas– y no existen formaciones calcáreas, hay pocas manifestaciones de aguas minerales con relación termal.

Según el análisis realizado por Ferrero (2003), casi un 50% de las aguas minerales cuya presencia puede asociarse a rocas graníticas, tienen relación termal, y, la mayoría de esta agua, se asocian con granitos de la serie alcalina (granitos de dos micas deformados, sincinemáticos) y, en segundo lugar, con los granitoides postcinemáticos (sin deformación significativa) de la serie calcoalcalina con predominio de biotita (granitos y granodioritas). El mayor número de manifestaciones se sitúa en el Dominio Esquistoso de Galicia-Trás os Montes –seguramente, por la mayor extensión de estos granitoides en este Dominio– y donde la relación del binomio granitoides-fracturación con el termalismo se pone claramente de manifiesto.

2.2. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

En líneas generales, el territorio de la Comunidad Autónoma de Galicia corresponde geológicamente a formaciones de rocas consolidadas –graníticas o metamórficas (esquistos, pizarras, ...)- con algunos sectores recubiertos por materiales sedimentarios detríticos poco consolidados (fondos de valle, rasas costeras,..) o consolidados (rellenos terciarios de fosas tectónicas). Desde el punto de vista hidrogeológico, las formaciones sedimentarias albergan circulaciones subterráneas someras, con flujo subhorizontal frío, con el nivel de agua situado a reducida profundidad.

Las formaciones graníticas o metamórficas constituyen medios fisurados que, más que acuíferos extensivos y más o menos homogéneos, albergan sistemas de flujo subterráneo que se desarrollan a favor de redes de fracturas interconectadas entre sí y que se pueden encuadrar en dos modelos:

- Sistemas de flujo somero, básicamente asimilables a los medios sedimentarios, por los que tiene lugar una circulación subterránea fría y poco mineralizada.
- Sistemas de flujo profundos que dan lugar a aguas más o menos mineralizadas (bicarbonatadas cálcicas, sódicas o mixtas), con prolongados periodos de permanencia en el subsuelo y carácter generalmente termal.

La circulación subterránea en sistemas de flujo más o menos profundo en granitoides y rocas metamórficas responde a un esquema hidrodinámico tridimensional que presenta los siguientes rasgos esenciales:

- Los principales factores que condicionan la hidrogeología y el comportamiento hidrodinámico de un medio fisurado son, en general, la red de fracturación (direcciones, densidad, conductividad y conectividad) y la

configuración topográfica del terreno (diferencia de altitud y proximidad entre las áreas de recarga y descarga del flujo subterráneo).

- En general, un macizo fisurado presenta una configuración litológica en la que se pueden establecer 3 unidades petro-estructurales superpuestas, de distinto comportamiento hidrodinámico: la parte más superficial es la formada por la zona de alteración meteórica, asimilable a un medio poroso homogéneo e isótropo; inmediatamente por debajo de la zona meteorizada se encuentra una franja de roca alterada y descomprimida –FAD–, que conserva su cohesión y está afectada por las redes de fracturación y diaclasado. Por debajo de la FAD se encuentra la zona de roca sana con fracturas, que se comporta como un medio heterogéneo y anisótropo de baja o muy baja permeabilidad.

El esquema de circulación subterránea en el seno de un macizo granítico fisurado es, básicamente, el propio de un acuífero libre, de baja permeabilidad y muy considerable espesor, que se recarga exclusivamente por infiltración de lluvia.

Las zonas de mayor permeabilidad, que albergan circulaciones de agua subterránea de mayor o menor entidad, se localizan en los contactos entre los granitos y granodioritas con los materiales paleozoicos, y en zonas de fracturas en el seno de las propias rocas ígneas. A grandes rasgos, las zonas favorables al desarrollo de sistemas de flujo, de los tipos indicados, aparecen en:

1. Granitos de dos micas de la serie alcalina afectados por fracturación de desarrollo profundo.
2. Granitos y granodioritas biotíticas, de la serie calcoalcalina, afectados por fracturación de desarrollo profundo.
3. Rocas metamórficas (pizarras, cuarcitas, areniscas, calizas, gneiese, etc.) fracturadas.
4. Depósitos detríticos del Terciario y Cuaternario.

Las aguas termales y su implicación termal se localizan en su práctica totalidad en sistemas de flujo relacionados con las características geológicas de granitos de dos micas (1) y granitos y granodioritas biotíticas (2). Las aguas frías, sin relación termal, se localizan en todas las zonas. Las aguas con implicación termal que aparecen en depósitos detríticos (4) proceden de alguna de las rocas ígneas descritas en los apartados 1 y 2, y que constituyen el sustrato.

En Ferrero (2003) se distinguen, con carácter preliminar, 12 unidades hidrominerales, que han servido como base para agrupar las muestras de agua mineral tomadas en Galicia y, de este modo, facilitar su asociación con la unidad litológica o petrológica y las características estructurales y tectónicas del sector que alberga el sistema de flujo subterráneo correspondiente:

- Unidad de Arteixo
- Unidad Beo-Carballo
- Unidad de Guitiriz
- Unidad de la Depresión Meridiana
- Unidad O Carballiño-Berán
- Unidad Ribadavia-Taboada
- Unidad Avia-Arnoia
- Unidad Ribadavia-Cortegada
- Unidad Ourense-Ribadavia
- Unidad Baños de Molgas-Xunqueira de Ambía
- Unidad de Río Caldo-Río Limia
- Unidad del Río Támega

La agrupación en unidades hidrominerales se ha utilizado como referencia para llevar a cabo el análisis y la interpretación de los datos hidrogeoquímicos de las distintas muestras de aguas analizadas en el marco del Estudio, cuya descripción se refleja en el capítulo siguiente.

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS MINERALES Y UNIDADES HIDROMINERALES

De las manifestaciones de aguas minerales existentes en Galicia se ha tomado un total de 62 muestras en 27 aprovechamientos –balnearios o plantas de envasado– (Fig. 1) que pueden agruparse en las siguientes Unidades Hidrominerales propuesta por Ferrero (2003) con carácter preliminar:

- Unidad de Arteixo: Balneario de Arteixo (45-1-1) con dos manantiales de aguas calientes o termales. Se tomaron dos muestras.
- Unidad de Guitiriz: Balneario de Guitiriz (46-8-1) con un manantial de agua fría. Se tomó una muestra.
- Unidad Beo-Carballo (Falla de Beo): Baños Vello de Carballo (44-6-1) con dos captaciones de aguas termales. Se tomaron dos muestras. Las aguas de este balneario se hallan en la intersección de la Depresión Meridiana, motivo por el cual, en la descripción de los datos, se tratarán conjuntamente.
- Unidad de la Depresión Meridiana: Aprovechamientos de aguas termales o con implicación termal en el Balneario do Tremo –Nosa Sra. Dos Anxos– (94-7-1), Baños de Brea (121-4-1 y 121-4-2), Balneario de Cuntis (152-4-1), Caldelas de Tui (261-8-1), Balneario de Mondariz (224-5-3), Balneario de A Toxa (185-1-1), Balneario de Acuña (152-3-1) y Balneario Dávila (152-3-2). No presentan implicación termal las aguas para envasado de San Xínés (152-2-1), Aguasana –Agua Sá– (261-6-1) y algunas de las aguas del Balneario de Mondariz (224-5-2). El total de muestras fue de 26, la mayoría de ellas termales o con implicación termal.
- Unidad O Carballiño-Berán: Balnearios de Partovia y de Carballiño (187-2-1 y 187-6-1), ambos con aguas termales, de las que se tomaron cuatro muestras.
- Unidad Ourense-Ribadavía: Balnearios de Arnoia (225-1-1) y de Laias (225-2-1), con aguas termales de las que se tomaron tres muestras.
- Unidad Baños de Molgas-Xunqueira de Ambía: Balneario de Baños de Molgas y Fonte Bañiño (226-6-1 y 226-7-1), ambas manifestaciones con aguas termales. Se tomaron tres muestras.
- Unidad del Río Támega: Plantas envasadoras de Cabreiroá, Fontenova y Sousas (303-2-1, 303-2-2 y 303-2-3), con aguas frías a templadas. En total se tomaron diez muestras en esta Unidad.

Así mismo, en el Domino del Manto de Mondoñedo –Zona Asturoccidental-Leonesa–, se ha tomado muestras de agua mineral en las plantas envasadoras de Fontoira (47-8-1: tres muestras), Fontecelta (98-6-1: dos muestras) y Fontexesta, (98-2-1: una muestra) y en el Balneario de Lugo (72-8-1), de aguas termales, donde se tomaron cinco muestras de agua.

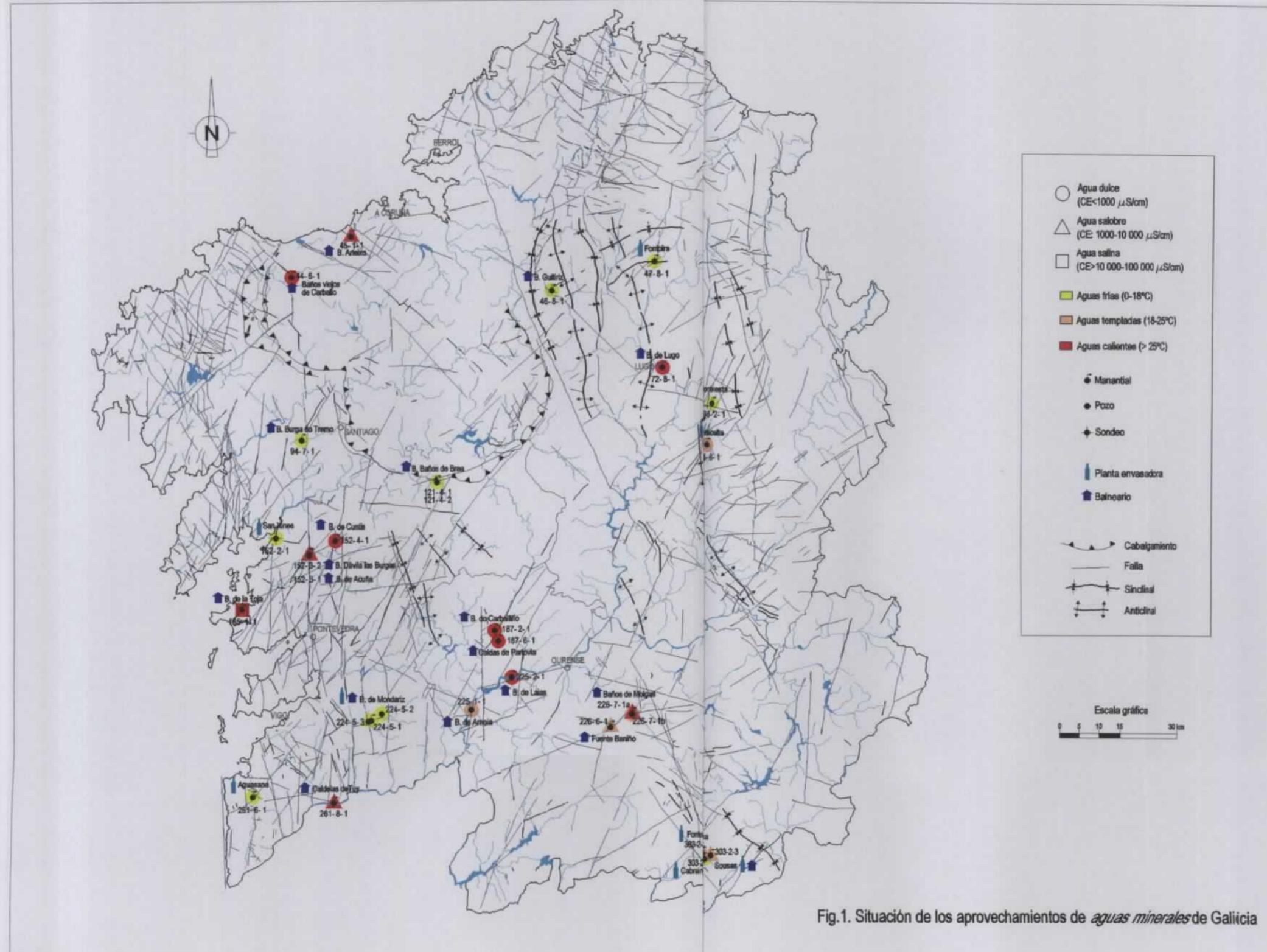


Fig.1. Situación de los aprovechamientos de *aguas minerales* de Galicia

Con objeto de conocer la características físico-químicas de las aguas a estudio, se realizaron medidas *in situ* de los parámetros inestables: temperatura ambiente, temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica, concentración de oxígeno disuelto – en mg/l y tanto por ciento– y condiciones redox (Eh). En laboratorio se han determinado los siguientes parámetros y elementos:

- a. Determinaciones de pH y conductividad eléctrica; análisis de iones mayoritarios, y detección de elementos minoritarios característicos de aguas termales boro, fluoruros y sulfuros.
- b. Otros elementos minoritarios y traza: Cu, Zn, Fe, Mn, Cr, Cd, Pb, As, Se, Hg, Al, Co, Ba, Ag, Be, Ni, Sb y V, previa filtración y acidificación con nítrico, además de la cuantificación de sólidos en suspensión –SS–.
- c. Otros análisis de laboratorio indicativos de contaminación potencial: bromatos, fosfatos, detergentes, cianuros, residuo seco –a 180° C–, oxidabilidad al permanganato potásico, fenoles, anhídrido carbónico libre, color, turbidez y radiactividades alfa y beta.

A partir de dicha información, en una primera fase se han clasificado las muestras de acuerdo con su localización en las unidades hidrominerales, para su caracterización hidrogeoquímica y, en una segunda fase, se han intentado establecer los procesos geoquímicos de interacción agua-roca determinantes de las distintas facies hidroquímicas identificadas.

Seguidamente, se describen por unidades las características hidrogeoquímicas de las aguas muestreadas, en relación con la naturaleza de las formaciones que albergan las correspondientes circulaciones de agua subterránea.

3.1. UNIDAD DE ARTEIXO

La Unidad de Arteixo está localizada en la provincia de La Coruña. Desde un punto de vista geológico, se caracteriza por presentar una banda de fracturación NO-SE (Fig. 1) que afecta a granitos de dos micas, granodioritas y granitos biotíticos precoces, y a esquistos del Precámbrico-Ordovícico. Se tomaron dos muestras de agua (45-1-1a y 45-1-1b), en sendos manantiales del Balneario de Arteixo (Cuadro 1.1), que descargan a través de una serie de fracturas y diaclasas de la granodiorita precoz. La existencia de tales estructuras favorece la meteorización química de la roca, la circulación profunda y un tiempo largo de residencia del agua, que, además de una mineralización elevada y pH básicos, pueden ocasionar termalismo.

CUADRO 1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA									
UNIDAD DE ARTEIXO									
DENOMINACIÓN	Nº Ref.	UTM X	UTM Y	TÉRMINO MUNICIPAL	NATURALEZA CAPTACIÓN	LITOLOGÍA	FRACTURACIÓN Y ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA	INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA
B. Arteixo 1	45-1-1a	540075	4794750	ARTEIXO	MANANTIALES	ESQUISTOS-GRANODIORITA BIOTÍTICA PRECOZ	FRACTURACIÓN SUBVERTICAL NO-SE Y DIACLASADO DENSO	Las surgencias se producen en la zona de contacto por falla entre esquistos muy alterados y la granodiorita	Se trata de fracturas y diaclasas subverticales en el granito que favorecen la meteorización química de la roca y su termalismo
B. Arteixo 2	45-1-1b								

En efecto, las medidas *in situ* efectuadas en octubre de 2003 (Cuadro 1.2) señalan aguas de temperatura² caliente (36° C), pH prácticamente neutro (7,2) que parece indicar mezcla de agua, mineralización fuerte (3500-3600 µS/cm), alta oxigenación (>90% de O₂ disuelto) y ambiente débilmente oxidante (≈ 200 mV).

Cuadro 1.2. MEDIDAS <i>IN SITU</i> DE PARÁMETROS INESTABLES											
UNIDAD DE ARTEIXO											
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas <i>in situ</i>	Tº AGUA (° C)	pH	C.E. (µS/cm)	O ₂ dis. (mg/l)	O ₂ dis. (%)	Eh (mV)	OBSERVACIONES	DISCUSIÓN RESULTADOS	
B. Arteixo 1 (La Coruña)	45-1-1a	oct-03	36,2	7,2	3500		101,4	205	El pH de laboratorio es igual a 7,8. Se deduce una concentración de O ₂ disuelto de 8 ppm	Son aguas termales, débilmente alcalinas, fuertemente mineralizadas, muy oxigenadas y oxidantes	
B. Arteixo 2 (La Coruña)	45-1-1b	oct-03	35,9	7,2	3600		93,8	187	El pH de laboratorio es igual a 7,7. Se deduce una concentración de O ₂ disuelto de 8 ppm		

Respecto a los resultados del análisis de otros elementos minoritarios y traza (Cuadro 1.4), se ha detectado: Mn (≈ 50 µg/l), cuyo origen puede estar en la reducción de óxidos de manganeso –lo que confirmaría las condiciones reductoras del medio–; Al (≈ 40 µg/l), cuya procedencia parece estar en la hidrólisis de aluminosilicatos del granito; y V (≈ 28 µg/l), cuya presencia está naturalmente asociada a procesos bioquímicos de materia orgánica (vegetales, carbón y petróleo)³.

Por otro lado, tal vez como resultado de la mezcla con agua de mar, se detecta la presencia de Ba (10-25 µg/l), que se forma a partir de la disolución de sulfatos o carbonatos de bario, y de Ag (≈ 1 µg/l), cuyo origen está en los sulfuros o cloruros de plata. La presencia de estos elementos traza en solución parece estar en relación con la aparición de sólidos en suspensión (0,6-0,8 mg/l), puesto que suelen hallarse en estado coloidal en el agua.

² Se consideran aguas frías las que presentan temperaturas inferiores a 18° C; templadas, entre 18 y 25,5° C, y calientes o termales, superior a 25,5° C.

³ En condiciones normales, su contenido en las aguas superficiales y subterráneas raramente supera los 10 µg/l

En cuanto a los análisis de laboratorio indicadores de contaminación en las muestras de agua del balneario de Arteixo (Cuadro 1.5) se han detectado cianuros en solución (7-8 µg/l), así como valores altos de radiactividad. Las medidas de oxidabilidad (<5 mg/l de O₂) señalan que no parece haber contaminación orgánica en estas muestras de agua.

Las aguas termales de la Unidad de Arteixo son salobres y cloruradas-fluoruradas sódicas. Su composición química parece corresponder a un agua de circulación profunda en granodioritas, que se mezcla en la zona de descarga con agua de mar o con agua subterránea somera que, dada la proximidad a la costa, debe de tener una facies clorurada.

CUADRO 1.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS GEOQUÍMICO EN LABORATORIO Y CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA																				
UNIDAD DE ARTEIXO																				
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas in situ	pH	C.E. (µS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂	NO ₃	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F	S ²⁻	FACHS HQ
					mg/l											µg/l	mg/l			
B. Arteixo 1 (La Coruña)	45-1-1a	sep-03	7,8	3503	590	30	43	2	1010	29	106	0	3,0	<0,05	<0,05	64	1199	8,00	4,0	Cl(F)-Na (B)
B. Arteixo 2 (La Coruña)	45-1-1b	sep-03	7,7	3563	601	30	74	1	1050	29	112	0	3,0	<0,05	0,20	65	1207	9,00	4,0	Cl(F)-Na (B)

CUADRO 1.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MINORITARIOS Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (SS) DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA																					
UNIDAD DE ARTEIXO																					
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas in situ	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd	Pb	As	Se	Hg	Al	Co	Ba	Ag	Be	Ni	Sb	V	SS
			µg/l																	mg/l	
B. Arteixo 1 (La Coruña)	45-1-1a	sep-03	<0,05	<0,05	<20	47	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	41,6	<2	25,5	1,10	<4	6,4	<0,4	27,00	0,6
B. Arteixo 2 (La Coruña)	45-1-1b	sep-03	<0,05	<0,05	<20	51	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	42,4	<2	10,4	0,92	<4	<4	<0,4	28,50	0,8

CUADRO 1.5. OTROS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LABORATORIO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA															
UNIDAD DE ARTEIXO															
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas in situ	bromatos (BrO ₃)	fosfatos (P ₂ O ₅)	Detergentes	CN	Residuo seco (180° C)	oxidabilidad al MnO ₂ /K	fenoles	CO ₂ libre	color	turbidez	Radiactividad α total	Radiactividad β total	
			mg/l											Bq/l	
B. Arteixo 1 (La Coruña)	45-1-1a	sep-03	NA	<0,04	<0,05	0,008	2473	2,5	<0,005	1,1	<5	<1	<0,234	0,904±0,242	
B. Arteixo 2 (La Coruña)	45-1-1b	sep-03	NA	<0,04	<0,05	0,007	2537	2,2	<0,005	<1,1	<5	<1	0,189±0,156	1,102±0,248	

3.2. UNIDAD DE GUITIRIZ

La Unidad de Guitiriz se halla en la provincia de Lugo; sus aguas surgen a través de materiales sedimentarios del Terciario y Pliocuaternario, que se sitúan sobre granitos de dos micas y granodioritas y granitos biotíticos precoces del Macizo de Guitiriz. La fracturación es tardi-posthercínica con dirección NO-SE (Fig. 1).

Se han examinado las aguas del balneario de Guitiriz con la toma de una muestra de ref. 46-8-1 (Cuadro 2.1), que se ubica en el Dominio del anticlinorio de Olo de Sapo, en la zona geológica Centro-Ibérica. Los sedimentos terciarios se caracterizan por su carácter detrítico (arcillas y arcillas arenosas); luego, no es de esperar termalismo ni fuerte mineralización en esta surgencia. Sin embargo, si parecen tener relación termal, por lo que su circulación profunda puede relacionarse con la fracturación señalada.

CUADRO 2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA									
UNIDAD DE GUITIRIZ									
DENOMINACIÓN	Nº Ref.	UTM X	UTM Y	TÉRMINO MUNICIPAL	NATURALEZA CAPTACIÓN	LITOLOGÍA	FRACTURACIÓN Y ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA	INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA
B. Guitiriz	46-8-1	590025	4781200	GUITIRIZ	MANANTIAL	sedimentos detríticos terciarios (arcillas + arcillas arenosas) sobre macizo hercínico granodiorítico (granodiorita precoz con megacrístales)	FRACTURACIÓN TARDI-POSTHERCÍNICA NO-SE	La surgencia se produce en los sedimentos terciarios, que se depositan sobre granitos y granodioritas con fracturación.	<i>La fracturación de las rocas ígneas parecen favorecer la circulación profunda del agua subterránea, y, por tanto, cierta relación termal.</i>

El agua de los manantiales del balneario de Guitiriz (Cuadros 2.2 a 2.5) se caracteriza por su temperatura fría, elevada basicidad (9,5) y débil mineralización, así como por su composición bicarbonatada sódica y sulfurada. Se ha detectado la presencia de hierro (330 µg/l), manganeso (4,2 µg/l) y mercurio (1,8 µg/l) en solución, cuya presencia puede estar ligada a aguas residuales, aunque, no se puede descartar un origen natural; no se han detectado otros signos de contaminación química.

Cuadro 2.2. MEDIDAS <i>IN SITU</i> DE PARÁMETROS INESTABLES										
UNIDAD DE GUITIRIZ										
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas <i>in situ</i>	Tº AGUA (° C)	pH	C.E. (µS/cm)	O ₂ dis. (mg/l)	O ₂ dis. (%)	Eh (mV)	OBSERVACIONES	DISCUSIÓN RESULTADOS
B. Guitiriz (Lugo)	46-8-1		17,3	9,5	354					

La aparición de sulfuros, hierro y manganeso indican condiciones anóxicas y reductoras. La facies bicarbonatada sódica se explica por la existencia de procesos de intercambio catiónico entre el agua y los minerales de la arcilla, favorecidos por la precipitación de calcita (CaCO₃) a dicho pH básico (>8,2).

CUADRO 2.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS GEOQUÍMICO EN LABORATORIO Y CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA																				
UNIDAD DE GUITIRIZ																				
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	pH	C.E. (µS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F	S ²⁻	FACHS HQ
mg/l											µg/l		mg/l							
B. Guitiriz (Lago)	46-8-1		9,5	354	83	0,83	2,3	0,094	29,3	15,3	74	<1	<0,10	<0,10	1,01	20			66,0	(5)HCO ₃ -Na

CUADRO 2.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MINORITARIOS Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (SS) DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA																					
UNIDAD DE GUITIRIZ																					
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	Cu	Zn	Pb	Mn	Cr	Cd	Pb	As	Sr	Hg	Al	Co	Ba	Ag	Ba	Ni	Sb	V	SS
			mg/l											µg/l							mg/l
B. Guitiriz (Lago)	46-8-1		0,0014	0,01	330	4,2	<0,5		<1,1	<0,3		1,8									

CUADRO 2.5. OTROS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LABORATORIO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL														
UNIDAD DE GUITIRIZ														
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	bronatos (BrO ₃ ⁻)	fosfatos (PO ₄ ³⁻)	Detergentes	CN	Residuo seco (180° C)	oxidabilidad al MnO ₂ /K	fenoles	CO ₂ libre	color	turbidez	Radioactividad total	Radioactividad β total
mg/l											Bq/l			
B. Guitiriz (Lago)	46-8-1			<0,11			202	0,8						

3.3. UNIDAD DE LA DEPRESIÓN MERIDIANA

En la descripción de las muestras localizadas en esta unidad se incluye también las de la Unidad de Beo-Carballo, por hallarse en la intersección con la Unidad de la Depresión Meridiana; por tanto, en este apartado se tratan las muestras de agua tomadas en la franja occidental de Galicia, desde Carballo (en La Coruña, al norte) hasta Tuy (en Pontevedra, al sur). En ella se encuentra el grueso de los aprovechamientos gallegos; en concreto, se han estudiado 9 balnearios y 4 plantas envasadoras localizadas en 11 términos municipales de La Coruña y Pontevedra.

Desde un punto de vista estructural (Cuadro 3.1), la unidad presenta una elevada densidad de fracturación, con direcciones principales N-S (NNO-SSE), NO-SE y NE-SO (Fig. 1). Se distinguen las siguientes zonas de captaciones de *agua mineral*:

- 4 balnearios y 1 planta envasadora en los que se han controlado 7 captaciones (94-7-1; 261-1-1; 44-6-1a, 44-6-1b; 121-4-1; 121-4-2a y 121-4-2b) en sistemas que descargan en rocas metamórficas prehercínicas,
- 1 planta envasadora que se abastece de un sondeo perforado (152-2-1) en rocas graníticas hercínicas,
- 3 balnearios (152-4-1a, 152-4-1b, 152-4-1c; 261-8-1a, 261-8-1b, 261-8-1c, y 224-5-2) y 2 plantas envasadoras (224-5-1; 224-5-3a, 224-5-3b y 224-5-3c)

- que aprovechan el agua de 11 captaciones situadas en depósitos cuaternarios sobre rocas graníticas poshercínicas, y
- 3 balnearios en los que se han examinado 7 pozos (185-1-1a a 185-1-1f y 152-3-2) y 2 manantiales (152-3-1a y 152-3-1b) localizados en granitos calcoalcalinos tardihercíncios.

CUADRO 3.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA							
UNIDAD DEPRESIÓN MERIDIANA							
DENOMINACIÓN	Nº Ref	UTM X	UTM Y	TÉRMINO MUNICIPAL	NATURALEZA CAPTACIÓN	LITOLOGÍA	INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA
Do Tremo-B. Nosa. Sra. dos Anxeles	94-7-1	527600	4744900	BRIÓN	MANANTIAL	esquistos con algunos niveles de cuarcitas	<i>La fracturación favorece la circulación del agua subterránea a su través; la composición química del agua está condicionada por los procesos de interacción con los minerales de la roca, su tiempo y velocidad de tránsito.</i>
Agua Sana M-1	261-6-1	515776	4657710	BAYONA	MANANTIAL	Rocas metamórficas (pizarras + esquistos + paraneis) e ígneas (granito)	
Baños Vellos de Carballo, fuente	44-6-1a	525250	4784825	CARBALLO	MANANTIAL	anfíboles + neis + esquistos verdes (anfíboles de Carballo)	
Baños Vellos de Carballo, manantial	44-6-1b						
B. Brea, pozo patio	121-4-1	561431	4734600	VILA DE CRUCES	POZO	anfíboles + paraneis + esquistos verdes (Anfíboles)	
B. Brea, fuente termal	121-4-2a	561462	4734588		MANANTIAL		
B. Brea, sondeo nº 5	121-4-2b	561425	4734603		SONDEO		
San Xines	152-2-1	521125	4721100	VILLAGARCÍA DE AROSA	SONDEO	granitoide migmatítico hercínico	<i>El sistema de fracturas y diaclasas que atraviesan estas rocas favorecen la circulación del agua subterránea, si bien está condicionada porque algunas de las fracturas están cicatrizadas por diques de cuarzo y pegmatitas.</i>
B. Cuntis, pozo huerta	152-4-1a	535850	4720611	CUNTIS	POZO	depósitos detríticos sobre rocas graníticas hercínicas	
B. Cuntis manantial Hera Nueva	152-4-1b	535824	4720408		MANANTIAL		
B. Cuntis manantial Calle Real	152-4-1c	535885	4720542		MANANTIAL		
Caldelas de Tuy, manantial Maricruz	261-8-1a	535868	4656109	TUY	MANANTIAL	depósitos detríticos río Miño sobre granito de dos micas poco deformado	<i>La fracturación y foliación de estas rocas está muy poco desarrollada, por lo que la velocidad de circulación del agua es más lenta y el tiempo de tránsito mayor.</i>
B. Caldelas de Tuy, sondeo S. Antonio	261-8-1b	535882	4656143		POZO		
B. Caldelas de Tuy, S. Francisco	261-8-1c	535893	4656204		MANANTIAL		

CUADRO 3.1. (cont.) LOCALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA							
UNIDAD DEPRESIÓN MERIDIANA							
DENOMINACIÓN	Nº Ref	UTM X	UTM Y	TÉRMINO MUNICIPAL	NATURALEZA CAPTACIÓN	LITOLOGÍA	INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA
Fuente del Val	224-5-1	544775	4676350	MONDARÍZ	MANANTIAL	depósitos detríticos, aluviales y coluviales sobre granito equigranular de grano medio a fino, de dos micas con feldespato alcalino	<i>Las fracturas de dirección NNO-SSE que intruyen a las rocas migmatíticas, favorecen la circulación del agua subterránea a su través.</i>
B. Mondariz Sabajanes	224-5-2	547393	4677994	PUENTE-AREAS	POZO		
B. Mondariz Amorales	224-5-3a	544060	4676176		POZO		
B. Mondariz F. Gandara	224-5-3b	544215	4675289		MANANTIALES		
B. Mondariz F. Troncoso	224-5-3c	543395	4675258				
B. La Toja P. Patio Caliente	185-1-1a	512717	4703677	O GROVE	POZOS	granodiorita y granito biotítico anfibolítico	<i>El conjunto de fracturas y diaclasas subverticales muy claras de dirección NO-SE y NE-SO que existen en estas rocas afectan al quimismo del gua subterránea.</i>
B. La Toja P. Patio Frío	185-1-1b	512720	4703686				
B. La Toja P. Paseo del Mar	185-1-1c	512733	4703663				
B. La Toja Pozo Capilla	185-1-1d	512727	4703714				
B. La Toja Sotano Frío	185-1-1e	512699	4703706				
B. La Toja Sotano Caliente	185-1-1f	512692	4703701				
B. Acuña, Fte. Ojos	152-3-1a	529350	4716875	CALDAS DE REYES	MANANTIALES	depósitos detríticos sobre granodiorita biotítica de Caldas de Reyes: intrusión tardihercínica	
B. Acuña	152-3-1b						
B. Dávila	152-3-2	529375	4717100		POZO		

En lo relativo a sus características hidroquímicas (Cuadros 3.2 a 3.5), se trata de aguas frías a termales (15-54° C), débilmente ácidas a básicas (5,9-9,1), de mineralización débil a muy fuerte (368-46300 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sin que se observe una relación clara entre la temperatura y el pH de estas muestras, pero sí entre la temperatura y la conductividad eléctrica, como sucede en las aguas termales del Balneario de la Toja (185-1-1a a 185-1-1f), que llegan a ser salinas.

Cuadro 3.2. MEDIDAS <i>IN SITU</i> DE PARÁMETROS INESTABLES										
UNIDAD DEPRESIÓN MERIDIANA										
TOPÓNIMO	Nº Ref	fecha de medidas <i>in situ</i>	Tº AGUA (º C)	pH	C.E. (µS/cm)	O ₂ dis. (mg/l)	O ₂ dis. (%)	Eh (mV)	NOTAS	DISCUSIÓN RESULTADOS
Do Tremo-B. Nosa. Sra. dos Anxeles (C)	94-7-1	oct-03	17,7	8,4	368		113,3	288	Se deduce una concentración de O ₂ disuelto de 9 ppm	Agua fría, básica, mineralización baja, oxigenada y oxidante
Agua Sana M-1 (Po)	261-6-1	feb-04	13,9	4,9	59	4,78	46,4	354		Agua fría, ácida y mineralización débil
Baños Vellos de Carballo, fuente (C)	44-6-1a	oct-03	34,0	8,5	694		104,2	364	Se deduce una concentración de O ₂ disuelto de 9 ppm	Son aguas termales, básicas, mineralización notable, oxigenadas y oxidantes
Baños Vellos de Carballo, manantial (C)	44-6-1b	oct-03	37,3	8,4	702		127,9	317	Se estima un valor de O ₂ disuelto de 11 ppm. En laboratorio, el pH resultó igual a 9,1	
B. Brea, pozo patio (Po)	121-4-1	nov-03	24,8	6,3	540	0,91	8,5	-64	En laboratorio, el pH resultó igual a 7,3. Esta captación se halla en un estado depolarable.	Agua fría, neutra, mineralización notable, anóxica y reductora
B. Brea, fuente termal (Po)	121-4-2a	nov-03	22,5	8,0	627	0,54	4,6	-352		Son aguas frías, débilmente básicas, con mineralización notable, anóxicas y reductoras
Baños Brea, sondeo nº 5 (Po)	121-4-2b	nov-03	24,3	8,0	540	1,79	22,5	-288		
San Xines (Po)	152-2-1	feb-04	16,0	5,3	135	4,43	44,4	135		Agua fría, ácida y mineralización débil
B. Cuntis, pozo huerta (Po)	152-4-1a	nov-03	40,2	8,9	487	2,05	30,0	-282		Son aguas termales, básicas, mineralización notable, débilmente oxigenadas y reductoras
B. Cuntis manantial Hera Nueva (Po)	152-4-1b	nov-03	42,1	8,7	515	2,40	35,2	-259		
B. Cuntis manantial Calle Real (Po)	152-4-1c	nov-03	53,9	8,7	526	2,07	30,4	-254		
Caldelas de Tuy, manantial Maricruz (Po)	261-8-1a	nov-03	42,7	8,0	1160	2,11	21,1	-78		Son aguas termales, básicas, muy mineralizadas, anóxicas y reductoras
B. Caldelas de Tuy, sondeo S. Antonio (Po)	261-8-1b	nov-03	46,0	8,0	1167	1,15	17,8	-228		
B. Caldelas de Tuy, S. Francisco (Po)	261-8-1c	nov-03	50,7	7,9	1155	1,16	18,4	-242		

Cuadro 3.2. (cont.) MEDIDAS <i>IN SITU</i> DE PARÁMETROS INESTABLES										
UNIDAD DEPRESIÓN MERIDIANA										
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas <i>in situ</i>	Tº AGUA (º C)	pH	C.E. (µS/cm)	O ₂ dis. (mg/l)	O ₂ dis. (%)	Eh (mV)	NOTAS	DISCUSIÓN RESULTADOS
B. Mondariz Sabajanes (Po)	224-5-2	nov-03	19,6	7,9	457	0,07	1,0	-261	En laboratorio, el pH resultó igual a 8,4	Agua fría, básica, mineralización notable, anóxica y reductora
B. Mondariz A. Morales (Po)	224-5-3a	nov-03	17,6	6,1	2100	2,53	27,4	-18	En laboratorio, el pH resultó igual a 6,6	Son aguas frías, neutras, fuertemente mineralizadas, anóxicas y reductoras
B. Mondariz F. Gandara (Po)	224-5-3b	nov-03	17,5	5,9	1728	0,39	4,3	-5	En laboratorio, el pH resultó igual a 6,5	
B. Mondariz F. Troncoso (Po)	224-5-3c	nov-03	16,0	6,1	2800	0,67	5,1	-27	En laboratorio, el pH resultó igual a 6,6	
B. La Toja Huerta Caliente (Po)	185-1-1a	nov-03	48,5	6,2	46300	2,65	42,6	-25	En laboratorio, el pH resultó igual a 6,7	Son aguas termales, débilmente ácidas, muy mineralizadas, poco oxigenadas y cuasi-reductoras
B. La Toja Huereta Fría (Po)	185-1-1b	nov-03	41,8	6,1	44100	2,96	44,6	208	Es posible que el Eh no alcanzara el equilibrio y de ahí los valores discordantes con las medidas de oxígeno	
B. La Toja P. Paseo del Mar (Po)	185-1-1c	nov-03	47,4	6,0	45600	2,60	41,9	194		
B. La Toja Pozo Capilla (Po)	185-1-1d	nov-03	46,0	5,8	45500	1,99	30,4	46	En laboratorio, el pH resultó igual a 6,6	
B. La Toja Fábrica (Po)	185-1-1e	nov-03	37,8	5,8	43600	2,26	32,8	104	En laboratorio, el pH resultó igual a 6,5	
B. La Toja Caliente lateral (Po)	185-1-1f	nov-03	44,9	6,4	45900	2,87	45,3	46		
B. Acuña, Fte. Ojos (Po)	152-3-1a	ago-03	23,9	7,7	1085		120,7	169	Se deduce una concentración de O ₂ disuelto de 10 ppm	Son aguas débilmente básicas, muy mineralizadas, muy oxigenadas y oxidantes
B. Acuña (Po)	152-3-1b	ago-03	38,0	7,9	1045		130,2	143	Se deduce una concentración de O ₂ disuelto de 11 ppm	
B. Dávila (Po)	152-3-2	ago-03	43,2	7,7	1192		143,5	54	Se deduce una concentración de O ₂ disuelto de 12 ppm. Es posible que el Eh no alcanzara el equilibrio y de ahí el valor discordante con la medida de oxígeno	Agua termal, débilmente básica, muy mineralizada, muy oxigenada

CUADRO 3.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS GEOQUÍMICO EN LABORATORIO Y CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA																				
UNIDAD DEPRESIÓN MERIDIANA																				
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	pH	C.E. (µS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F	S ²⁻	FACIES HQ
																	µg/l		mg/l	
Do Tramo-R. Nosa, Sra. dos Anxaros (C)	94-7-1	sep-03	8,4	343	96	<1	2	1	36	36	138	3,6	<0,5	<0,05	0,44	29	298	11,00	16,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Agua Santa M-1 (Po)	201-6-1	mar-04	6,7	42	6	<1	1	2	9	3	7	0	2,0	<0,05	<0,05	7	100	<0,5	1,4	ClNa
Baños Vello de Carballo, fuente (C)	44-6-1a	sep-03	8,7	619	141	3	2	1	104	46	136	13	<0,5	<0,05	1,20	68	956	25,00	29,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Baños Vello de Carballo, manantial (C)	44-6-1b	sep-03	9,1	627	144	4	1	1	87	75	117	32	<0,5	<0,05	1,22	67	983	25,00	36,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Brea, pouzo pedro (Po)	121-4-1	nov-03	7,3	486	85	11	14	4	45	94	85	0	5,0	0,96	0,14	58	571	9,00	ND	SO ₄ (F)-Na(B)
B. Brea, fuente fermal (Po)	121-4-2a	nov-03	8,0	579	112	7	5	3	64	31	207	0	<0,5	<0,05	2,00	106	1659	23,00	28,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Baños Brea, sondos nº 5 (Po)	121-4-2b	nov-03	8,0	573	112	7	4	2	55	31	188	0	<0,5	<0,05	2,00	105	1341	24,00	44,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
San Xines (Po)	152-2-1	mar-04	5,9	115	11	<1	2	5	15	6	11	0	14,0	<0,05	<0,05	8	95	<0,5	1,4	ClNa
B. Cantís, pouzo huerta (Po)	152-4-1a	nov-03	8,9	440	104	3	2	1	57	48	76	22	<0,5	<0,05	0,45	95	887	21,00	37,0	(S)HCO ₃ (ClF)-Na(B)
B. Cantís manantial Hera Naera (Po)	152-4-1b	nov-03	8,7	456	104	3	2	1	57	45	45	94	<0,5	<0,05	0,35	89	848	20,00	26,0	(S)HCO ₃ (ClF)-Na(B)
B. Cantís manantial Calbe Real (Po)	152-4-1c	nov-03	8,7	443	106	3	2	1	59	45	61	31	<0,5	<0,05	0,50	95	979	22,00	36,0	(S)HCO ₃ (ClF)-Na(B)
Caldelas de Toy, manantial Maricuro (Po)	261-8-1a	nov-03	8,4	1019	226	10	11	1	281	37	98	5	<0,5	<0,05	0,71	99	538	14,00	26,0	SO ₄ (F)-Na(B)
B. Caldela de Toy, sondos S. Antonio (Po)	261-8-1b	nov-03	8,3	1013	224	10	10	1	286	36	99	4	<0,5	<0,05	0,75	99	559	14,00	11,0	SO ₄ (F)-Na(B)
B. Caldela de Toy, S. Francisco (Po)	261-8-1c	nov-03	8,3	1024	226	10	11	4	285	38	108	4	<0,5	<0,05	0,76	103	493	14,00	12,0	SO ₄ (F)-Na(B)
B. Mendriz Sahujines (Po)	224-5-2	nov-03	8,4	420	106	3	3	1	26	11	209	7	1,0	<0,05	0,06	49	305	8,00	14,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Mendriz A. Mirales (Po)	224-5-3a	nov-03	6,6	2254	238	22	152	81	51	14	1341	0	<0,5	<0,05	<0,05	86	546	2,00	ND	HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Mendriz F. Gandra (Po)	224-5-3b	nov-03	6,5	1657	266	30	59	40	92	12	980	0	<0,5	<0,05	0,30	53	811	2,00	ND	HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Mendriz F. Troncoso (Po)	224-5-3c	nov-03	6,6	3064	530	34	66	47	128	17	1710	0	<0,5	<0,05	<0,05	56	1241	3,00	ND	HCO ₃ (F)-Na(B)
B. La Toja Huerta Caliente (Po)	185-1-1a	nov-03	6,7	56693	11100	1200	1200	134	19200	572	209	0	<0,5	<0,05	ND	88	5262	4,00	9,0	Cl(F)-Na(B)
B. La Toja Huerta Fria (Po)	185-1-1b	nov-03	6,6	52853	10500	1150	1190	113	18300	668	256	0	2,0	3,00	ND	84	5478	4,00	10,0	Cl(F)-Na(B)
B. La Toja F. Paredo del Mar (Po)	185-1-1c	nov-03	6,6	55053	10250	1200	1193	128	18600	764	239	0	<0,5	<0,05	ND	89	5806	3,00	9,0	Cl(F)-Na(B)
B. La Toja Pouzo Capilla (Po)	185-1-1d	nov-03	6,6	54573	10250	1200	1184	126	18400	672	263	0	1,0	<0,05	ND	88	5804	3,00	11,0	Cl(F)-Na(B)
B. La Toja Fábrica (Po)	185-1-1e	nov-03	6,5	49973	10200	1200	1180	126	17900	728	268	0	4,0	1,10	ND	85	5650	3,00	ND	Cl(F)-Na(B)
B. La Toja Caliente lateral (Po)	185-1-1f	nov-03	6,9	53053	10200	1250	1194	128	18000	732	202	0	3,0	0,23	ND	85	5686	3,00	ND	Cl(F)-Na(B)
B. Acuña, De. Ojos (Po)	152-3-1a	sep-03	8,0	1027	243	7	5	1	269	19	152	0	3,0	<0,05	<0,05	53	408	21,00	3,0	(S)Cl(F)-Na(B)
B. Acuña (Po)	152-3-1b	sep-03	8,2	939	232	6	4	1	233	25	174	12	<0,5	<0,05	0,54	60	469	25,00	7,0	(S)Cl(F)-Na(B)
B. Dordia (Po)	152-3-2	sep-03	8,2	1014	247	7	4	1	268	17	164	12	1,0	<0,05	0,48	58	399	17,00	3,0	(S)Cl(F)-Na(B)

CUADRO 3.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MINORITARIOS Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (SS) DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA																					
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	UNIDAD DEPRESIÓN MERIDIANA																		
			Cu	Zn	Rn	Mn	Cr	Cd	Pb	As	Se	Hg	Al	Ca	Ba	Ag	Be	Ni	Sb	V	SS
			mg/l			µg/l															
Do Tremo-B. Nosa, Sra. dos Anxelos (C)	94-7-1	sep-03	<0,05	<0,05	27	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	44,2	<1	8,9	0,52	<2	<2	<0,2	0,90	0,7
Agua Santa M1 (Po)	261-6-1	mar-04	<0,05	<0,05	<20	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	51,1	0,26	5,3	0,39	<10	<10	<0,2	<0,5	1,5
Baños Vellos de Carballo, fuente (C)	44-6-1a	sep-03	<0,05	<0,05	<20	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	76,0	<1	4,9	<0,2	<2	<2	<0,2	2,10	0,6
Baños Vellos de Carballo, manantial (C)	44-6-1b	sep-03	<0,05	<0,05	<20	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	39,0	<1	3,7	<0,2	<2	2,1	<0,2	1,50	1,1
B. Brea, pozo patio (Po)	121-4-1	nov-03	<0,05	0,11	500	159	<2,5	<0,5	<5	11,0	<5	<0,5	58,9	0,61	5,5	<1	<2	9,3	1,50	2,10	35,8
B. Brea, fuente termal (Po)	121-4-2a	nov-03	<0,05	<0,05	36	25	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	31,0	<0,2	8,4	<1	<2	8,1	0,93	0,79	2,7
Baños Brea, sonke nº 5 (Po)	121-4-2b	nov-03	<0,05	<0,05	<20	32	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	7,1	<0,2	3,0	<1	<2	4,6	0,57	0,83	2,0
San Xines (Po)	152-2-1	mar-04	<0,05	<0,05	<20	13	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	61,0	<1	10,9	0,34	<10	<10	<0,2	<0,5	0,8
B. Cuntis, pozo huerta (Po)	152-4-1a	nov-03	<0,05	<0,05	<20	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	12,2	<0,2	0,6	<1	<2	3,6	0,23	0,48	2,4
B. Cuntis manantial Herra Nueva (Po)	152-4-1b	nov-03	<0,05	<0,05	51	<10	<2,5	<0,5	<5	5,0	<5	<0,5	8,8	<0,2	0,8	<1	<2	3,5	0,31	0,88	1,9
B. Cuntis manantial Calle Real (Po)	152-4-1c	nov-03	<0,05	<0,05	25	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	92,1	<0,2	0,8	<1	<2	<2	<0,2	0,82	1,0
Caldelas de Tuy, manantial Moricruz (Po)	261-8-1a	nov-03	<0,05	<0,05	20	10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	12,3	<0,2	9,2	<1	<2	14,6	<0,2	3,20	2,1
B. Caldelas de Tuy, sonke S. Antonio (Po)	261-8-1b	nov-03	<0,05	<0,05	<20	11	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	4,0	<0,2	8,1	<1	<2	8,1	<0,2	2,60	1,1
B. Caldelas de Tuy, S. Francisco (Po)	261-8-1c	nov-03	<0,05	<0,05	<20	12	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	13,3	<0,2	8,5	<1	<2	11,4	<0,2	3,10	1,3
B. Munderiz Sabajanes (Po)	224-5-2	nov-03	<0,05	<0,05	<20	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	7,5	<0,2	1,2	<1	<2	2,0	<0,2	0,32	15,0
B. Munderiz A. Mirales (Po)	224-5-3a	nov-03	<0,05	<0,05	16700	600	<2,5	<0,5	<5	55,0	<5	<0,5	72,8	<0,4	5,3	2,10	<4	21,8	0,50	1,70	91,5
B. Munderiz F. Ganchra (Po)	224-5-3b	nov-03	<0,05	<0,05	<20	180	<2,5	<0,5	<5	5,0	<5	<0,5	40,2	<0,4	10,1	<2	<4	25,9	<0,4	1,40	5,0
B. Munderiz F. Troncoso (Po)	224-5-3c	nov-03	<0,05	<0,05	1640	79	<2,5	<0,5	<5	10,0	<5	<0,5	182,0	0,60	9,7	<2	<4	52,2	<0,4	8,90	6,6
B. La Toja Huerta Caliente (Po)	185-1-1a	nov-03	0,1	0,07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	915,0	10,50	500,0	<50	<100	967,0	<10	261,00	92,3
B. La Toja Huerta Fria (Po)	185-1-1b	nov-03	0,1	0,08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	578,0	10,60	474,0	<50	<100	965,0	<10	227,00	70,6
B. La Toja P. Paseo del Mar (Po)	185-1-1c	nov-03	0,1	0,10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7231,0	11,10	582,0	<50	<100	1148,0	<10	256,00	86,7
B. La Toja Puro Capilla (Po)	185-1-1d	nov-03	0,1	0,11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	394,0	<10	493,0	<50	<100	1097,0	<10	204,00	85,8
B. La Toja Fabrica (Po)	185-1-1e	nov-03	0,1	0,06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	565,0	<10	493,0	<50	<100	1337,0	<10	138,00	78,6
B. La Toja Caliente lateral (Po)	185-1-1f	nov-03	0,1	0,09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5524,0	10,40	335,0	<50	<100	1401,0	<10	195,00	93,7
B. Acuña, Pl. Ojos (Po)	152-3-1a	sep-03	<0,05	<0,05	<20	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	50,5	<1	5,2	0,34	<2	<2	<0,2	6,50	4,0
B. Acuña (Po)	152-3-1b	sep-03	<0,05	<0,05	<20	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	127,0	<1	5,4	0,37	<2	<2	<0,2	4,80	1,3
B. Davila (Po)	152-3-2	sep-03	<0,05	0,08	<20	<10	<5	<1	<10	<5	<5	<0,5	48,4	<0,2	11,6	0,40	<2	<2	<0,2	7,00	1,0

CUADRO 3.5. OTROS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LABORATORIO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA														
UNIDAD DEPRESIÓN MERIDIANA														
TOPONIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	Ironatos (BrO ₃)	fosatos (P ₂ O ₅)	Detergentes	CN	Residuo seco (180° C)	estabilidad al MnO ₄ K	fenoles	CO ₂ libre	color	turbidez	Radioactividad total	Radioactividad p total
mg/l												Bq/l		
											mg/l P ₂ Co	UNF		
Do Tremo-B. Nosa. Sra. dos Anxeles (C)	94-7-1	sep-03	NA	-0,04	-0,05	-0,005	251	0,5	-0,005	<1,1	5,00	-1	0,015±0,014	0,035±0,029
Agua Sana M-1 (Po)	261-6-1	mar-04	-0,010	-0,04	-0,05	-0,005	28,5	0,5	-0,005	30,8	<5	-1	0,015±0,003	0,058±0,012
Baños Vellois de Carbullo, fuente (C)	44-6-1a	sep-03	NA	-0,04	-0,05	ND	453	21,9	-0,005	<1,1	5,00	-1	-0,033	-0,063
Baños Vellois de Carbullo, manantial (C)	44-6-1b	sep-03	NA	-0,04	-0,05	0,009	450	1,0	-0,005	<1,1	<5	-1	-0,037	0,057±0,038
B. Brea, poza patío (Po)	121-4-1	nov-03	NA	0,13	-0,05	0,020	326	1,4	ND	29,7	<5	35	0,063±0,029	0,416±0,041
B. Brea, fuente termal (Po)	121-4-2a	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,019	412	5,1	-0,005	4,4	<5	1	-0,040	0,245±0,039
Baños Brea, sonda nº 5 (Po)	121-4-2b	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,017	413	5,7	-0,005	<1,1	<5	1	-0,041	0,198±0,037
Sau Xines (Po)	152-2-1	mar-04	-0,010	-0,04	-0,05	-0,005	78,8	0,6	-0,005	60,5	<5	-1	0,049±0,010	0,189±0,017
B. Cuntis, poza buerta (Po)	152-4-1a	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,016	312	0,7	-0,005	<1,1	<5	-1	0,024±0,024	0,185±0,037
B. Cuntis manantial Hera Nueva (Po)	152-4-1b	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,017	320	1,1	-0,005	<1,1	<5	-1	-0,030	0,146±0,032
B. Cuntis manantial Calle Real (Po)	152-4-1c	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,015	317	5,2	-0,005	<1,1	5,00	-1	-0,025	0,142±0,031
Caldelas de Tuy, manantial Maricruz (Po)	261-8-1a	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,031	713	1,2	-0,005	<1,1	<5	-1	0,061±0,033	0,359±0,065
B. Caldela de Tuy, sonda S. Antonio (Po)	261-8-1b	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,033	741	1,1	-0,005	<1,1	<5	-1	0,107±0,047	0,367±0,071
B. Caldela de Tuy, S. Francisco (Po)	261-8-1c	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,030	708	0,9	-0,005	<1,1	<5	-1	0,121±0,051	0,387±0,074
B. Mondariz Sabujanes (Po)	224-5-2	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,042	316	0,3	-0,005	<1,1	<5	-1	0,029±0,020	0,130±0,035
B. Mondariz A. Morales (Po)	224-5-3a	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,035	1508	0,4	-0,005	1032,9	<5	350	1,026±0,167	2,984±0,211
B. Mondariz F. Gandra (Po)	224-5-3b	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,034	1140	0,6	-0,005	988,9	<5	12	0,306±0,101	1,434±0,135
B. Mondariz F. Troncoso (Po)	224-5-3c	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,034	2024	0,3	-0,005	1318,9	<5	20	1,265±0,236	1,987±0,220
B. La Toja Baerria Caliente (Po)	185-1-1a	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,029	39400	23,1	-0,005	91,3	<5	131	ND	ND
B. La Toja Baerria Fria (Po)	185-1-1b	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,030	37046	23,1	-0,005	118,8	<5	67	ND	ND
B. La Toja P. Paseo del Mar (Po)	185-1-1c	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,026	39036	21,3	-0,005	136,4	<5	80	ND	ND
B. La Toja Pozo Capilla (Po)	185-1-1d	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,030	38420	20,9	-0,005	152,9	<5	101	ND	ND
B. La Toja Fábrica (Po)	185-1-1e	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,034	36760	21,9	-0,005	165,0	<5	80	ND	ND
B. La Toja Caliente lateral (Po)	185-1-1f	nov-03	NA	-0,04	-0,05	0,030	37648	21,9	-0,005	49,5	<5	112	ND	ND
B. Acuña, Pte. Ojos (Po)	152-3-1a	sep-03	NA	-0,04	-0,05	0,006	728	0,7	-0,005	<1,1	<5	1	-0,060	0,187±0,059
B. Acuña (Po)	152-3-1b	sep-03	NA	-0,04	-0,05	0,005	647	0,7	-0,005	<1,1	<5	-1	0,074±0,040	0,149±0,056
B. Davila (Po)	152-3-2	sep-03	NA	-0,04	0,06	0,005	720	0,7	-0,005	<1,1	<5	-1	0,050±0,043	0,146±0,066

En general, estas aguas se hallan en condiciones ambientales prácticamente anóxicas (≈ 2 mg/l de O_2 disuelto) y débilmente reductoras ($Eh < 100$ mV) a reductoras ($Eh < 0$ mV), que implican la aparición de sulfuros (1,4-44 mg/l) en disolución y, frecuentemente, también amonio. Dichas condiciones pueden producir, también, la reducción de hierro, manganeso e incluso arsénico, como es el caso de las muestras tomadas en el pozo del balneario de Brea (121-4-2^a) y las tres del balneario de Mondariz (224-5-3a a 224-5-3c).

Según su composición química y sus características físico-químicas, se pueden distinguir 6 tipos de aguas:

- Aguas frías (13-14° C), ácidas (5,0-6,0), de mineralización bastante débil (59-135 μ S/cm), oxidantes ($Eh > 100$ mV) y oxigenadas (5-6 mg/l de O_2 disuelto), de facies cloruradas sódicas, con boro (0,100-0,093 mg/l), pero no se ha detectado ningún compuesto ni elemento que indique contaminación.

Son las aguas de las plantas envasadoras Agua Sana (261-6-1) y San Xinés (152-2-1). La escasa mineralización y su pH ácido señalan que se trata de aguas de infiltración muy reciente y circulación somera. Los iones cloruro y boro deben de proceder de la evaporación del agua de mar y su posterior precipitación en forma de lluvia.

- Aguas frías (16-18° C), débilmente ácidas (pH= 6,0-6,5), fuertemente mineralizadas (1700-2800 μ S/cm), de facies bicarbonatadas sódicas, con concentraciones en sodio muy altas (238-560 mg/l), carbónicas o aciduladas (>250 mg/l CO_2); posiblemente sean sulfuradas, puesto que se hallan en condiciones prácticamente anóxicas (0,4-2,4 mg/l de O_2 disuelto) y reductoras ($Eh < 0$ mV), tal como señalan las concentraciones detectadas en hierro (1,64-16,7 mg/l), manganeso (0,079-0,600 mg/l) y arsénico (0,010-0,050 mg/l), así como en níquel (0,022-0,052 mg/l); son fluoruradas (2 mg/l); además, tienen boro (0,546-1,241 mg/l) en disolución. Una de las muestras destaca por su elevado contenido en sólidos en suspensión (92 mg/l).

Se han detectado cianuros, aunque en contenidos bajos (<50 μ g/l), mientras que los valores de turbidez (> 5 UNF) y radiactividad son relativamente elevados.

Las características físico-químicas descritas corresponden a las muestras de agua de la planta envasadora de Mondariz (224-5-3a, 224-5-3b y 224-5-3c), que corresponde a una descarga subterránea que se produce en el contacto de los sedimentos cuaternarios con las rocas graníticas hercínicas. La gasificación de estas aguas con CO_2 de origen endógeno le confiere un carácter ácido, que favorece la hidrólisis de los aluminosilicatos, que da lugar a una composición bicarbonatada sódica y un nivel apreciable de mineralización.

- Aguas templadas a termales (18-37° C), básicas (pH= 8,0-9,1), con mineralización débil a notable (343-627 $\mu\text{S/cm}$), de facies bicarbonatadas sódicas, sulfuradas (14-44 mg/l) y fluoruradas (8-25 mg/l), con boro (0,298-1,659 mg/l) y amonio (0,06-2,00 mg/l) en disolución. Puntualmente se ha detectado hierro en dos de las muestras, pero en concentraciones bajas (27-36 $\mu\text{S/cm}$); en todas se han detectado concentraciones igualmente bajas en V (0,3-2,1 $\mu\text{g/l}$), así como sólidos en suspensión (0,7-2,7 mg/l), en especial en una de las muestras (15 mg/l). En tres de las muestras se han registrado valores de oxidabilidad indicativos de contaminación orgánica (> 5mg/l de O_2).

Son las muestras de agua del balneario de Do Tremo (94-7-1), Baños Vellos de Carballo (44-6-1a y 44-6-1b), balneario de Brea (121-4-2a y 121-4-2b) tomadas en rocas metamórficas prehercínicas, y del balneario de Mondariz (224-5-2), cuya agua se capta en un pozo que perfora sedimentos cuaternarios y llega a granito de dos micas que intruye a las rocas migmatíticas.

La diferencia en el grado de mineralización de la muestra tomada en el balneario de Mondariz (224-5-2) con respecto a las de la planta envasadora estriba en la mayor salinización de estas aguas como consecuencia de unos contenidos en cationes, cloruros, bicarbonatos y boro muy altos, posiblemente como resultado de un elevado tiempo de permanencia en contacto con la roca y, por tanto, una mayor interacción con los minerales de la misma, favorecida por la presencia de CO_2 endógeno, como es el caso del agua 224-5-3c, que presenta 3 000 $\mu\text{S/cm}$ de conductividad y una concentración en boro de 1 241 $\mu\text{g/l}$.

- Aguas templadas (25° C), neutras (7,0), de mineralización fuerte (540 $\mu\text{S/cm}$), reductoras ($\text{Eh} < 0$ mV) y anóxicas (<1 mg/l de O_2 disuelto), de facies sulfatada bicarbonatada sódica, fluoruradas (9 mg/l), con boro (0,571 mg/l) y nitritos (0,96 mg/l), además de presentar contenidos muy altos en hierro (500 $\mu\text{g/l}$), manganeso (159 $\mu\text{g/l}$) y arsénico (11 $\mu\text{g/l}$), así como 36 mg/l de sólidos disueltos, posiblemente consecuencia de estos elementos en disolución, que además le confieren turbidez al agua (35 UNF).

Las características indicadas corresponden a una muestra tomada en el pozo del patio del balneario de Brea (121-4-1), en la que la presencia de sulfatos supone una excepción a la norma. Su procedencia puede ser natural, si bien, es más probable que sea antrópica, teniendo en cuenta que se han detectado nitritos, en concentraciones importantes, y amonio, en menor proporción, que hacen pensar en una procedencia de fertilizantes tipo tiosulfato amónico, e, incluso, de aguas residuales. En consecuencia, se descarta esta muestra para la interpretación general.

- Aguas termales (40-54° C), básicas (8,0), mineralización fuerte (1160 $\mu\text{S}/\text{cm}$), reductoras ($\text{Eh} < 0$ mV) y prácticamente anóxicas (< 2 mg/l de O_2 disuelto), de facies bicarbonatadas cloruradas sódicas, sulfuradas (26-37 mg/l), fluoruradas (20-22 mg/l), con boro (0,848-0,979 mg/l) y amonio (0,35-0,50 mg/l), además de detectarse hierro (25-51 $\mu\text{g}/\text{l}$) y antimonio (0,23-0,31 $\mu\text{g}/\text{l}$) en dos de las tres muestras de agua, y vanadio en las tres, aunque en concentraciones bajas (0,48-0,88 $\mu\text{g}/\text{l}$). Sólo una parece estar contaminada de acuerdo con los valores de oxidabilidad (5,2 mg/l de O_2) y color (5,00 mg/l Pt/Co), pero puede tratarse de materia orgánica no tóxica.

Se trata de las muestras de agua del balneario de Cuntis (152-4-1a, 152-4-1b y 152-4-1c), que se encuentra emplazado en la llanura aluvial del río Gallo sobre el dominio migmatítico y de las rocas graníticas del grupo de Lage.

- Aguas termales (40-50° C), débilmente ácidas a básicas (6,0-8,0), mineralización fuerte (1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a salina⁴ (46 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), de facies cloruradas sódicas altos contenidos en sulfatos, sulfuradas –luego, están en condiciones reductoras y anóxicas–, fluoruradas (3-25 mg/l), con boro (0,400-5,800 mg/l), y amonio (0,48-0,75 mg/l) o nitritos (1,1-3,0 mg/l).

En las muestras salinas se han detectado concentraciones muy elevadas en aluminio (0,565-7,231 mg/l) y níquel (0,965-1,400 mg/l), que podrían tener un origen antrópico (tuberías de acero). Los contenidos en vanadio son también altos (0,138-0,261 mg/l). Además presentan turbidez (67-131 UNF) y oxidabilidad muy alta (21 mg/l de O_2), parámetro indicativo de contaminación orgánica.

Las aguas de este grupo corresponden a 4 balnearios: Caldelas de Tuy (261-8-1a a 261-8-1c), enclavado en depósitos detríticos del río Miño sobre rocas graníticas alcalinas; La Toja (185-1-1a a 185-1-1f), cuyas aguas son salinas y se captan en pozos perforados en granitos de afinidad calcoalcalina, y aunque se ha detectado más de 1 mg/l de sulfuros, en comparación con el resto de iones y elementos, puede considerarse esta concentración poco significativa; Acuña (152-3-1a a 152-3-1c) y Dávila (152-3-2), emplazados en depósitos detríticos del río Umia sobre la granodiorita biotítica de Caldas de Reyes.

En todos los casos son aguas que corresponden a flujos muy penetrantes, con un tiempo largo de residencia en el subsuelo, que, además de una mineralización elevada y pH básicos, determinan su carácter termal. La aparición de flúor es debida a la disolución de fluorita o fluorapatito; los

⁴ La clasificación del agua según su conductividad eléctrica es: aguas dulces, C.E. < 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; salobres, entre 1000 y 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; salinas: 10 000 – 100 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y salmueras > 100 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

oligoelementos como litio y boro pueden proceder de la hidrólisis de las biotitas.

3.4. UNIDAD DE O CARBALLIÑO-BERÁN

Esta unidad hidromineral se localiza en la provincia de Orense. En ella, se han caracterizado 2 balnearios en el término municipal de Carballiño: 3 manantiales en el de Partovia (187-6-1a, 187-6-1b y 187-6-1c) y el manantial de Carballiño (187-2-1) (Cuadros 4.1 a 4.5). Está afectada por un sistema de fracturas de dirección NE-SO (Fig. 1), que causaron la filonitización en los granitos y que constituyen la dirección preferente de circulación del agua subterránea. Los manantiales de Partovia descargan en esquistos del Precámbrico-Silúrico Inferior; el manantial de Carballiño es una surgencia en granitos hercínicos.

CUADRO 4.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA							
UNIDAD O CARBALLIÑO-BERÁN							
DENOMINACIÓN	Nº Ref.	UTM X	UTM Y	TÉRMINO MUNICIPAL	NATURALEZA CAPTACIÓN	LITOLOGÍA	INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA
B. Portovia, Fte. Interior	187-6-1a	576625	4695675	CARBALLIÑO	MANANTIALES (BALNEARIO)	esquistos pelíticos, con niveles cuarcíticos y otros ricos en materia orgánica, que indican una zona bastante interna de la cuenca	El sistema de fracturas de dirección NNE-SSO, que dio algunas bandas de filonitización favoree la rápida circulación del agua subterránea a través de la roca.
B. Portovia, Fte. Prado	187-6-1b						
B. Portovia, Fte. Los Baños	187-6-1c						
B. O Carballiño	187-2-1	575725	4698300		MANANTIAL (BALNEARIO)	granito adamellítico de dos micas ligados a metamorfismo por anatexis	

Son aguas templadas a termales (20-31° C), de pH básicos (8,0-8,6), con mineralización muy débil (219-295 $\mu\text{S}/\text{cm}$), facies bicarbonatadas sódicas, e, incluso con una proporción importante en cloruros (33,6%) en la muestra de Carballiño –que es el agua termal–; son también fluoruradas (4-10 mg/l), y presentan boro en disolución (0,133-0,412 mg/l). Aunque las medidas *in situ* señalan condiciones oxidantes ($E_h > 175$ mV), e incluso sobreoxigenadas (11-13 mg/l de O_2 disuelto), la detección de sulfuros (4-13 mg/l) y amonio (0,18-0,98 mg/l) contradice dichos datos. También se ha detectado arsénico (20-44 $\mu\text{g}/\text{l}$), así como sólidos en suspensión (1-3 mg/l). Únicamente la muestra de Carballiño registra un valor de oxidabilidad indicativo de contaminación orgánica (> 5 mg/l de O_2).

La composición química de estas aguas minerales que descargan a favor de la fracturación de las rocas metamórficas –B. Partovia– y de las fracturas de las rocas ígneas –B. Carballiño–, parece ser el resultado de procesos de intercambio catiónico e hidrólisis de feldespatos-plagioclasas y micas, que le confieren el carácter bicarbonatado sódico.

Cuadro 4.2. MEDIDAS *IN SITU* DE PARÁMETROS INESTABLES

UNIDAD O CARBALLIÑO-BERÁN										
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas <i>in situ</i>	Tº AGUA (º C)	pH	C.E. (µS/cm)	O ₂ dis. (mg/l)	O ₂ dis. (%)	Eh (mV)	OBSERVACIONES	DISCUSIÓN RESULTADOS
B. Portovia, Fte. Interior (Or)	187-6-1a	may-03	28,8	8,1	219	11,39	139,7	249	En laboratorio, el pH resultó igual a 8,8	Son aguas relativamente calientes, básicas, poco mineralizadas, muy oxigenadas y oxidantes
B. Portovia, Fte. Prado (Or)	187-6-1b	may-03	20,1	8,6	225	10,53	114,6	175	En laboratorio, el pH resultó igual a 8,9	
B. Portovia, Fte. Los Baños (Or)	187-6-1c	may-03	30,8	8,0	228	10,88	143,0	295	En laboratorio, el pH resultó igual a 8,8	
B. O Carballiño (Or)	187-2-1	may-03	25,6	8,0	295	12,80	151,6	315	En laboratorio, el pH resultó igual a 8,8	

CUADRO 4.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS GEOQUÍMICO EN LABORATORIO Y CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA

UNIDAD O CARBALLIÑO-BERÁN																					
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas <i>in situ</i>	pH	C.E. (µS/cm)	mg/l													B µg/l	F mg/l	S ²⁻ mg/l	FACIES HQ
					Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂					
B. Portovia, Fte. Interior (Or)	187-6-1a	jun-03	8,8	201	46	<1	3	2	15	28	64	8	<0,5	<0,05	0,18	39	135	4,00	10,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	
B. Portovia, Fte. Prado (Or)	187-6-1b	jun-03	8,9	202	46	<1	5	1	15	28	60	10	<0,5	<0,05	0,19	38	133	4,00	4,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	
B. Portovia, Fte. Los Baños (Or)	187-6-1c	jun-03	8,8	202	46	<1	4	1	17	26	63	8	<0,5	<0,05	0,24	38	137	4,00	13,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	
B. O Carballiño (OR)	187-2-1	jun-03	9,0	267	56	1	1	1	32	24	59	19	<0,5	<0,05	0,98	56	412	10,00	20,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	

CUADRO 4.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MINORITARIOS Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (SS) DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA

UNIDAD O CARBALLIÑO-BERÁN																					
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas <i>in situ</i>	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd	Pb	As	Se	Hg	Al	Co	Ba	Ag	Be	Ni	Sb	V	SS
			µg/l													mg/l					
B. Portovia, Fte. Interior (Or)	187-6-1a	jun-03	<0,05	<0,05	<20	<20	<5	<1	<10	44,0	<5	<0,5	18,5	<0,2	0,7	<0,5	<1	<1	<0,2	0,26	2,9
B. Portovia, Fte. Prado (Or)	187-6-1b	jun-03	<0,05	<0,05	<20	<20	<5	<1	<10	29,0	<5	<0,5	8,6	<0,2	0,5	<0,5	<1	<1	<0,2	0,15	2,1
B. Portovia, Fte. Los Baños (Or)	187-6-1c	jun-03	<0,05	<0,05	<20	<20	<5	<1	<10	27,4	<5	<0,5	27,8	<0,2	4,0	<0,5	<1	<1	<0,2	<0,2	1,3
B. O Carballiño (OR)	187-2-1	jun-03	<0,05	<0,05	<20	<20	<5	<1	<10	19,8	<5	<0,5	8,1	<0,2	0,4	<0,5	<1	<1	0,38	0,23	3,3

CUADRO 4.5. OTROS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LABORATORIO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA														
UNIDAD O CARBALLIÑO-BERÁN (provincia de Ourense; banda de fracturación NE-SO)														
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas: <i>in situ</i>	bromatos (BrO ₃)	fosfatos (P ₂ O ₅)	Detergentes	CN	Residuo seco (180° C)	oxidabilidad al MnO ₂ -K	fenoles	CO ₂ libre	color	turbidez	Radioactividad α total	Radioactividad β total
													mg/l	
B. Portovia, Fte. Interior (Or)	187-6-1a	jun-03	NA	<0,04	<0,05	<0,005	148±4,5	0,3±0,13	<0,005	0,0	<5	<1	0,016±0,010	0,028±0,013
B. Portovia, Fte. Prado (Or)	187-6-1b	jun-03	NA	<0,04	<0,05	<0,005	145±4,5	0,4±0,13	<0,005	0,0	<5	<1	0,034±0,011	0,118±0,013
B. Portovia, Fte. Los Baños (Or)	187-6-1c	jun-03	NA	<0,04	<0,05	<0,005	149±4,5	2,9±0,26	<0,005	0,0	<5	<1	0,013±0,009	0,077±0,013
B. O Carballiño (OR)	187-2-1	jun-03	NA	<0,04	<0,05	<0,005	198±4,7	8,7±0,52	<0,005	0,0	<5	<1	<0,021	0,107±0,018

3.5. UNIDADES OURENSE-RIBADAVIA Y BAÑOS DE MOLGAS-XUNQUEIRA DE AMBÍA

Si bien, desde un punto vista hidroquímico, se pueden agrupar las muestras de agua en las Unidades: Rivadavia-Cortegada, Ourense-Ribadavia y Baños de Molgas-Xunqueira de Ambía, el escaso número de muestras existente para cada Unidad limita que se traten los datos individualmente.

Los puntos de control de la unidad de Ourense-Ribadavia se localizan a lo largo de la traza del río Miño; los de Baños de Molgas-Xunqueira de Ambía, en la del río Arnoia. Ambas unidades están situadas en el sector occidental de la provincia de Ourense, donde los granitos están afectados por dos sistemas de fracturas, de direcciones ENE-OSO y NE-SO (Fig. 1). Son aguas termales que corresponden a descargas de flujo profundos en granitos de dos micas alcalinos y calcoalcalinos originados en la Orogenia Hercínica (Cuadro 5.1); por tales razones se tratan conjuntamente.

Se han controlado las aguas minerales del balneario Arnoia Vila Termal captadas de 2 sondeos (225-1-1a y 225-1-1b), y las surgentes en los manantiales de otros 3 balnearios: Balneario de Laidas (225-2-1), Balneario de Molgas (226-7-1a y 226-7-1b) y Balneario de Bañiño (226-6-1) (Cuadros 5.2 a 5.5).

Son aguas templadas a termales (22-50° C), básicas (7,6-8,7), con mineralización débil a fuerte (263-971 μ S/cm), facies bicarbonatadas sódicas, son fluoruradas (3-24 mg/l), tienen boro (0,303-1,096 mg/l) en solución; a juzgar por la detección de sulfuros (2-28 mg/l) y amonio (0,28-1,13 mg/l) o nitritos (1,70 mg/l), han de estar todas en condiciones reductoras y anóxicas.

Se ha detectado arsénico (8-27 μ g/l), excepto en un muestra, así como sólidos en suspensión (1-3 mg/l), y níquel en una de las muestras en concentraciones elevadas (0,027 mg/l). Por otro lado, uno de los pozos de Arnoia parece presentar

contaminación orgánica, según el parámetro de oxidabilidad (> 5mg/l de O₂). Los valores de radiactividad son, a su vez, muy altos.

CUADRO 5.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA							
UNIDADES ORENSE-RIBADAVÍA (trazado del río Miño) y BAÑOS DE MOLGAS-XUNQUEIRA DE AMBÍA (trazado del río Arnoia)							
DENOMINACIÓN	Nº Ref.	UTM X	UTM Y	TÉRMINO MUNICIPAL	NATURALEZA CAPTACIÓN	LITOLOGÍA	INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA
B. Arnoia Vila Termal, pozo P-4	225-1-1a	569900	4678900	ARNOIA	POZOS	granodiorita de grano medio a grueso	<i>La granodiorita intruye en la roca encajante esquistosa, produciendo en algunas zonas una aureola de metamorfismo de contacto; se caracteriza por ser muy pobre en volátiles. En principio, no parece implicar termalismo en las aguas subterráneas.</i>
B. Arnoia Vila Termal, pozo 1-B	225-1-1b						
B. Lais, nº 38	225-2-1	579900	4686800	LAIAS	MANANTIAL	granito de dos micas de grano grueso	<i>El granito de dos micas está ligado a metamorfismo por anatexia; se encuentra muy fracturado, condicionando la circulación del agua subterránea.</i>
B. Molgas, Fte. Caliente	226-7-1a	609680	4677790	BAÑOS DE MOLGAS	MANANTIAL		
B. Molgas, Fte. La Charca	226-7-1b	609600	4677583				
B. Baño	226-6-1	604300	4674450	JUNQUERA DE AMBÍA	MANANTIAL		

La diferente temperatura y mineralización del agua puede deberse a: diferentes porcentajes de mezcla con aguas de flujos someros, a descargas de trayectorias de flujo de distinta penetración en el macizo rocoso o a velocidad de flujo muy lenta en el tramo de descarga (que daría lugar al enfriamiento del agua termal).

Cuadro 5.2. MEDIDAS <i>IN SITU</i> DE PARÁMETROS INESTABLES										
UNIDADES ORENSE-RIBADAVÍA y BAÑOS DE MOLGAS-XUNQUEIRA DE AMBÍA										
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas <i>in situ</i>	Tº AGUA (° C)	pH	C.E. (µS/cm)	O ₂ dis. (mg/l)	O ₂ dis. (%)	Eh (mV)	OBSERVACIONES	DISCUSIÓN RESULTADOS
B. Arnoia Vila Termal, pozo P-4 (Or)	225-1-1a	may-03	22,9	6,4	283	9,05	103,3	162	En laboratorio, el pH resultó igual a 7,7	Son aguas frías, básicas, poco mineralizadas, muy oxigenadas y oxidantes
B. Arnoia Vila Termal, pozo 1-B (Or)	225-1-1b	may-03	22,9	8,6	402	11,53	140,2	233		
B. Laias, nº 38 (Orense)	225-2-1	may-03	49,5	7,0	839	11,46	179,2	194	En laboratorio, el pH resultó igual a 8,0	Agua termal, básica, con mineralización notable, muy oxigenadas y oxidantes
B. Molgas, Fte. Caliente (Or)	226-7-1	nov-03	42,3	6,9	1087	1,27	18,3	-92	En laboratorio, el pH resultó igual a 7,8	Agua termal, ligeramente básica, muy mineralizada, anóxica y reductora
B. Molgas, Fte. La Charca (Or)	226-7-2	nov-03	23,3	6,8	388	2,70	31,1	40	En laboratorio, el pH resultó igual a 7,9	Agua fría, ligeramente básica, poco mineralizada, anóxica y reductora
B. Bañiño (Orense)	226-6-1	may-03	21,9	6,8	1026	12,01	133,2	141	En laboratorio, el pH resultó igual a 7,6	Agua fría, ligeramente básica, muy mineralizada, muy oxigenada y oxidante

CUADRO 5.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS GEOQUÍMICO EN LABORATORIO Y CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA

UNIDADES ORENSE-RIBADAVÍA y BAÑOS DE MOLGAS-XUNQUEIRA DE AMBIÁ

TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	pH	C.E. (µS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F	S ²⁻	FACBS HQ
					mg/l											µg/l	mg/l			
B. Arnoia Vila Termal, pozo P-4 (Or)	225-1-1a	jun-03	7,7	263	46	<1	18	1	23	28	105	0	<0,5	<0,05	0,34	28	311	13,00	16,0	(SHCO ₃)F-Na (B)
B. Arnoia Vila Termal, poz 1-B (Or)	225-1-1b	jun-03	8,7	370	91	2,1	5	1	45	35	124	11	<0,5	<0,05	1,13	65	671	24,00	28,0	(SHCO ₃)F-Na (B)
B. Laias, nº 38 (Orense)	225-2-1	jun-03	8,0	742	172	7	5	1	35	28	400	0	<0,5	<0,05	0,82	72	1011	16,00	11,0	(SHCO ₃)F-Na (B)
B. Molgas, Fic. Caliente (Or)	226-7-1a	nov-03	7,8	971	250	11	10	1	22	7	636	0	<0,5	<0,05	0,85	66	1096	14,00	2,2	(SHCO ₃)Na (B)
B. Molgas, Fic. La Charca (Or)	226-7-1b	mov-03	7,9	331	82	4	4	1	21	7	176	0	6,0	1,70	<0,05	28	303	3,00	2,2	(SHCO ₃)Na (B)
B. Bañiño (Orense)	226-6-1	jun-03	7,6	962	276	8	12	3	22	29	684	0	<0,5	<0,05	0,28	58	492	11,00	2,0	(SHCO ₃)F-Na (B)

CUADRO 5.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MINORITARIOS Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (SS) DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA

UNIDADES ORENSE-RIBADAVÍA y BAÑOS DE MOLGAS-XUNQUEIRA DE AMBIÁ

TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd	Pb	As	Se	Hg	Al	Co	Ba	Ag	Be	Ni	Sb	V	SS
			µg/l																		mg/l
B. Arnoia Vila Termal, pozo P-4 (Or)	225-1-1a	jun-03	<0,05	<0,05	<20	<20	<5	<1	<10	27,4	<5	<0,5	34,7	0,26	6,6	<0,5	1,25	1,1	0,43	0,63	2,5
B. Arnoia Vila Termal, poz 1-B (Or)	225-1-1b	jun-03	<0,05	<0,05	<20	<20	<5	<1	<10	14,6	<5	<0,5	18,1	<0,2	4,6	<0,5	<1	<1	0,83	0,44	2,0
B. Laias, nº 38 (Orense)	225-2-1	jun-03	<0,05	<0,05	<20	38	<5	<1	<10	8,1	<5	<0,5	18,1	<0,2	4,2	<0,5	3,46	1,4	<0,2	0,57	1,0
B. Molgas, Fic. Caliente (Or)	226-7-1a	nov-03	<0,05	<0,05	96	18	<2,5	<0,5	<5	10,0	<5	<0,5	11,9	0,24	17,5	<1	3,50	27,2	<0,2	0,37	1,9
B. Molgas, Fic. La Charca (Or)	226-7-1b	mov-03	<0,05	<0,05	158	14	<2,5	<0,5	<5	11,0	<5	<0,5	199,0	<0,2	5,8	<1	<2	5,7	<0,2	1,30	2,7
B. Bañiño (Orense)	226-6-1	jun-03	<0,05	<0,05	180	<20	<5	<1	<10	<5	<5	<0,5	6,2	0,26	10,8	<0,5	7,05	1,7	<0,2	0,33	2,9

CUADRO 5.5. OTROS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LABORATORIO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA

UNIDADES ORENSE-RIBADAVÍA y BAÑOS DE MOLGAS-XUNQUEIRA DE AMBIÁ

TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	brómato (BrO ₃)	fosfatos (P ₂ O ₅)	Detergentes	CN	Residuo seco (180° C)	oxidabilidad al MnO ₂ K	fenoles	CO ₂ libre	color	turbidez	Radio-actividad α total	Radio-actividad β total
			mg/l											Bq/l
B. Arnoia Vila Termal, pozo P-4 (Or)	225-1-1a	jun-03	NA	<0,04	<0,05	<0,005	183±4,7	0,7±0,13	<0,005	<1,1	<5	<1	3,043±0,091	3,519±0,072
B. Arnoia Vila Termal, poz 1-B (Or)	225-1-1b	jun-03	NA	<0,04	<0,05	<0,005	273±5,1	5,9±0,52	<0,005	0,0	<5	<1	0,043±0,020	0,145±0,028
B. Laias, nº 38 (Orense)	225-2-1	jun-03	NA	<0,04	<0,05	<0,005	539±7,0	1,4±0,13	<0,005	<1,1	7,00	<1	0,088±0,041	0,259±0,053
B. Molgas, Fic. Caliente (Or)	226-7-1a	nov-03	NA	<0,04	<0,05	0,034	706	0,6	<0,005	40,7	<5	<1	0,365±0,068	0,625±0,076
B. Molgas, Fic. La Charca (Or)	226-7-1b	mov-03	NA	0,13	<0,05	0,032	225	2,0	<0,005	15,4	10,00	<1	0,226±0,029	0,250±0,026
B. Bañiño (Orense)	226-6-1	jun-03	NA	0,06	<0,05	<0,005	697±8,4	0,8±0,13	<0,005	<1,1	6,00	<1	0,211±0,060	0,394±0,074

3.6. UNIDAD DEL RÍO TÁMEGA

Las aguas minerales de esta unidad, localizadas en Verín, provincia de Orense, están relacionadas con sistemas de flujo que se desarrollan en granitos alcalinos y cuarcitas y esquistos paleozoicos, y se descargan en el cauce del río Támega. Las surgencias se producen en zonas cubiertas por depósitos terciarios y cuaternarios (Cuadro 6.1).

CUADRO 6.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA							
UNIDAD DEL RÍO TÁMEGA							
DENOMINACIÓN	Nº Ref.	UTM X	UTM Y	TÉRMINO MUNICIPAL	NATURALEZA CAPTACIÓN	LITOLÓGIA	INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA
Agua de Cabreiroá, sin gas - nº 1	303-2-1a	630876	4642967	VERÍN	SONDEO	granito moscovítico y acilas de coluviones ("Granito de Cabreiroa-Verín" y llanura de inundación del Valle de Verín)	<i>El granito de dos micas está ligado a metamorfismo por anatexia; se encuentra muy fracturado, favoreciendo la rápida circulación del agua y su escasa mineralización.</i>
Agua de Cabreiroá, con gas - nº 2	303-2-1b	630876	4643092		SONDEO		
Agua de Fontenova, manantial principal	303-2-2a	630279	4644382		MANANTIAL		
Agua de Fontenova, nº 2	303-2-2b	630291	4644341		SONDEO		
Sousas manantial 1	303-2-3a	630940	4644462		MANANTIAL		
Sousas manantial 2	303-2-3b	632471	4643790		MANANTIAL		
Sousas nº II, sondeo 1	303-2-3c	632347	4644261		SONDEO		
Sousas nº II, sondeo 2	303-2-3d	632405	4644283				
Sousas nº II, sondeo 3	303-2-3e	632393	4644332				
Sousas nº II, sondeo 4	303-2-3f	632476	4644301				

Los aprovechamientos estudiados corresponden a 3 plantas envasadoras que suman 10 puntos de control: dos sondeos en Cabreiroá (303-2-1a y 303-2-1b); un manantial y un sondeo en Fontenova (303-2-2a y 303-2-2b), y 2 manantiales, más 4 sondeos en Sousas (303-2-3a a 303-2-3f) (Cuadros 6.2 a 6.5).

Esta unidad se caracteriza por presentar aguas frías a templadas (14-19° C), débilmente ácidas a neutras (6,3-7,3), con mineralización débil a muy fuerte (56-2200 µS/cm), facies bicarbonatadas sódicas, fluoruradas (0,4-18 mg/l) y dos de ellas, también aciduladas (>250 mg/l de CO₂ libre); se ha detectado boro, con la excepción de 3 de las muestras, en concentraciones muy variables (0,123-3,927 mg/l); sin embargo, los contenidos en sulfuros son muy uniformes (1,1-1,8 mg/l) y, en la mitad de las muestras también se ha detectado amonio (0,35-3,40 mg/l) y nitratos en una de ellas en concentraciones relativamente importantes (24 mg/l).

La diferente mineralización varía en función de los distintos porcentajes de mezcla entre las aguas propias de los granitos y aguas de circulación somera, frías y de baja mineralización, favorecido por la configuración de la zona de descarga.

Cuadro 6.2. MEDIDAS <i>IN SITU</i> DE PARÁMETROS INESTABLES										
UNIDAD DEL RÍO TÁMEGA										
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas <i>in situ</i>	Tº AGUA (º C)	pH	C.E. (µS/cm)	O ₂ dis. (mg/l)	O ₂ dis. (%)	Eh (mV)	OBSERVACIONES	DISCUSIÓN RESULTADOS
Agua de Cabreiroá, sin gas - nº 1 (OR)	303-2-1a	feb-04	14,5	6,8	312	5,70	56,4	255		<i>Aguas frías, ligeramente ácidas, con mineralización variable: débil o muy mineralizadas, muy poco oxigenadas a oxigenadas.</i>
Agua de Cabreiroá, con gas - nº 2 (OR)	303-2-1b	feb-04	18,4	6,3	2200	2,39	25,3	59		
Agua de Fontenova, manantial principal (OR)	303-2-2a	feb-04	18,9	6,3	2600	2,50	27,8	40		
Agua de Fontenova, nº 2 (OR)	303-2-2b	feb-04	14,2	6,6	485	5,43	51,1	281		
Sousas manatial 1 (OR)	303-2-3a	feb-04	17,8	6,4	1900	5,47	53,4	18		
Sousas manatial 2 (OR)	303-2-3b	feb-04	18,4	6,6	1140	2,24	24,5	9		
Sousas nº II, sondeo 1 (OR)	303-2-3c	feb-04	17,2	6,3	149	4,71	49,6	232		
Sousas nº II, sondeo 2 (OR)	303-2-3d	feb-04	19,1	6,3	504	3,52	38,4	150		
Sousas nº II, sondeo 3 (OR)	303-2-3e	feb-04	17,8	6,3	243	5,98	61,5	197		
Sousas nº II, sondeo 4 (OR)	303-2-3f	feb-04	18,1	5,6	56	3,78	38,0	255		

Las condiciones reductoras y anóxicas provocan la disolución de hierro (0,034-1,390 mg/l), manganeso (0,031-0,308 mg/l) y arsénico (0,008-0,303 mg/l), así como favorecen la presencia de sólidos en suspensión (1-15 mg/l); en una de las muestras se ha detectado aluminio en concentraciones relativamente altas (0,212 mg/l); en otras dos se ha cuantificado cianuros (0,015-0,036 mg/l), si bien no en concentraciones perjudiciales para la salud. Salvo en una de las muestras, se ha identificado la presencia de fosfatos (0,22-2,50 mg/l). En parte de ellas se ha detectado color y turbidez. Los valores de radiactividad son también muy elevados.

CUADRO 6.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS GEOQUÍMICO EN LABORATORIO Y CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA

UNIDAD DEL RÍO TÁMEGA																				
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	pH	C.E. (µS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F ⁻	S ²⁻	FACBS HQ
					mg/l													µg/l	mg/l	
Agua de Cabreira, sin gas - nº 1 (OR)	303-2-1a	mar-04	7,3	270	47	2	7	2	8	6	140	0	3,0	<0,05	<0,05	43	<50	1,15	1,8	(SHCO ₃ (F)-Na)
Agua de Cabreira, con gas - nº 2 (OR)	303-2-1b	mar-04	6,5	2275	485	54	17	15	28	10	1490	0	<0,5	<0,05	1,10	63	2252	5,22	1,8	(SHCO ₃ (F)-Na(B))
Agua de Fontenova, manantial principal (OR)	303-2-2a	mar-04	6,7	2805	552	48	8	7	29	11	1610	0	<0,5	<0,05	3,40	62	3927	18,00	1,8	(SHCO ₃ (F)-Na(B))
Agua de Fontenova, nº 2 (OR)	303-2-2b	mar-04	6,8	433	84	9	4	4	15	8	242	0	24,0	<0,05	0,35	18	536	1,65	1,4	(SHCO ₃ (F)-Na(B))
Sousas manatial 1 (OR)	303-2-3a	mar-04	6,8	1745	408	30	13	8	25	8	1180	0	1,0	<0,05	2,20	64	2189	9,35	1,8	(SHCO ₃ (F)-Na(B))
Sousas manatial 2 (OR)	303-2-3b	mar-04	7,1	1018	257	18	5	4	11	4	732	0	<0,5	<0,05	2,40	71	1534	10,90	1,4	(SHCO ₃ (F)-Na(B))
Sousas nº II, sondeo 1 (OR)	303-2-3c	mar-04	6,6	138	32	2	1	1	5	6	75	0	3,0	<0,05	<0,05	56	<50	0,86	1,8	(SHCO ₃ -Na)
Sousas nº II, sondeo 2 (OR)	303-2-3d	mar-04	7,3	476	110	7	4	6	9	3	322	0	2,0	<0,05	<0,05	63	456	2,66	1,8	(SHCO ₃ (F)-Na(B))
Sousas nº II, sondeo 3 (OR)	303-2-3e	mar-04	7,3	229	48	3	2	2	7	3	130	0	2,0	<0,05	<0,05	58	123	1,23	1,8	(SHCO ₃ (F)-Na(B))
Sousas nº II, sondeo 4 (OR)	303-2-3f	mar-04	7,2	49	10	<1	1	1	3	3	21	0	1,0	<0,05	<0,05	56	<50	0,40	1,8	(SHCO ₃ -Na)

CUADRO 6.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MINORITARIOS Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (SS) DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA

UNIDAD DEL RÍO TÁMEGA																					
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd	Pb	As	Se	Hg	Al	Co	Ba	Ag	Be	Ni	Sb	V	SS mg/l
			µg/l																		
Agua de Cabreira, sin gas - nº 1 (OR)	303-2-1a	mar-04	<0,05	0,06	42	<10	<2,5	<0,5	<5	22,0	<5	<0,5	<25	<0,2	7,9	0,35	<10	<10	<0,2	<0,5	1,4
Agua de Cabreira, con gas - nº 2 (OR)	303-2-1b	mar-04	<0,05	<0,05	1390	42	<2,5	<0,5	<5	68,0	<5	<0,5	78	<0,4	52,8	0,82	44	<20	<0,4	<1	9,6
Agua de Fontenova, manantial principal (OR)	303-2-2a	mar-04	<0,05	<0,05	890	31	<2,5	<0,5	<5	27,0	<5	<0,5	72	<0,4	95,8	0,76	48	<20	<0,4	1,30	9,5
Agua de Fontenova, nº 2 (OR)	303-2-2b	mar-04	<0,05	<0,05	83	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	<25	<0,2	21,8	0,35	<10	<10	<0,2	0,56	2,5
Sousas manatial 1 (OR)	303-2-3a	mar-04	<0,05	<0,05	900	62	<2,5	<0,5	<5	42,0	<5	<0,5	<25	<0,2	41,2	0,37	21	<10	<0,2	0,68	3,5
Sousas manatial 2 (OR)	303-2-3b	mar-04	<0,05	0,06	1020	308	<2,5	<0,5	<5	214,0	<5	<0,5	<25	0,65	14,9	0,34	<10	<10	<0,2	2,00	3,4
Sousas nº II, sondeo 1 (OR)	303-2-3c	mar-04	<0,05	0,11	34	<10	<2,5	<0,5	<5	66,0	<5	<0,5	212	<0,2	0,7	0,35	<10	<10	<0,2	<0,5	15,0
Sousas nº II, sondeo 2 (OR)	303-2-3d	mar-04	<0,05	0,08	151	129	<2,5	<0,5	<5	303,0	<5	<0,5	<25	<0,2	4,0	0,34	<10	<10	<0,2	<0,5	12,4
Sousas nº II, sondeo 3 (OR)	303-2-3e	mar-04	<0,05	<0,05	58	29	<2,5	<0,5	<5	89,0	<5	<0,5	<25	<0,2	1,7	0,34	<10	<10	<0,2	<0,5	0,9
Sousas nº II, sondeo 4 (OR)	303-2-3f	mar-04	<0,05	0,05	<20	<10	<2,5	<0,5	<5	8,0	<5	<0,5	<25	<0,2	0,2	0,34	<10	<10	<0,2	<0,5	1,9

CUADRO 6.5. OTROS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LABORATORIO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA														
UNIDAD DEL RÍO TÁMEGA														
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	brumatos (BrO ₃)	fosfatos (P ₂ O ₅)	Detergentes	CN	Residuo seco (180° C)	oxidabilidad al MnO ₂ K	fenoles	CO ₂ libre	color	turbidez	Radio-actividad α total	Radio-actividad β total
													mg/l	
Agua de Cabreiroá, sin gas - n° 1 (OR)	303-2-1a	mar-04	<0,010	0,22	<0,05	<0,005	186	0,6	<0,005	14,3	11,81	<1	0,030±0,012	0,052±0,017
Agua de Cabreiroá, con gas - n° 2 (OR)	303-2-1b	mar-04	<0,010	0,38	<0,05	<0,005	1565	0,7	<0,005	705,0	20,00	12,48	0,419±0,129	1,433±0,165
Agua de Fontenova, manantial principal (OR)	303-2-2a	mar-04	<0,010	0,18	<0,05	0,015	1952	0,6	<0,005	631,0	48,06	4,16	1,106±0,204	1,668±0,233
Agua de Fontenova, n° 2 (OR)	303-2-2b	mar-04	<0,010	<0,04	<0,05	<0,005	296	0,6	<0,005	52,8	<5	<1	0,145±0,034	0,254±0,035
Sousas manantial 1 (OR)	303-2-3a	mar-04	<0,010	1,60	<0,05	<0,005	1254	0,6	<0,005	7,9	7,85	<1	0,812±0,156	1,120±0,144
Sousas manantial 2 (OR)	303-2-3b	mar-04	<0,010	0,30	<0,05	0,036	720	<0,5	<0,005	99,0	<5	<1	0,440±0,073	0,824±0,081
Sousas n° II, sondeo 1 (OR)	303-2-3c	mar-04	<0,010	1,50	<0,05	<0,005	108	0,6	<0,005	25,3	44,19	11,09	0,058±0,010	0,510±0,024
Sousas n° II, sondeo 2 (OR)	303-2-3d	mar-04	<0,010	2,00	<0,05	<0,005	312	0,5	<0,005	67,0	<5	6,52	0,260±0,038	0,717±0,049
Sousas n° II, sondeo 3 (OR)	303-2-3e	mar-04	<0,010	1,40	<0,05	<0,005	170	<0,5	<0,005	40,7	<5	<1	0,095±0,016	0,232±0,020
Sousas n° II, sondeo 4 (OR)	303-2-3f	mar-04	<0,010	2,50	<0,05	<0,005	37	<0,5	<0,005	22,0	<5	<1	0,011±0,002	0,227±0,018

3.7. MUESTRAS DE AGUA TOMADAS EN EL DOMINO DEL MANTO DE MONDOÑEDO

Las muestras de agua localizadas en la provincia de Lugo, corresponden a descargas de sistemas de flujo desarrollados en granodioritas afectadas por fracturación tardi-posthercínica NE-SO (Fig. 1), bien en contacto con pizarras o a través de coluviones. Corresponden al balneario de Lugo (72-8-1a a 72-8-1e) y a 3 plantas envasadoras de agua: Fontoira (47-8-1a, 47-8-1b y 47-8-1c), Fontecelta (98-6-1a y 98-6-1b) y Fontxesta (98-2-1) (Cuadros 7.1 a 7.5).

Se distinguen dos grupos de muestras con características hidroquímicas particulares:

- Aguas frías (14° C), pH en torno a la neutralidad (6,0-7,4), mineralización débil (108-360 μS/cm), ligeramente oxigenadas (3,5-4 mg/l O₂ disuelto) y oxidantes (Eh > 200 mV). Son de composición química bicarbonatada cálcica (aguas de Fontoira) o bicarbonatada cálcico-sódica (agua de Fontxesta).

CUADRO 7.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA								
UNIDAD DEL DOMINIO DEL MANTO DE MONDOSEDO								
DENOMINACIÓN	Nº Ref.	UTM X	UTM Y	TÉRMINO MUNICIPAL	NATURALEZA CAPTACIÓN	LITOLOGÍA	INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA	
Fontoira-1	47-8-1a	615821	4787965	FEIRA DO MONTE	¿POZOS?	esquistos micacíticos con estaurólita, granate y cuarcitas, neis y lentejones de anfibolitas calcomagnesianas	<i>Parece haber una discordancia Precámbrico-Cámbrico, aunque no se advierte la existencia de metamorfismo o esquistosidad. Las aguas termales del Balneario de Lugo se relacionan con granodioritas afectadas por fracturación tardihercínica.</i>	
Fontoira-2	47-8-1b	615773	4787982					
Agua de Fontoira	47-8-1c	615632	4788113		MANANTIAL			
B. Lugo M. Central	72-8-1a	617450	4762200	LUGO	MANANTIAL	esquistos pelíticos con granates + neis anfibolíticos		
B. Lugo, pozo 3	72-8-1b							
B. Lugo, pozo 2	72-8-1c							POZOS
B. Lugo, pozo 4	72-8-1d							
B. Lugo, piscina	72-8-1e							AGUA PISCINA
Fontecelta S-1	98-6-1a	631505	4743834	PUEBLA DE SAN JULIÁN	MANANTIAL	depósitos detríticos eluvio-aluviales y rañas rojizas pliocuaternarias más depósitos continentales recientes sobre granodiorita precoz con megacrístales		<i>Los materiales graníticos constituyen las principales "áreas fuente" de los sedimentos pliocuaternarios, cuya sedimentación está determinada por el rejuego de fracturas hercínicas, que determinan el quimismo del agua subterránea.</i>
Fontecelta S-2	98-6-1b	631421	4743906					
Agua de Fontxesta	98-2-1	633059	4753826	GUIMERÁS	MANANTIAL	granodiorita tardía con megacrístales (limita con Pliocuaternario: raña roja y sedimentos continentales recientes)		

Se han detectado pequeños contenidos en azufre (1-2 mg/l), concordantes en dos de las muestras con la presencia de manganeso (38-41 mg/l), pero en contradicción (se presencia en solución requeriría condiciones reductoras) con los datos de Eh y O₂ disuelto medidos *in situ* (indicativos de un medio oxidante). Apenas presentan boro (0,12-0,15 mg/l), y no se ha registrado ningún parámetro en concentraciones que indiquen contaminación. La composición química indica que se trata de aguas de infiltración o de flujos cortos a través de rocas ígneas o metamórficas, resultante de la disolución de calcitas, y, en menor medida, hidrólisis de plagioclasas

Cuadro 7.2. MEDIDAS <i>IN SITU</i> DE PARÁMETROS INESTABLES										
UNIDAD DEL DOMINIO DEL MANTO DE MONDOÑEDO										
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de medidas <i>in situ</i>	Tº AGUA (° C)	pH	C.E. (µS/cm)	O ₂ dis. (mg/l)	O ₂ dis. (%)	Eh (mV)	OBSERVACIONES	DISCUSIÓN RESULTADOS
Fontoira-1 (Lu)	47-8-1a	dic-03	14,5	6,7	360	4,26	41,7	225		Aguas frías, neutras, poco mineralizadas, poco oxigenadas y oxidantes
Fontoira-2 (Lu)	47-8-1b	dic-03	14,2	7,4	322	3,82	38,1	213		
Agua de Fontoira (Lu)	47-8-1c	dic-03	13,5	7,3	288	3,65	34,6	221		
B. Lugo M. Central	72-8-1a	oct-03	29,6	7,7	644		44,9	260	Se deducen unas concentraciones de O ₂ disuelto de 4-3 ppm. Sin embargo, el valor de Eh contradice estos resultados	Son aguas termales, ligeramente básicas, mineralización notable, poco oxigenadas (manantial y pozo 3) o muy oxigenadas (pozos 2 y 4), y oxidantes
B. Lugo, pozo 3	72-8-1b	oct-03	42,6	7,8	698		37,3	278		
B. Lugo, pozo 2	72-8-1c	oct-03	42,0	7,6	791		136,0	260	Se deduce una concentración de O ₂ disuelto de 13 ppm	
B. Lugo, pozo 4	72-8-1d	oct-03	26,9	7,8	591		143,0	260	Se deduce una concentración de O ₂ disuelto de 14 ppm	
B. Lugo, piscina	72-8-1e	oct-03	40,6	7,5	664		28,8	271	Se deduce un valor de O ₂ disuelto de 3 ppm. Sin embargo, el Eh contradice este dato	
Fontecelta S-1 (Lu)	98-6-1a	dic-03	21,2	7,6	512	4,10	46,7	-176		Son aguas frías, ligeramente básicas, mineralización media, poco oxigenadas y reductoras
Fontecelta S-2 (Lu)	98-6-1b	dic-03	19,9	7,6	407	3,71	29,0	-144		
Agua de Fontvesta (Lu)	98-2-1	dic-03	13,8	5,9	108	4,06	37,2	278		Agua fría, ácida, muy poco mineralizada, poco oxigenada y oxidante

- Aguas templadas a termales (20-43° C), básicas (pH= 7,6-8,0), mineralización fuerte (400-700 µS/cm), débilmente oxigenadas (3-4 mg/l O₂ disuelto) y con potenciales eléctricos variables: de reductores (Eh< 100 mV) a oxidantes (Eh> 200 mV).

Son bicarbonatadas sódicas (aguas de balneario de Lugo y Fontecelta), sulfuradas (6-27 mg/l), fluoruradas (10-25 mg/l), con boro (286-1394 µg/l) y amonio, aunque en concentraciones bajas (0,17-0,28 mg/l). En todas se ha identificado manganeso en contenidos importantes (39-178 µg/l), y en las del balneario de Lugo, también antimonio (0,82-7,60 µg/l). Los valores de radiactividad total α son altos en las muestras de Fontecelta (>0,1 Bq).

La composición química de estas aguas es resultado de procesos de intercambio catiónico e hidrólisis de feldespatos-plagioclasas y micas, que le confieren el carácter bicarbonatado sódico.

La aparición de flúor es debida a la disolución de fluoritas o fluorapatito; los sulfuros se deben a la reducción de piritas que existen en la roca; el boro forma parte de la composición de las micas biotitas. La diferente temperatura y mineralización del agua debe de corresponder a diferentes proporciones de mezcla del agua profunda con aguas de flujos someros.

CUADRO 7.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS GEOQUÍMICO EN LABORATORIO Y CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA

UNIDAD DEL DOMINIO DEL MANTO DE MONDOŃEDO																				
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	pH	C.E. (µS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F ⁻	S ²⁻	FACIES HQ
																	µg/l	mg/l		
Fonteira-1 (Lu)	47-8-1a	ene-04	7,2	322	16	1	46	9	17	5	169	0	24,0	<0,05	<0,05	23	<50	0,14	1,4	HCO ₃ Ca
Fonteira-2 (Lu)	47-8-1b	ene-04	7,3	290	12	1	44	8	14	5	157	0	20,0	<0,05	<0,05	20	<50	0,12	1,4	HCO ₃ Ca
Agua de Fonteira (Lu)	47-8-1c	ene-04	7,4	258	11	1	39	7	13	4	156	0	9,0	<0,05	<0,05	17	<50	0,15	2,2	HCO ₃ Ca
B. Lugo M. Central	72-8-1a	sep-03	7,9	583	130	5	4	1	52	68	175	0	<0,5	<0,05	0,24	80	1127	23,00	20,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)
B. Lugo, poza 3	72-8-1b	sep-03	7,9	602	133	6	4	1	50	81	170	0	<0,5	<0,05	0,27	88	1394	25,00	27,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)
B. Lugo, poza 2	72-8-1c	sep-03	7,9	608	133	6	4	1	51	75	181	0	<0,5	<0,05	0,28	90	1239	25,00	27,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)
B. Lugo, poza 4	72-8-1d	sep-03		552	121	5	5	1	44	66	171	0	<0,5	<0,05	0,20	75	1044	21,00	25,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)
B. Lugo, piscina	72-8-1e	sep-03	8,0	582	135	6	5	1	47	78	186	0	<0,5	<0,05	0,22	75	1160	18,00	17,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)
Fontecelta S-1 (Lu)	98-6-1a	ene-04	7,5	469	96	3	18	4	34	10	347	0	<0,5	<0,05	0,23	40	860	14,00	11,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)
Fontecelta S-2 (Lu)	98-6-1b	ene-04	7,6	359	58	3	14	3	26	7	170	0	<0,5	<0,05	0,17	36	286	10,00	6,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)
Agua de Fontecelta (Lu)	98-2-1	ene-04	6,7	85	11	<1	8	2	9	3	42	0	4,0	<0,05	<0,05	23	<50	0,15	1,0	HCO ₃ CaNa

CUADRO 7.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MINORITARIOS Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (SS) DE LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA

UNIDAD DEL DOMINIO DEL MANTO DE MONDOÑEDO																					
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	Cu	Zn	Pb	Mn	Cr	Cd	Pb	As	Se	Hg	Al	Co	Ba	Ag	Bc	Ni	Sb	V	SS
			mg/l			µg/l															
Fonteira-1 (La)	47-8-1a	ene-04	<0,05	<0,05	<20	41	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	<25	0,30	91,1	<0,5	<5	3,1	<0,2	1,10	0,6
Fonteira-2 (La)	47-8-1b	ene-04	<0,05	<0,05	<20	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	<25	0,26	27,1	<0,5	<5	<2	<0,2	0,84	0,7
Agua de Fonteira (La)	47-8-1c	ene-04	<0,05	<0,05	<20	<10	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	<25	0,23	22,6	<0,5	<5	<2	<0,2	0,67	0,8
B. Lugo M. Central	72-8-1a	sep-03	<0,05	<0,05	<20	39	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	25,4	<1	3,1	<0,2	<2	<2	1,90	1,30	1,2
B. Lugo, pozo 3	72-8-1b	sep-03	<0,05	<0,05	<20	50	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	22,0	<1	4,8	<0,2	<2	<2	2,40	1,60	1,4
B. Lugo, pozo 2	72-8-1c	sep-03	<0,05	<0,05	<20	41	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	41,2	<1	3,7	<0,2	<2	<2	2,10	2,50	1,0
B. Lugo, pozo 4	72-8-1d	sep-03	<0,05	<0,05	<20	55	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	54,5	<1	7,6	<0,2	<2	<2	0,82	3,00	1,0
B. Lugo, piscina	72-8-1e	sep-03	<0,05	<0,05	<20	53	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	30,8	<1	6,8	<0,2	<2	5,6	7,60	2,10	1,1
Fontecelta S-1 (La)	98-6-1a	ene-04	<0,05	<0,05	<20	178	<2,5	<0,5	<5	5,0	<5	<0,5	<25	<0,2	15,2	<0,5	<5	<2	<0,2	0,51	0,9
Fontecelta S-2 (La)	98-6-1b	ene-04	<0,05	<0,05	43	160	<2,5	<0,5	6	<5	<5	<0,5	<25	<0,2	6,7	<0,5	<5	<2	<0,2	0,42	0,4
Agua de Fontecelta (La)	98-2-1	ene-04	<0,05	<0,05	<20	38	<2,5	<0,5	<5	<5	<5	<0,5	<25	<0,2	23,2	<0,5	<5	<2	0,21	0,71	0,7

CUADRO 7.5. OTROS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LABORATORIO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN LAS MUESTRAS DE AGUA MINERAL DE GALICIA

UNIDAD DEL DOMINIO DEL MANTO DE MONDOÑEDO															
TOPÓNIMO	Nº Ref.	fecha de análisis	bromatos (BrO ₃)	fosfatos (P ₂ O ₅)	Detergentes	CN	Residuo seco (180° C)	acidabilidad al MnO ₂ /K	fenoles	CO ₂ -libre	color	turbidez	Radioactividad α total	Radioactividad β total	
			mg/l												Bq/l
Fonteira-1 (La)	47-8-1a	ene-04	<0,010	0,67	0,249	<0,005	220	0,6	<0,005	22,0	<5	<1	<0,024	0,083±0,020	
Fonteira-2 (La)	47-8-1b	ene-04	<0,010	0,13	<0,05	<0,005	199	0,5	<0,005	3,3	<5	<1	<0,018	0,048±0,019	
Agua de Fonteira (La)	47-8-1	ene-04	<0,010	<0,04	<0,05	<0,005	63	0,6	<0,005	44,0	<5	<1	0,016±0,002	0,142±0,017	
B. Lugo M. Central	72-8-1a	sep-03	NA	<0,04	<0,05	0,018	427	2,4	<0,005	<1,1	<5	<1	0,076±0,026	0,352±0,046	
B. Lugo, pozo 3	72-8-1b	sep-03	NA	<0,04	<0,05	<0,005	447	0,5	<0,005	1,1	<5	<1	0,124±0,038	0,351±0,047	
B. Lugo, pozo 2	72-8-1c	sep-03	NA	<0,04	<0,05	0,006	440	1,0	<0,005	1,1	<5	<1	0,024±0,020	0,331±0,046	
B. Lugo, pozo 4	72-8-1d	sep-03	NA	<0,04	<0,05	<0,005	404	<0,5	<0,005	<1,1	<5	<1	0,051±0,028	0,356±0,042	
B. Lugo, piscina	72-8-1e	sep-03	NA	<0,04	<0,05	<0,005	421	1,0	<0,005	1,1	<5	<1	0,057±0,026	0,257±0,043	
Fontecelta S-1 (La)	98-6-1a	ene-04	<0,010	<0,04	<0,05	<0,005	322	0,6	<0,005	7,7	<5	<1	0,134±0,035	0,362±0,037	
Fontecelta S-2 (La)	98-6-1b	ene-04	<0,010	<0,04	<0,05	<0,005	260	0,5	<0,005	3,3	<5	<1	0,119±0,023	0,243±0,024	
Agua de Fontecelta (La)	98-2-1	ene-04	<0,010	<0,04	<0,05	<0,005	63	0,6	<0,005	44,0	<5	<1	0,016±0,002	0,142±0,017	

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo, se estudian todas las muestras de agua minerales en su conjunto con el objeto de intentar establecer su evolución hidrogeoquímica natural y su procedencia; así como distinguir la posible contaminación tanto de origen antrópico como natural. Para tal fin, se ha seguido la siguiente secuencia metodológica:

- En primer lugar se ha representado la composición de los iones mayoritarios de cada muestra en un diagrama de Piper-Hill-Langelier.
- En segundo lugar, se han reagrupado las muestras en función de su composición química con objeto de distinguir comportamientos geoquímicos comunes que permitan determinar los procesos de interacción roca-agua que hayan podido tener lugar en el macizo cristalino. Se han utilizado como herramienta de ayuda las representaciones gráficas de distintas relaciones iónicas indicativas de la salinización –o mineralización– del agua, así como diagramas de dispersión de datos de parámetros físico-químicos como temperatura y conductividad eléctrica.
- En tercer lugar, se han seleccionado los parámetros que han resultado indicativos de contaminación en ciertas muestras de *agua mineral* y se ha discutido la posible procedencia de dicha alteración química en su composición.

4.1. HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS MINERALES: DIAGRAMAS DE PIPER-HILL-LANGELIER

El diagrama de Piper-Hill-Langelier (Fig. 2) muestra los tipos de facies hidroquímicas identificadas, que, con la excepción de 3 de las 61⁵ muestras representadas, responden a una tendencia evolutiva común a lo largo de una teórica trayectoria en flujos a través de fracturas en un macizo cristalino.

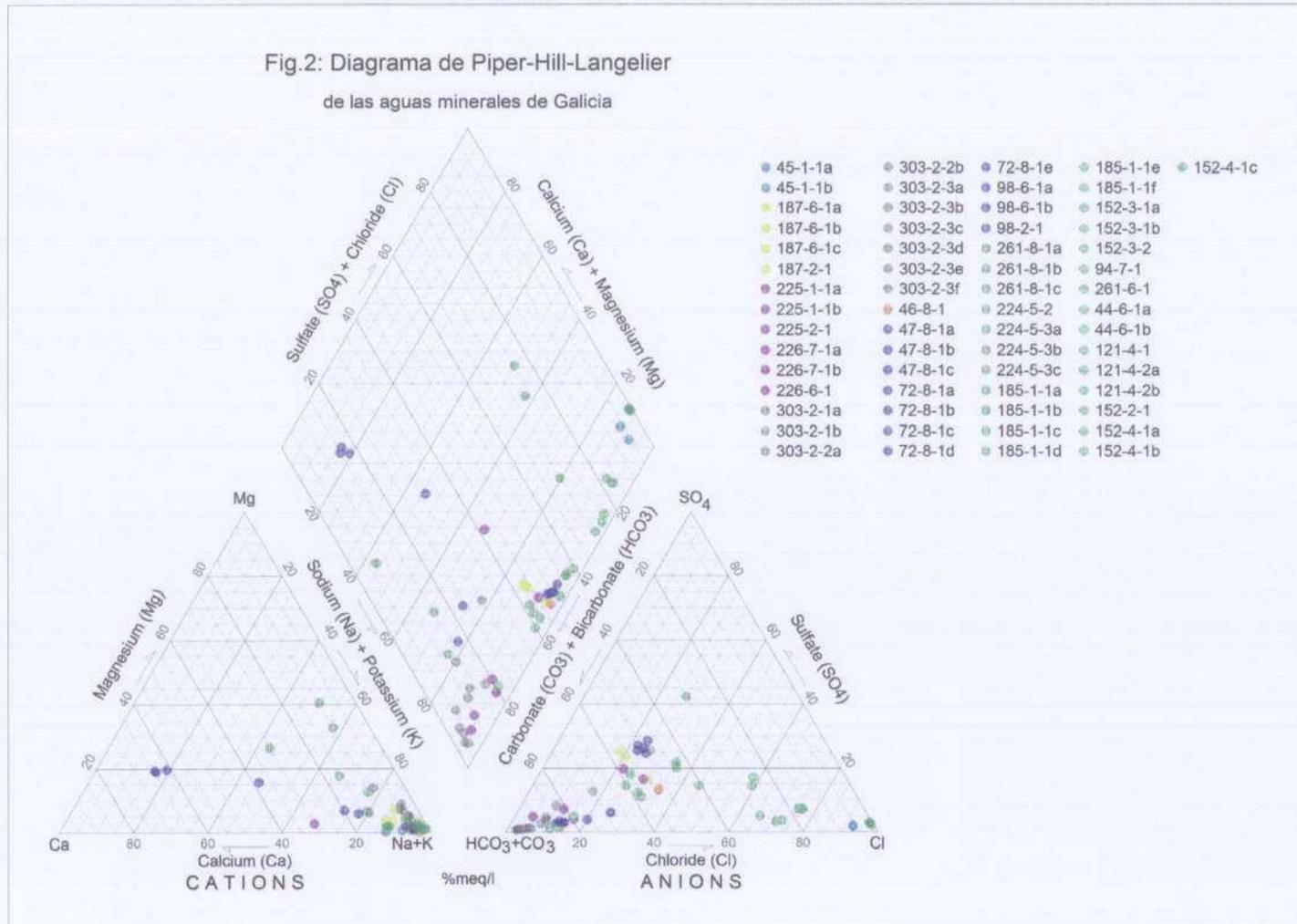
En el triángulo de los cationes se traza el cambio de aguas cálcicas y cálcico-sódicas, a sódicas, que comprenden la gran parte de las muestras; no aparecen aguas magnésicas. Sólo una de las muestras –San Xinés (152-2-1)– presenta una proporción importante en magnesio (48%); no obstante, se ha de tener en cuenta la escasa mineralización de esta muestra de agua, porque se trata de agua de circulación muy somera.

Respecto a los aniones, son aguas mayoritariamente bicarbonatadas, que evolucionan a bicarbonatadas cloruradas y cloruradas sódicas; no se identifican facies sulfatadas, salvo en un caso, posiblemente como consecuencia del ambiente reductor y anóxico de la mayor parte de estas aguas que provocan la reducción de los sulfatos a sulfuros. La única muestra de agua sulfatada –balneario de Brea (121-4-1)– no parece

⁵ No se dispone de datos analíticos del agua del Fuente del Val –224-5-1–, si bien su composición es similar al agua del balneario de Mondariz Sabajanes –224-5-2–, esto es, bicarbonatada sódica.

responder a una evolución natural del agua, sino derivada de contaminación antrópica; por tanto, se descarta para la discusión general de los resultados físico-químicos.

Fig.2: Diagrama de Piper-Hill-Langelier
de las aguas minerales de Galicia



En el rombo central se observa que, en efecto, un pequeño grupo de muestras es de composición bicarbonatada cálcica o cálcico sódica, y corresponde con los primeros estadios en la evolución del agua, esto es, aguas de flujos locales y someros, que evolucionan a aguas bicarbonatadas sódicas, propias de flujos de trayectoria larga, tanto más profunda cuanto más evolucionada esté el agua, para dar lugar, en última instancia, a aguas cloruradas sódicas.

Por tanto, la evolución de estas aguas minerales parece darse en el sentido:

bicarbonatadas cálcicas → bicarbonatadas sódicas → bicarbonatadas cloruradas sódicas → cloruradas sódicas,

en respuesta a procesos de intercambio Ca/Na e hidrólisis de plagioclasas, y en menor medida, a la disolución de calcita y halita.

La excepción a esta tendencia evolutiva son las aguas mencionadas del balneario de Brea (121-4-1) y San Xinés (152-2-1); se puede observar que ésta última responde a la misma facies hidroquímica que la muestra tomada del manantial de Agua Sana: 261-6-1, que también es clorurada sódica, pero de escasa mineralización debido a su circulación somera y de trayectoria corta, con una composición química semejante al agua de precipitación.

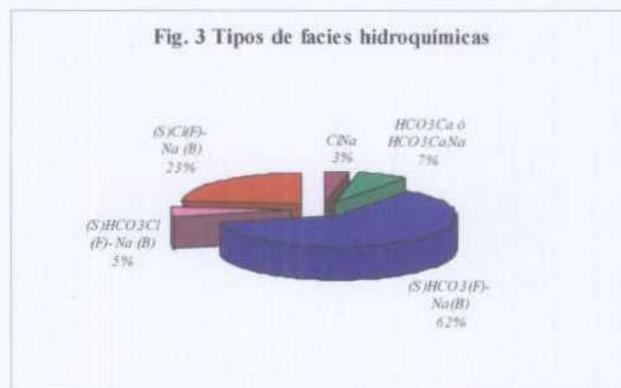
Si se hubiese producido intrusión del agua del mar en el macizo cristalino, como respuesta habría tenido lugar un mecanismo de intercambio iónico en sentido inverso, esto es Na por Ca, para equilibrar el exceso de Na que aporta el agua marina al agua subterránea, cambiando su composición de aguas cloruradas sódicas a aguas cloruradas sódico-cálcicas e incluso cloruradas cálcicas. Sin embargo, tal proceso no parece tener lugar en las aguas minerales de Galicia, puesto que no se han identificado este tipo de aguas, ni se ha puesto de manifiesto en el diagrama de Piper.

4.2. FACIES HIDROQUÍMICAS

Si se considera la caracterización hidroquímica de las aguas minerales en su conjunto, se obtiene (Fig. 3) que un 62% de las muestras con composición bicarbonatada sódica, sulfurada, fluorurada y con boro; el 23% son aguas cloruradas sódicas, sulfuradas, fluoruradas y con boro; el 5%, es de facies mixta: bicarbonatada clorurada sódica, sulfurada, fluorurada y con boro; igual porcentaje de muestras es de carácter bicarbonatado cálcico (o cálcico-sódico), y el 3% restante responde a una composición clorurada sódica, sin sulfuros, fluoruros o boro.

Estas últimas se caracterizan por temperaturas frías, pH ácidos y mineralización muy débil (Cuadro 8). En las regiones marinas, como es el caso de Galicia, las sales del mar se pueden evaporar y transportarse con el viento y precipitar con el agua de lluvia, infiltrarse en el suelo y llegar hasta la zona saturada, originando aguas cloruradas sódicas.

Las aguas bicarbonatadas cálcicas –o cálcico sódicas– (Cuadro 8) responden a temperaturas frías, pH en torno a la neutralidad y mineralización débil, propias de aguas de infiltración o de flujos cortos a través de rocas ígneas o metamórficas, cuya composición química es el resultado de la disolución de calcitas, y, en menor medida, hidrólisis de plagioclasas.



CUADRO 8. AGUAS MINERALES DE FACIES CLORURADA SÓDICA Y BICARBONATADAS CÁLCICAS: FLUJOS SOMEROS, AGUAS POCO EVOLUCIONADAS

TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (μS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F	S ²⁻	FACIES (Q)	OBSERVACIONES
				μg/l													μg/l	mg/l		
San Xarés (Po)	152-2-1	5,9	115	11	<1	2	5	15	6	11	0	14,0	<0,05	<0,05	8	93	<0,5	1,4	ClNa	La temperatura fría, el pH ácido, la débil mineralización y la composición clorurada sódica de estas aguas, indican una circulación somera del agua de recarga, cuyo origen está en la infiltración de agua de precipitación, en gran medida, procedente del mar
Agua Santa M-1 (Po)	201-6-1	6,7	42	6	<1	1	2	9	3	7	0	2,0	<0,05	<0,05	7	100	<0,5	1,4	ClNa	
Fentórs-1 (La)	47-8-1a	7,2	322	16	1	46	9	17	5	169	0	24,0	<0,05	<0,05	23	<50	0,14	1,4	HCO ₃ Ca	Las aguas de infiltración o de flujos cortos a través de rocas ígneas o metamórficas se caracterizan por una composición bicarbonatada cálcica o cálcico-sódica resultado de la disolución de calcitas, y, en menor medida, hidrólisis de plagioclasas
Fentórs-2 (La)	47-8-1b	7,3	280	12	1	44	8	14	5	157	0	20,0	<0,05	<0,05	20	<50	0,12	1,4	HCO ₃ Ca	
Agua de Fentórs (La)	47-8-1c	7,4	258	11	1	39	7	13	4	156	0	9,0	<0,05	<0,05	17	<50	0,15	2,2	HCO ₃ Ca	
Agua de Fentórs (La)	96-2-1	6,7	85	11	<1	8	2	9	3	42	0	4,0	<0,05	<0,05	23	<50	0,15	1,0	HCO ₃ CaNa	

La facies bicarbonatada sódica (Cuadro 9), típicamente con C.E.> 400 μg/l, pH> 8, concentraciones muy bajas en calcio y magnesio, y altas en sílice, se puede explicar por diferentes procesos geoquímicos, que no tienen por qué ser excluyentes:

- Inicialmente el sistema es abierto al CO₂ –procedente de la atmósfera y de la oxidación de la materia orgánica del suelo–, cuya disolución en el agua supone la formación de bicarbonatos y de protones, que provocan la disolución de los carbonatos y la hidrólisis de los silicatos.
- La disolución de carbonatos tales como calcita y dolomita, muy solubles y abundantes en la corteza terrestre, conduce a la aparición de bicarbonatos,

calcio –y magnesio, para dolomita– en solución. Si el pH aumenta a 8,2 la reacción de equilibrio implica la precipitación de los carbonatos.

- La hidrólisis de los feldespatos sódicos (albita) y plagioclasas (andesina y oligoclasa), provoca un incremento en el pH del agua, la formación de minerales de la arcilla tales como caolinita o esmectitas –que presentan una elevada capacidad de cambio–, con la consecuente existencia de procesos de intercambio catiónico, la precipitación de calcita, y la aparición en disolución de iones bicarbonato, sodio y/o calcio –e incluso, sílice–, de forma tal que la ecuación del balance de masas en tales especies resulte equilibrada.

CUADRO 9. AGUAS MINERALES BICARBONATADAS SÓDICAS, SULFURADAS Y FLUORURADAS: FLUJOS DE TRAYECTORIA LARGA																				
TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (µS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F ⁻	S ²⁻	FACIES HQ	OBSERVACIONES
				mg/l												µg/l	mg/l			
B. Guitiriz (Lago)	46-8-1	9,5	354	83	0,83	2,3	0,094	29,3	15,3	74	<1	<0,10	<0,10	1,01	20			66,0	(SiHCO ₃) ₂ -Na	
B. Arnoia, zona P-3 (Or)	225-1-1a	7,7	263	46	<1	18	1	23	28	105	0	<0,5	<0,05	0,34	28	311	13,00	16,0	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na (B)	
B. Arnoia, zona T-B (Or)	225-1-1b	8,7	370	91	2,1	5	1	45	35	124	11	<0,5	<0,05	1,13	65	671	24,00	28,0	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na (B)	
B. Lains, n.º 38 (Or)	225-2-1	8,0	742	172	7	5	1	35	28	400	0	<0,5	<0,05	0,82	72	1011	16,00	11,0	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na (B)	La composición química de las aguas que circulan a través de fracturas en granitos o a favor de la esquistosidad de las rocas metamórficas, es resultado de procesos de intercambio catiónico e hidrólisis de feldespatos-plagioclasas y micas, que le confieren el carácter bicarbonatado sódico. La aparición de fluor es debida a la disolución de fluoritas o fluorapatito; los sulfuros se deben a la reducción de piritas que existen en la roca. Oligoelementos tales como B y Li forman parte de la composición de las micax biotitas. La diferente temperatura y mineralización del agua se debe a diferentes porcentajes de mezcla con aguas de flujos someros o subsuperficiales.
B. Molgas, Pie. Caliente (Or)	226-7-1a	7,8	971	250	11	10	1	22	7	626	0	<0,5	<0,05	0,85	66	1096	14,00	2,2	(SiHCO ₃) ₂ -Na (B)	
B. Molgas, Pie. La Charra (Or)	226-7-1b	7,9	331	82	4	4	1	21	7	176	0	6,0	1,70	<0,05	28	303	3,00	2,2	(SiHCO ₃) ₂ -Na (B)	
B. Bubiño (Or)	226-6-1	7,6	962	276	8	12	3	22	29	684	0	<0,5	<0,05	0,28	58	492	11,00	2,0	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na (B)	
Calveirán, n.º 1 (Or)	303-2-1a	7,3	270	47	2	7	2	8	6	140	0	3,0	<0,05	<0,05	43	<50	1,15	1,8	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na	
Calveirán, n.º 2 (Or)	303-2-1b	6,5	2275	485	54	17	15	28	10	1490	0	<0,5	<0,05	1,10	63	2252	5,22	1,8	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na (B)	
Fuenteova, manantial (Or)	303-2-2a	6,7	2805	552	48	8	7	29	11	1610	0	<0,5	<0,05	3,40	62	3927	18,00	1,8	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na(B)	
Fuenteova, n.º 2 (Or)	303-2-2b	6,8	433	84	9	4	4	15	8	242	0	24,0	<0,05	0,35	18	536	1,65	1,4	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na (B)	
Souzas manantial 1 (Or)	303-2-3a	6,8	1745	408	30	13	8	25	8	1180	0	1,0	<0,05	2,20	64	2189	9,35	1,8	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na(B)	
Souzas manantial 2 (Or)	303-2-3b	7,1	1018	257	18	5	4	11	4	732	0	<0,5	<0,05	2,40	71	1534	10,90	1,4	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na(B)	
Souzas n.º II, sondas 1 (Or)	303-2-3c	6,6	138	32	2	1	1	5	6	75	0	3,0	<0,05	<0,05	56	<50	0,86	1,8	(SiHCO ₃) ₂ -Na	
Souzas n.º II, sondas 2 (Or)	303-2-3d	7,3	476	110	7	4	6	9	3	322	0	2,0	<0,05	<0,05	63	456	2,66	1,8	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na(B)	
Souzas n.º II, sondas 3 (Or)	303-2-3e	7,3	229	48	3	2	2	7	3	130	0	2,0	<0,05	<0,05	58	123	1,23	1,8	(SiHCO ₃) ₂ (F)-Na(B)	
Souzas n.º II, sondas 4 (Or)	303-2-3f	7,2	49	10	<1	1	1	3	3	21	0	1,0	<0,05	<0,05	56	<50	0,40	1,8	(SiHCO ₃) ₂ -Na	

CUADRO 9 (cont.). AGUAS MINERALES BICARBONATADAS SÓDICAS, SULFURADAS Y FLUORURADAS: FLUJOS DE TRAYECTORIA LARGA																				
TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (µS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl	SO ₄ ²⁻	HCO ₃	CO ₃ ²⁻	NO ₃	NO ₂	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F	S ²⁻	FACIES HQ	OBSERVACIONES
				mg/l											µg/l	mg/l				
B. Mondariz Sabajones (Po)	224-5-2	8,4	420	106	3	3	1	26	11	209	7	1,0	<0,05	0,06	49	305	8,00	14,0	SHCO ₃ (F)-Na(B)	<p>La composición química de las aguas que circulan a través de fracturas en granitos o a favor de la esquistosidad de las rocas metamórficas, es resultado de procesos de intercambio catiónico e hidrólisis de feldespatos-plagioclasas y micas, que le confieren el carácter bicarbonatado sódico. La aparición de fluor es debida a la disolución de fluoritas o fluorapatito; los sulfuros se deben a la reducción de piritas que existen en la roca. Oligoelementos tales como B y Li forman parte de la composición de las micas biotitas. La diferente temperatura y mineralización del agua se debe a diferentes porcentajes de mezcla con aguas de flujos someros o subsuperficiales.</p>
B. Mondariz A. Morales (Po)	224-5-3a	6,6	2354	238	22	152	81	51	14	1341	0	<0,5	<0,05	<0,05	86	546	2,00	NA	HCO ₃ (F)-Na (B)	
B. Mondariz F. Gandara (Po)	224-5-3b	6,5	1657	266	30	59	40	92	12	980	0	<0,5	<0,05	0,30	53	811	2,00	NA	HCO ₃ (F)-Na (B)	
B. Mondariz F. Trancoso (Po)	224-5-3c	6,6	3064	530	34	66	47	128	17	1710	0	<0,5	<0,05	<0,05	56	1241	3,00	NA	HCO ₃ (F)-Na (B)	
Do Trema-B. Nosa. Sra. dos Anxéles (C)	94-7-1	8,4	343	96	<1	2	1	36	36	138	3,6	<0,5	<0,05	0,44	29	298	11,00	16,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	
B. Velloso Carballo, fuente (C)	44-6-1a	8,7	619	141	3	2	1	104	46	136	13	<0,5	<0,05	1,20	68	956	25,00	29,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)	
B. Velloso Carballo, manantial	44-6-1b	9,1	627	144	4	1	1	57	75	117	32	<0,5	<0,05	1,22	67	983	25,00	36,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)	
B. Brea, fuente termal (Po)	121-4-2a	8,0	579	112	7	5	3	64	31	207	0	<0,5	<0,05	2,00	106	1659	23,00	28,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	
Baños Brea, sondos nº 5 (Po)	121-4-2b	8,0	573	112	7	4	2	55	31	188	0	<0,5	<0,05	2,00	105	1341	24,00	44,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	
B. Lugo M. Central	72-8-1a	7,9	583	130	5	4	1	52	68	175	0	<0,5	<0,05	0,24	80	1127	23,00	20,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)	
B. Lugo, poza 3	72-8-1b	7,9	602	133	6	4	1	50	81	170	0	<0,5	<0,05	0,27	88	1394	25,00	27,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)	
B. Lugo, poza 2	72-8-1c	7,9	608	133	6	4	1	51	75	181	0	<0,5	<0,05	0,28	90	1239	25,00	27,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)	
B. Lugo, poza 4	72-8-1d		552	121	5	5	1	44	66	171	0	<0,5	<0,05	0,20	75	1044	21,00	25,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)	
B. Lugo, piscina	72-8-1e	8,0	582	135	6	5	1	47	78	186	0	<0,5	<0,05	0,22	75	1160	18,00	17,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)	
Fonoteca S-1 (L.n)	98-6-1a	7,5	469	96	3	18	4	34	10	347	0	<0,5	<0,05	0,23	40	860	14,00	11,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)	
Fonoteca S-2 (L.n)	98-6-1b	7,6	359	58	3	14	3	26	7	170	0	<0,5	<0,05	0,17	36	286	10,00	6,0	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)	
B. O Carbaño (OR)	187-2-1	9,0	267	56	1	1	1	32	24	59	19	<0,5	<0,05	0,98	56	412	10,00	20,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	
B. Portovia, Fte. Interior (Or)	187-6-1a	8,8	201	46	<1	3	2	15	28	64	8	<0,5	<0,05	0,18	39	135	4,00	10,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	
B. Portovia, Fte. Prado (Or)	187-6-1b	8,9	202	46	<1	5	1	15	28	60	10	<0,5	<0,05	0,19	38	133	4,00	4,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	
B. Portovia, Fte. Los Baños (Or)	187-6-1c	8,8	202	46	<1	4	1	17	26	63	8	<0,5	<0,05	0,24	38	137	4,00	13,0	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)	

En efecto, en respuesta a dicho mecanismo de meteorización química del agua, se forman dichos minerales secundarios a lo largo de las fracturas de las rocas metamórficas e ígneas.

- Los procesos de intercambio catiónico entre el agua y los minerales de la arcilla se traducen en la incorporación del calcio –o magnesio– a la estructura de la arcilla y la liberación del sodio a la solución. En condiciones naturales, estos procesos son muy comunes y suelen darse simultáneamente con la hidrólisis de los silicatos.
- La disolución de halita (NaCl), de elevada solubilidad, significa la aparición de iones sodio, además de cloruros en la solución, en proporciones 1:1 molar.

Sólo en condiciones evaporíticas, estos iones precipitarán de nuevo como cloruro sódico o halita.

La facies mixta bicarbonatada clorurada sódica, sulfurada, con fluoruro y boro, termal, pH básicos, mineralización fuerte (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$), es un estado intermedio de evolución de las aguas de circulación profunda a través de las fracturas de las rocas graníticas, que no ha alcanzado la saturación química y el equilibrio termodinámico en bicarbonatos, y cuya mineralización es el resultado de la mezcla de aguas de diferentes profundidades (Cuadro 10). Este tipo de aguas sólo se ha identificado en las muestras de agua del balneario de Cuntis (152-4-1a, 152-4-1b y 152-4-1-c).

TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F	S ²⁻	FACIES HQ	OBSERVACIONES
B. Cuntis, pozo huerta (Po)	152-4-1a	8,9	440	104	3	2	1	57	48	76	22	<0,5	<0,05	0,45	95	887	21,00	37,0	(S)HCO ₃ Cl (F)-Na (B)	Aguas termal, básicas, con mineralización fuerte, bicarbonatadas cloruradas sódicas, sulfuradas y fluoruradas; son un estado intermedio de evolución de las aguas de circulación profunda a través de las fracturas de las rocas graníticas, que no ha alcanzado la saturación química y equilibrio termodinámico en bicarbonatos.
B. Cuntis manantial Hera Nueva (Po)	152-4-1b	8,7	456	104	3	2	1	57	45	45	94	<0,5	<0,05	0,35	89	848	20,00	26,0	(S)HCO ₃ Cl (F)-Na (B)	
B. Cuntis manantial Calle Real (Po)	152-4-1c	8,7	443	106	3	2	1	59	45	61	31	<0,5	<0,05	0,50	95	979	22,00	36,0	(S)HCO ₃ Cl (F)-Na (B)	

Las facies cloruradas sódicas o salinas (Cuadros 11) se caracterizan por conductividades eléctricas superiores a 1000 $\mu\text{g}/\text{l}$, $\text{pH} \approx 7$, temperaturas entre 20-40° C; cuya procedencia y grado de mineralización o salinización dependen de diferentes factores y procesos geoquímicos:

- Un tiempo de residencia largo implicará mayor interacción con la roca, velocidad de flujo más lenta, y, en consecuencia, mayor mineralización del agua, cuya edad es tan antigua que pueden denominarse *paleoaguas*. Tal es el caso de las aguas subterráneas profundas de los macizos cristalinos continentales que contienen concentraciones elevadas en cloruros. Los iones Ca y Na son los cationes dominantes en estas aguas profundas.

Estas aguas salobres y salinas se mueven lentamente debido a su elevada densidad (su tiempo de permanencia en el subsuelo se cifra en miles de años) y acaban resurgiendo en sentido vertical ascendente a través de conductos privilegiados y, en su tramo final de descarga, pueden mezclarse con otras aguas de flujos menos profundos y variar su contenido mineralógico y, por

tanto, cambiar su composición química de facies clorurada sódica o sódico-cálcica a bicarbonatadas-cloruradas sódicas (Cuadro 10).

- La presencia en el subsuelo –o en el seno de las fracturas– de minerales evaporíticos tales como halita, yeso y otras sales aumentan la salinización del agua subterránea que circula a su través y le confieren el carácter clorurado sódico.
- Un mayor porcentaje de mezcla con agua salobre o salina, como el agua del mar, dará lugar a aguas con una fuerte mineralización, mientras que la mezcla con aguas someras o superficiales, provocará la dilución del contenido en sales, y, por tanto, disminuirá la mineralización del agua resultante.
- Regímenes fuertes de explotación del agua subterránea puede provocar efectos de intrusión de agua del mar en zonas costeras, con la consecuente salinización del agua.
- Si se produjese una actividad agrícola intensiva, los retornos de riego podrían provocar un aumento en la conductividad del agua, como consecuencia de la aplicación de fertilizantes en la misma. Si embargo, este mecanismo no parece tener lugar en las aguas minerales de Galicia, por lo que se descarta como posible fuente de su mineralización y composición química.

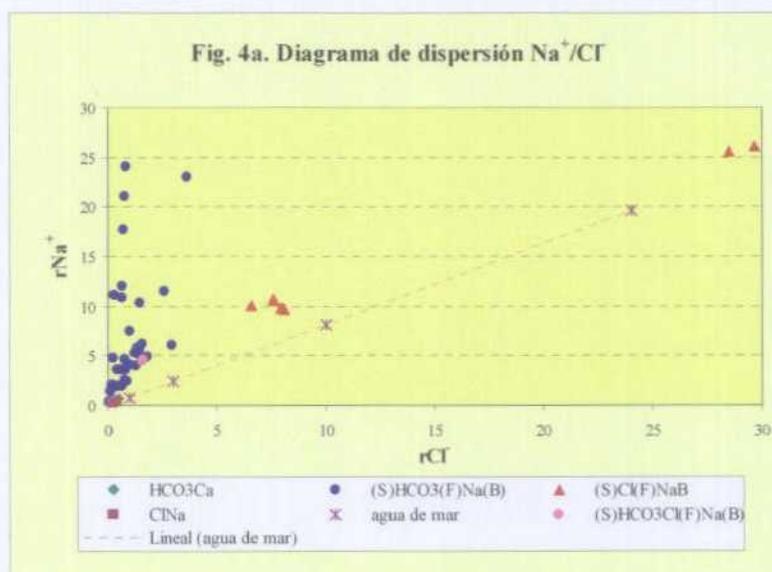
TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (µS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂	NO ₃	NH ₄ ⁺	SiO ₂	B	F	S ²⁻	FACIES BQ	OBSERVACIONES
				mg/l											µg/l	mg/l				
C. de Tuy, m. Maricruz (Po)	261-8-1a	8,4	1019	226	10	11	1	281	37	98	5	<0,5	<0,05	0,71	99	538	14,00	26,0	SClF-Na (B)	<i>Estas aguas descargan a favor de fracturas y diaclasas subverticales en el granito que favorecen la meteorización química de la roca, la circulación profunda y un tiempo largo de residencia del agua, que, además de una mineralización elevada y pH básicos, determinan su termalismo. La aparición de fluor es debida a la disolución de fluorita o fluorapatito; los oligoelementos como litio y boro proceden de la hidrólisis de las biotitas. Es posible que la elevada salinidad de estas aguas respondan a mezcla con agua del mar.</i>
B. C. de Tuy, s. S. Antonio (Po)	261-8-1b	8,3	1013	224	10	10	1	286	36	99	4	<0,5	<0,05	0,75	99	559	14,00	11,0	SClF-Na (B)	
B. Caldeas de Tuy, S. Francisco (Po)	261-8-1c	8,3	1024	226	10	11	4	285	38	108	4	<0,5	<0,05	0,76	102	493	14,00	12,0	SClF-Na (B)	
B. La Toja P. Patiño Caliente (Po)	185-1-1a	6,7	56693	11100	1200	1200	134	19200	572	209	0	<0,5	<0,05	ND	88	5262	4,00	9,0	SClF)-Na (B)	
B. La Toja P. Patiño Frio (Po)	185-1-1b	6,6	52853	10500	1150	1190	113	18300	668	256	0	2,0	3,00	ND	84	5478	4,00	10,0	SClF)-Na (B)	
B. La Toja P. Paseo del Mar (Po)	185-1-1c	6,6	55053	10250	1200	1193	128	18600	764	239	0	<0,5	<0,05	ND	89	5806	3,00	9,0	SClF)-Na (B)	
B. La Toja Pozo Capilla (Po)	185-1-1d	6,6	54573	10250	1200	1184	126	18400	672	263	0	1,0	<0,05	ND	88	5804	3,00	11,0	SClF)-Na (B)	
B. La Toja Sotano Frio (Po)	185-1-1e	6,5	49973	10200	1200	1180	126	17900	728	268	0	4,0	1,10	ND	85	5650	3,00	NA	(S)ClF)-Na (B)	
B. La Toja Sotano Caliente (Po)	185-1-1f	6,9	53053	10200	1250	1194	128	18000	732	202	0	3,0	0,23	ND	85	5686	3,00	NA	(S)ClF)-Na (B)	
B. Acuña, Fic. Ojos (Po)	152-3-1a	8,0	1027	243	7	5	1	269	19	152	0	3,0	<0,05	<0,05	53	408	21,00	3,0	(S)ClF)-Na (B)	
B. Acuña (Po)	152-3-1b	8,2	939	232	6	4	1	233	25	174	1,2	<0,5	<0,05	0,54	60	469	25,00	7,0	(S)ClF)-Na (B)	
B. Dávila (Po)	152-3-2	8,2	1014	247	7	4	1	268	17	164	1,2	1,0	<0,05	0,48	58	399	17,00	5,0	(S)ClF)-Na (B)	
B. Arteixo 1 (La Coruña)	45-1-1a	7,8	3503	590	30	43	2	1010	29	106	0	3,0	<0,05	<0,05	64	1199	8,00	4,0	(S)ClF)-Na (B)	
B. Arteixo 2 (La Coruña)	45-1-1b	7,7	3563	601	30	74	1	1050	29	112	0	3,0	<0,05	0,20	65	1207	9,00	4,0	(S)ClF)-Na (B)	

4.3. RELACIONES IÓNICAS Y DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN DE DATOS

Con el objeto de comprobar las interpretaciones expuestas acerca de la procedencia y los mecanismos hidrogeoquímicos que afectan a las aguas minerales estudiadas, se han calculado y representado diferentes relaciones iónicas y diagramas de dispersión de datos, que permiten una mejor comprensión de las reacciones físico-químicas de equilibrio agua-roca que experimentan las aguas subterráneas durante la evolución a lo largo de su trayectoria de flujo, desde la infiltración hasta la surgencia.

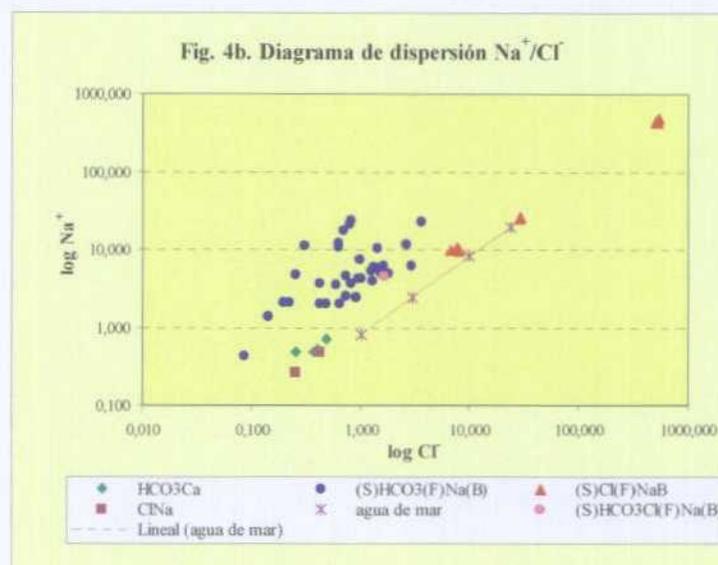
Para tratar de identificar el origen del quimismo de estas aguas, se ha tomado como referencia la composición química del agua del mar; se inicia la interpretación de los datos con el cálculo y representación de la relación sodio frente a cloruros.

La relación molar Na/Cl igual a 1 indica un origen común en halita. El valor de la relación rNa/rCl –donde “r” son los meq/l– típica para el agua del mar es aproximadamente de 0,82. En el agua subterránea suele tener un valor superior a 1, que señala una segunda fuente de sodio, que puede estar en la hidrólisis de las plagioclasas o en el intercambio catiónico. En las figs. 4a y 4b se han representado los diagramas de dispersión Na^+/Cl^- , de los que se deducen las siguientes consideraciones:



- Parece claro que las aguas someras cloruradas sódicas de San Xínés (152-2-1) y Agua Sana (261-6-1) tienen origen en un agua de precipitación muy influida por la cercanía del mar, puesto que su tendencia coincide con la teórica.
- Por el contrario, las aguas bicarbonatadas presentan una rNa/rCl bastante superior a 1, tanto más cuanto mayor es su contenido en sodio, dato indicativo

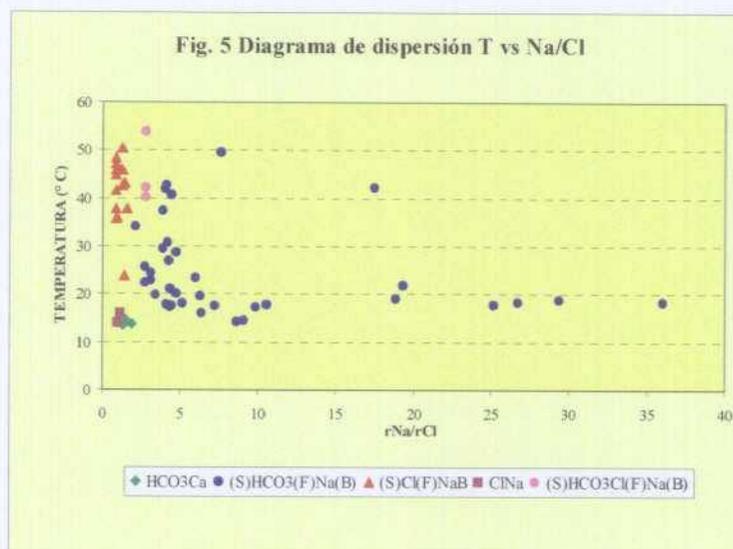
de que en su génesis predominan los procesos de hidrólisis de los aluminosilicatos o de intercambio catiónico, que justifican la diferencia en el balance de masas.



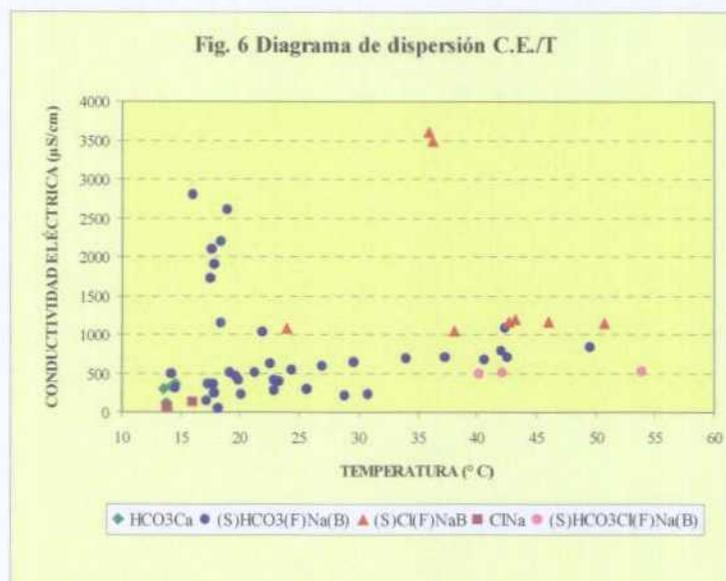
- Las aguas cloruradas sódicas salobres, tienen valores de $r\text{Na}/r\text{Cl}$ próximos a los del agua de mar, dato que, en principio, indicaría que tienen su origen en ésta. Tal parece ser el caso de las muestras de agua de los balnearios de La Toja y de Arteixo, cuya posición en el diagrama refleja una evolución coincidente con la línea de tendencia del agua del mar; de ser así, las sales de dicha agua subterránea no tendrían su origen en aguas propias del macizo cristalino, aunque su termalismo indica flujo profundo y también contribuye a una mayor concentración de sales por el aumento que produce en la solubilidad de la roca. Lo más probable es que estas aguas subterráneas tengan un elevado porcentaje de mezcla con agua del mar que se incorporarían al flujo en el tramo final de la descarga, en buena medida inducidos, especialmente en el caso de La Toja, por un intenso régimen de bombeo del agua subterránea.

Si se representa la tendencia entre la temperatura del agua y la relación sodio/cloruros (Fig. 5), se observa que las aguas termales, de facies sulfuradas cloruradas fluoruradas sódicas y con boro, presentan valores de $r\text{Na}/r\text{Cl}$ muy bajos, por tener concentraciones en cloruros muy altas. Las aguas mixtas, bicarbonatadas cloruradas sódicas, de temperaturas elevadas, igualmente tienen una $r\text{Na}/r\text{Cl}$ baja. Por el contrario las muestras de agua bicarbonatadas sódicas de temperaturas frías se asocian con valor de $r\text{Na}/r\text{Cl}$ más elevados en relación con sus contenidos en sodio más altos, cuyo origen está en la hidrólisis de los aluminosilicatos y los procesos de intercambio catiónico; tanto mayor es su temperatura, cuanto menor es la relación

rNa/rCl. Las aguas cloruradas sódicas, poco salinas y frías, al igual que las aguas bicarbonatadas sódicas, presentan una relación rNa/rCl muy baja, en consonancia con sus contenidos en sodio.



Para comprobar la influencia de la temperatura en la salinidad de las aguas se ha representado la relación rNa/rCl frente a la conductividad eléctrica (fig. 6), sin incluir a las muestras de agua del balneario de la Toja porque sobrepasan la escala y no parece necesario proceder a su representación gráfica ya que resulta evidente la relación entre su elevada mineralización (>50 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y su termalismo (40° C), y, seguramente presentan la misma tendencia que presentan las aguas del balneario de Arteixo. Dicha relación es lógica, porque a mayor temperatura e interacción con la roca, mayor será su disolución e hidrólisis y, por tanto, el agua estará más mineralizada; de hecho, parece haber una tendencia general a un aumento en la mineralización del agua conforme se incrementa la temperatura, según se observa en la fig. 6.



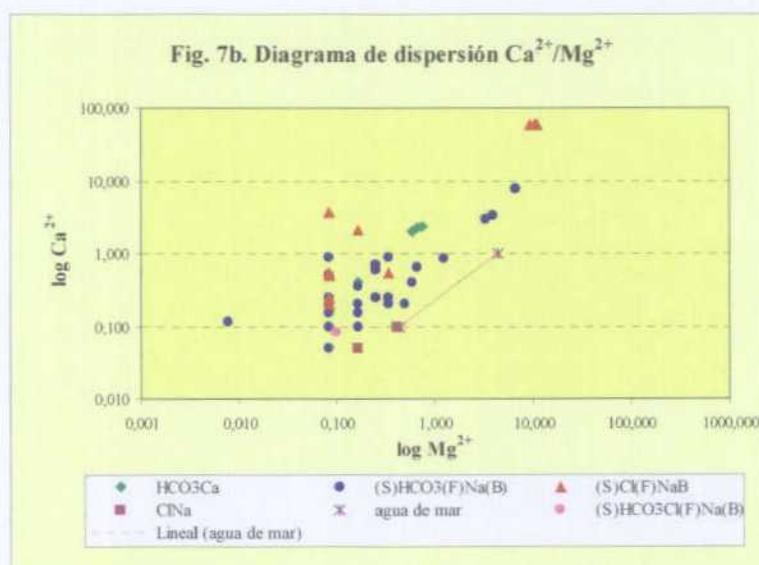
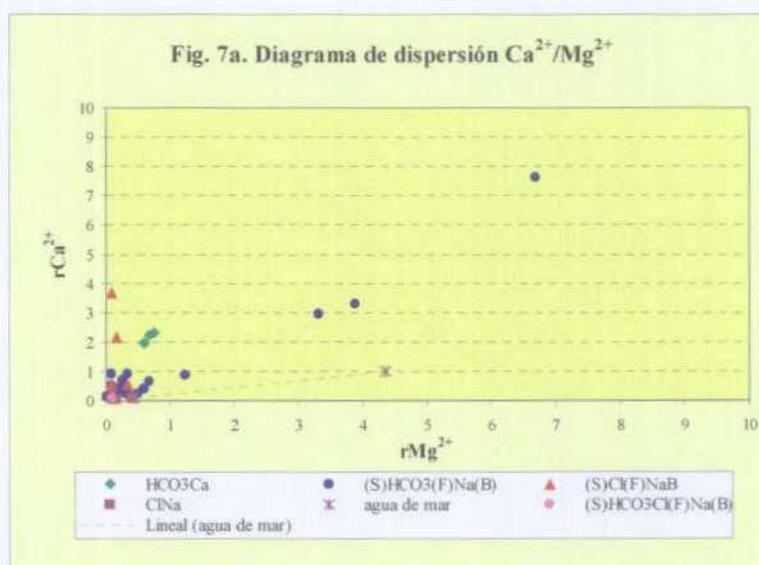
Ahora bien, también existen muestras de agua frías fuertemente mineralizadas, e incluso salobres ($>10\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$), que deban su mineralización a flujos muy penetrantes (con elevados periodos de permanencia del agua en el subsuelo y elevada temperatura en el tramo profundo de su trayectoria) que propician una fuerte interacción con los minerales presentes en las fracturas de la roca –cuarzo, hematitas, clorita, calcita, esmectitas–, como es el caso de un pequeño grupo de muestras bicarbonatadas sódicas (Cabreiroá: 303-2-1b; Fontenova: 303-2-2a; Sosas: 303-2-3a, y Mondariz: 224-5-3a y 224-5-3c), que tiene una mineralización muy elevada, incluso superior al de aguas cloruradas sódicas termales, y que son aguas termales, en origen, que se han enfriado en el trayecto de descarga. Estas aguas bicarbonatadas sódicas y frías descargan en un granito de dos micas, que se dispone a lo largo de bandas en dirección NNO-SSE, ligado a metamorfismo por anatexia y que se encuentra muy fracturado, de manera que propicia la meteorización química e interacción del agua con la roca, y, por tanto, su elevada mineralización.

El valor medio de la relación $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ para el agua de mar –0,25– es muy pequeño en comparación con el valor 2,4 característico de las aguas minerales en estudio (figs. 7a y 7b), tanto en aguas bicarbonatadas como cloruradas, con la excepción de las muestras de agua cloruradas sódica (San Xínés y Agua Sana), cuya relación $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ es 0,24 y 0,30, respectivamente, los que implica una relación inversa $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ idéntica a la del agua del mar en el caso de San Xínés (0,4) y muy semejante para Agua Sana (0,3), confirmando su procedencia directa de la evaporación del agua marina.

En la mayor parte de las muestras de agua estudiadas, dicha relación es superior a 1, en especial en todas las aguas sulfuradas cloruradas fluoruradas sódicas (2,4-44,8), así como en las aguas sulfuradas bicarbonatadas fluoruradas sódicas (2,0-

14,8) de los balnearios de Guitiriz, Arnoia, Laias, Molgas, Lugo y Partovia y Agua de Fontecelta. Lógicamente, las aguas bicarbonatadas cálcicas –o cálcico sódicas– tomadas en Fontoira y Fontxesta presentan una relación rCa/rMg alta (2,4-4,4). Por tanto, en este conjunto de muestras de agua, la concentración en magnesio respecto al calcio puede considerarse poco significativa. Su origen parece estar en la disolución de la calcita o en la hidrólisis de las plagioclasas.

Sólo un pequeño grupo de muestras bicarbonatadas sódicas entre las que destacan las aguas de Cabreiroa y Mondariz, presentan una tendencia 1:1 molar en estos cationes, poniendo de manifiesto un posible origen en la disolución de dolomita, o en el intercambio Ca/Mg.

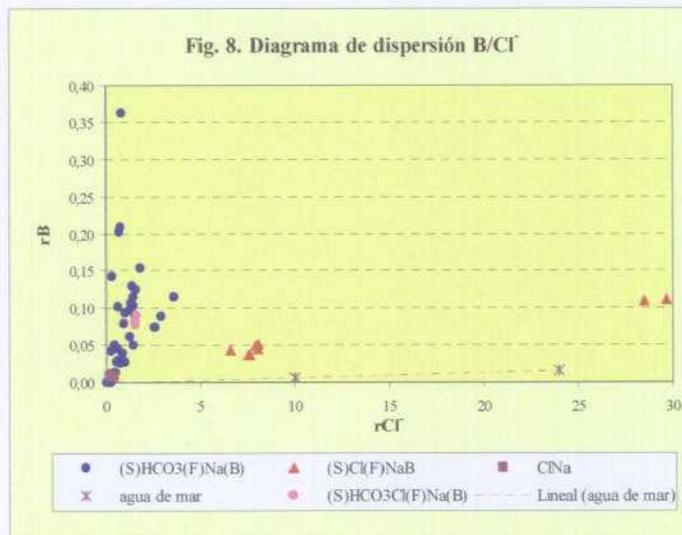


En principio, se podría considerar que el origen de las aguas salobres de los balnearios de Arteixo y las aguas salinas de La Toja está en el agua del mar; sin embargo la elevada concentración en calcio es característica de las aguas salobres de circulación profunda, o *paleoaguas*, de los macizos cristalinos, deben su composición tanto a la disolución de sales, como a la hidrólisis de aluminosilicatos, que se incrementa cuánto mayor sea la interacción con la roca, y, más lenta sea la velocidad del flujo, por tanto, mayor el tiempo y espacio de residencia; luego, flujos profundos, con períodos de residencia largos en la roca causan aguas salobres, con contenidos altos en calcio, sodio y cloruros.

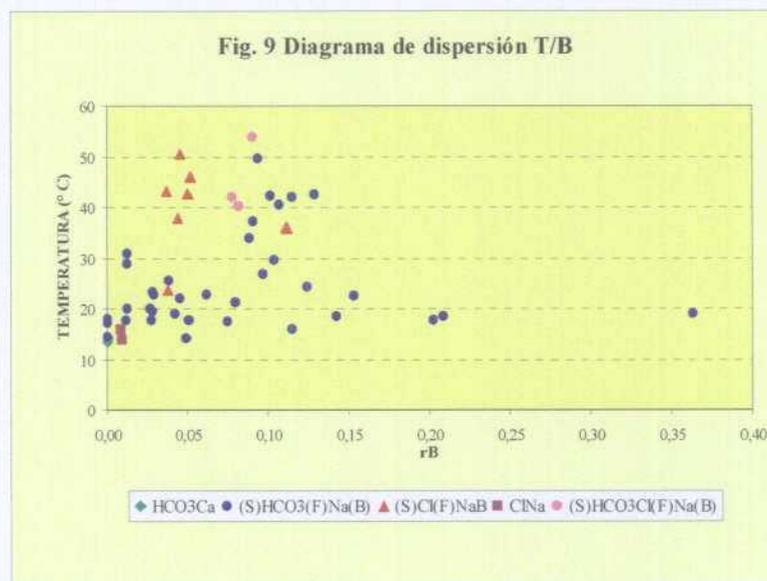
En consecuencia, parece haber una relación directa entre la componente vertical del flujo y el valor de rCa/rMg . Por el contrario, valores próximos o inferiores a 0,25 señalarían mezcla con agua de mar, y que los procesos de intrusión son dominantes. Y, sin embargo, no parece ser el mecanismo dominante en las aguas de estos balnearios, sino en su lenta circulación a través del sistema de fracturas de la roca, el incremento de la temperatura y la disolución de sales e hidrólisis de los minerales de la roca, contribuyendo así a incrementar la mineralización de estas aguas. Estos resultados parecen indicar que estas muestras de agua sean el resultado de la mezcla de agua de mar –que aportan cloruros, sodio y boro– con agua de circulación profunda –además de cloruros, sodio y boro, sulfatos, fluoruros, sílice, los minoritarios: aluminio, bario, antimonio y vanadio–.

El origen natural del boro suele estar asociado a: (a) agua del mar, cuyo contenido en boro es aproximadamente 4,6 mg/l; (b) aguas salobres de los macizos graníticos, que se caracterizan por la presencia en ellas de otros elementos traza como Ba, Br, Cs, F, I, Li, Sr y Rb, que se hallan estrechamente relacionados con cloruros, o (c) a aguas geotermales, como sucede en las aguas salinas del balneario de La Toja, en las el contenido en boro supera 5 mg/l, por efecto de la temperatura que incrementa su solubilidad en agua. También puede tener un origen antrópico como resultado de la utilización de limpiadores con boratos (borax) en su composición.

La relación entre los contenidos en boro y cloruros (Fig. 8) permite distinguir estos procesos con más claridad: se observa que ninguna muestra de agua coincide con la línea de tendencia del agua del mar; ahora bien, las muestras cloruradas sódicas salobres o salinas presentan una tendencia paralela a ésta, que parecen señalar mezcla con aguas del macizo cristalino; las muestras bicarbonatadas sódicas que presentan una pendiente rB/rCl muy acusada, ponen de manifiesto la influencia termal en la aparición de boro en disolución.



Para comprobar en qué medida el termalismo del agua, consecuencia de trayectorias muy penetrantes, tiene una relación directa con la aparición de boro en estas aguas minerales, se ha procedido a su representación gráfica en un diagrama de dispersión temperatura frente a concentración de boro (Fig. 9).



En general, no se observa una tendencia clara, si bien parece haber un pequeño grupo de muestras bicarbonatadas sódicas en las que la presencia de boro tiene una influencia termal; sin embargo, en otras de igual facies –manantiales de Fontenova, Cabreiróa y Sousas–, el contenido en boro ha de tener otra fuente, que, a juzgar por su elevada conductividad (>1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y elevados contenidos en fluoruros, posiblemente proceda de la hidrólisis de biotita, que contiene dicho elemento en su estructura.

La procedencia de los sulfuros parece deberse a la reducción de los sulfatos, cuyo origen puede estar en la oxidación de la pirita existente en rocas metamórficas, y, en menor medida, en graníticas; o en la disolución de yesos –o anhidrita– presente en los sedimentos terciarios y cuaternarios, e incluso en las fracturas de las rocas cristalinas.

Los fluoruros posiblemente sean el resultado de la disolución de fluorita y/o fluorapatito, favorecida por la baja concentración en calcio (1-14 mg/l) de estas aguas minerales que inhiben el efecto del ion común, con la excepción del agua del balneario de Mondariz –224-5-3a a 224-5-3c– que presentan concentraciones relativamente altas en calcio (29-152 mg/l) y los valores más bajos en fluoruros (2 mg/l). Ahora bien, pueden tener una fuente antrópica en aguas residuales o de actividades industriales, que no parece ser el caso de las aguas estudiadas.

El amonio en disolución procede de las explotaciones ganaderas localizadas en las proximidades –o aguas arriba– de las captaciones estudiadas.

El hierro y el manganeso posiblemente sean de origen natural, ya que sus óxidos son muy abundantes en la corteza terrestre, y, en condiciones reductoras se hallan disueltos.

Así mismo, el arsénico parece tener un origen natural en la desorción de los óxidos e hidróxidos de hierro, manganeso y aluminio sobre los que inicialmente estaba retenido: bajo unas condiciones reductoras, dichos óxidos están en disolución, y, en consecuencia, el arsénico queda liberado y disuelto en el agua subterránea.

4.4. INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

A grandes rasgos, se ha observado que las *aguas minerales* de Galicia pueden presentar algún tipo de contaminación ya sea de origen antrópico –especies del nitrógeno– como natural –elevadas concentraciones de boro, fluoruro, sulfuros, hierro, manganeso, arsénico, aluminio y/o níquel–. En un buen número de muestras, la presencia de contaminación de uno u otro tipo coincide con valores de oxidabilidad altos (>5 mg/l de O₂) y con presencia de coloración (>15 mg/l Pt/Co) y turbidez (>5 UNF) .

Las muestras correspondientes a aguas de flujos someros, por tanto poco evolucionadas, no presentan ninguna señal de contaminación en su calidad química, ya sea antrópica o natural (Cuadro 12): son los casos de Aguas de San Xinés, Fontoira y Fontecelta.

CUADRO 12. AGUAS MINERALES DE GALICIA DE FACIES CLORURADA SÓDICA Y BICARBONATADAS CÁLCICAS:
FLUJOS SOMEROS, AGUAS POCO EVOLUCIONADAS. SIN SEÑALES DE CONTAMINACIÓN QUÍMICA.

TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (µS/cm)	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	B µg/l	F mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	S ²⁻ mg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	As µg/l	Al µg/l	Ni µg/l	oxidabilidad al MnO ₂ /K mg/l	color mg/l Pt/Cu	turbidez UNF	FACIES HQ
San Xines (Po)	152-2-1	5,9	115	14,0	<0,05	<0,05	11	15	93	<0,5	6	1,4	<20	15	<5	61,0	<10	0,6	<5	<1	ClNa
Agua Sana M-1 (Po)	261-6-1	6,7	42	2,0	<0,05	<0,05	6	9	100	<0,5	3	1,4	<20	<10	<5	51,1	<10	0,5	<5	<1	ClNa
Fonteira-1 (La)	47-8-1a	7,2	322	24,0	<0,05	<0,05	16	17	<50	0,14	5	1,4	<20	41	<5	<25	3,1	0,6	<5	<1	HCO ₃ Ca
Fonteira-2 (La)	47-8-1b	7,3	290	20,0	<0,05	<0,05	12	14	<50	0,12	5	1,4	<20	<10	<5	<25	<2	0,5	<5	<1	HCO ₃ Ca
Agua de Fonteira (La)	47-8-1c	7,4	238	9,0	<0,05	<0,05	11	13	<50	0,15	4	2,2	<20	<10	<5	<25	<2	0,6	<5	<1	HCO ₃ Ca
Agua de Fonteyra (La)	98-2-1	6,7	85	4,0	<0,05	<0,05	11	9	<50	0,15	3	1,0	<20	38	<5	<25	<2	0,6	<5	<1	HCO ₃ CaNa

4.4.1. Contaminación por fuentes antropicas

Las *aguas minerales* de Galicia, en general, presentan ausencia de contaminación antrópica en su composición química; sin embargo, en ciertos casos (Cuadro 13) se han identificado amonio –en un 31% de las muestras analizadas–, y, puntualmente, nitritos –en un 7% de las muestras– en concentraciones que superan 0,5 mg/l, indicativas de alteración de la composición química natural de estas aguas.

CUADRO 13. SIGNOS DE CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS MINERALES: CONCENTRACIONES EN AMONIO O NITRITOS MAYORES QUE 0,50 mg/l																					
TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (µS/cm)	NO ₃	NO ₂	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Cl	B	F	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	Fe	Mn	As	Al	Ni	oxidabilidad al MnO ₄ K	color	turbidez	FACIES HQ
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	
B. Velloso Carballo, fuente (C)	44-6-1a	8,7	619	<0,5	<0,05	1,20	141	104	956	25,00	46	29,0	<20	<10	<5	76,0	<2	21,9	5,00	<1	(SiHCO ₃)(F)-Na (B)
B. Velloso Carballo, manantial (C)	44-6-1b	9,1	627	<0,5	<0,05	1,22	144	57	983	25,00	75	36,0	<20	<10	<5	39,0	2,1	1,0	<5	<1	(SiHCO ₃)(F)-Na (B)
B. Brea, poza patio (Po)	121-4-1	7,3	486	5,0	0,96	0,14	85	4	571	9,00	45	ND	500	159	11,0	55,9	9,3	1,4	<5	35	SO ₄ (F)-Na(B)
B. Brea, fuente terrenal (Po)	121-4-2a	8,0	579	<0,5	<0,05	2,00	112	64	1659	23,00	31	28,0	36	25	<5	31,0	8,4	5,1	<5	1	(SiHCO ₃)(F)-Na(B)
Baños Brea, sondes n° 5 (Po)	121-4-2b	8,0	573	<0,5	<0,05	2,00	112	55	1341	24,00	31	44,0	<20	32	<5	7,1	4,6	5,7	<5	1	(SiHCO ₃)(F)-Na(B)
B. Acuña (Po)	152-3-1b	8,2	939	<0,5	<0,05	0,54	232	233	469	25,00	25	7,0	<20	<10	<5	127,0	<2	0,7	<5	<1	(SiCl)(F)-Na (B)
B. Dávila (Po)	152-3-2	8,2	1014	1,0	<0,05	0,48	247	268	399	17,00	17	5,0	<20	<10	<5	48,4	<2	0,7	<5	<1	(SiCl)(F)-Na (B)
B. Cuntis, poza huerta (Po)	152-4-1a	8,9	440	<0,5	<0,05	0,45	104	57	887	21,00	48	37,0	<20	<10	<5	12,2	3,6	0,7	<5	<1	(SiHCO ₃ Cl)(F)-Na (B)
B. Cuntis m. Calle Real (Po)	152-4-1c	8,7	443	<0,5	<0,05	0,50	106	59	979	22,00	45	36,0	25	<10	<5	92,1	<2	5,2	5,00	<1	(SiHCO ₃ Cl)(F)-Na (B)
B. La Toja Huerta Fria (Po)	185-1-1b	6,6	52853	2,0	3,00	ND	10500	18300	5478	4,00	668	10,0	ND	ND	ND	578,0	965,0	23,1	<5	67	SiCl(F)-Na (B)
B. La Toja Fábrica (Po)	185-1-1c	6,5	49973	4,0	1,10	ND	10200	17900	5650	3,00	728	NA	ND	ND	ND	565,0	1337,0	21,9	<5	80	(SiCl)(F)-Na (B)
C. de Tuy, m. Maricón (Po)	261-8-1a	8,4	1019	<0,5	<0,05	0,71	226	281	538	14,00	37	26,0	20	10	<5	12,3	14,6	1,2	<5	<1	SiCl(F)-Na (B)
B. C. de Tuy, s. S. Antonio (Po)	261-8-1b	8,3	1013	<0,5	<0,05	0,75	224	286	559	14,00	36	11,0	<20	11	<5	4,0	8,1	1,1	<5	<1	SiCl(F)-Na (B)
B. Celdas de Tuy, S. Francisco (Po)	261-8-1c	8,3	1024	<0,5	<0,05	0,76	226	285	493	14,00	38	12,0	<20	12	<5	13,3	11,4	0,9	<5	<1	SiCl(F)-Na (B)
B. O Carbañino (Or)	187-2-1	9,0	267	<0,5	<0,05	0,98	56	32	412	10,00	24	20,0	<20	<20	19,80	8,1	<1	8,7±0,52	<5	<1	(SiHCO ₃)(F)-Na(B)
B. Arnoia, poza 1-B (Or)	225-1-1b	8,7	370	<0,5	<0,05	1,13	91	45	671	24,00	35	28,0	<20	<20	14,6	18,1	<1	5,9±0,52	<5	<1	(SiHCO ₃)(F)-Na (B)
B. Lais, n° 38 (Or)	225-2-1	8,0	742	<0,5	<0,05	0,82	172	35	1011	16,00	28	11,0	<20	38	8,1	18,1	1,4	1,4±0,13	7,00	<1	(SiHCO ₃)(F)-Na (B)
B. Molgas, Fte. Caliente (Or)	226-7-1a	7,8	971	<0,5	<0,05	0,85	250	22	1096	14,00	7	2,2	96	18	10,0	11,9	27,2	0,6	<5	<1	(SiHCO ₃)-Na (B)
B. Molgas, Fte. La Charca (Or)	226-7-1b	7,9	331	6,0	1,70	<0,05	82	21	303	3,00	7	2,2	158	14	11,0	199,0	5,7	2,0	10,00	<1	(SiHCO ₃)-Na (B)
Cabreiroá, n° 2. (OR)	303-2-1b	6,5	2275	<0,5	<0,05	1,10	485	28	2252	5,22	10	1,8	1390	42	68,0	78	<20	0,7	20,00	12,40	(SiHCO ₃)(F)-Na (B)
Fontenova, manantial (Or)	303-2-2a	6,7	2805	<0,5	<0,05	3,40	552	29	3927	18,00	11	1,8	890	31	27,0	72	<20	0,6	48,06	4,16	(SiHCO ₃)(F)-Na(B)
Sousas manantial 1 (OR)	303-2-3a	6,8	1745	1,0	<0,05	2,20	408	25	2189	9,35	8	1,8	900	62	42,0	<25	<10	0,6	7,85	<1	(SiHCO ₃)(F)-Na(B)
Sousas manantial 2. (OR)	303-2-3b	7,1	1018	<0,5	<0,05	2,40	257	11	1534	10,90	4	1,4	1020	308	214,0	<25	<10	<0,5	<5	<1	(SiHCO ₃)(F)-Na(B)

No obstante, si se contabiliza el número de aprovechamientos afectados, se observa que el 54% de los mismos presenta contaminación en una u otra especie del nitrógeno. Se trata de las aguas captadas en los Baños o Balnearios de Velloso de Carballo, Brea, Acuña, Dávila, Cuntis, La Toja, Celdas de Tuy, O Carbañino, Arnoia, Lais y Molías, así como del agua procedente de las plantas envasadoras de Cabreiroá, Fontenova y Sousas –ésta última también se aprovecha como balneario–.

La fuente de tal contaminación de origen antrópico parece estar en los residuos orgánicos de las explotaciones ganaderas, cuyas reses pastan en las proximidades de

los aprovechamientos –o aguas arriba de los mismos–, que se incorporan al flujo subterráneo captado en los aprovechamientos indicados. Las condiciones reductoras del medio favorecen la aparición de amonio, reacción catalizada por la bacteria nitrato-reductasa, en la que el ion nitrato actúa como aceptador de electrones en la consiguiente oxidación de la materia orgánica, tal como ponen de manifiesto los altos valores de oxidabilidad cuantificados en estas muestras de agua. La procedencia del amonio puede ser también el resultado de la desaminación de aminoácidos.

Por otro lado, por acción catalizada por bacterias nitrosomas se puede producir la oxidación de ion amonio a nitrito, aunque no llega a completarse la oxidación a nitratos. Tampoco se puede descartar una fuente agrícola de estas especies del nitrógeno en fertilizantes tales como el nitrato amónico, amonio, urea, o tiosulfato amónico: tal podría ser el caso de la muestra tomada en el pozo del balneario de Brea – 121-4-1– de composición sulfatada sódica y, además, con una turbidez muy elevada (> 5 UNF).

4.4.2. Contaminación por fuentes naturales

Con respecto a la contaminación del agua de origen natural cabe señalar los contenidos significativos de boro (>1,0 mg/l) y fluoruros (>1,5 mg/l) en la práctica totalidad de las muestras, incluidas aquellas afectadas por la presencia de amonio o nitritos (cuadro 13 y 14). Las concentraciones en boro y fluoruros son tanto más elevadas cuanto más evolucionadas sean las aguas –en relación directa con flujos más penetrantes: contacto agua-roca más prolongado y a mayor temperatura–, en las que, incluso, se llegan a alcanzar concentraciones de boro mayores de 5 mg/l, como es el caso del Balneario de La Toja (185-1-1), y de 3 a 25 mg/l en fluoruros.

La hipótesis de una fuente natural en estos elementos está en consonancia con los elevados contenidos en sodio y cloruros indicativos de la salinización –o mineralización– de estas aguas como resultado de su interacción con la roca a lo largo de su trayectoria profunda. La fuente del boro puede estar en mezcla con agua de mar –el boro es un componente residual del agua del mar– y/o en la hidrólisis de la biotita que libera boro al medio acuoso. Por otra parte, la disolución de fluorita es la responsable más probable de la existencia de fluoruros en disolución.

Los sulfuros, en principio, parecen proceder de la reducción de los sulfatos, que, a su vez, deben de tener su origen en las piritas que forman parte de la composición de la roca. De hecho, la práctica totalidad de las muestras se hallan en condiciones reductoras y presentan sulfuros en disolución, en concentraciones comprendidas entre 1,0 y 44,0 mg/l. Sin embargo, no se puede descartar una influencia antrópica en fertilizantes como tiosulfato amónico, cuya disolución y posterior reducción da lugar a sulfuros, tal parece ser el caso de las muestras reflejadas en el cuadro 13.

CUADRO 14. SIGNOS DE CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS MINERALES: CONTENIDOS EN BORO >1,0 mg/l Y FLUORUROS >1,5 mg/l

TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (µS/cm)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	B (µg/l)	F ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	S ²⁻ (mg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)	Zn (µg/l)	Al (µg/l)	Ni (µg/l)	estabilidad al MnO ₂ K	color (mg/l Pt/Cu)	torbididad (UNF)	FACBS HQ
Bombarda 8-1 (Ba)	96-6-1a	7,5	408	<0,5	<0,05	0,23	96	34	860	14,00	10	11,0	<20	178	5,0	<25	<2	0,6	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Bombarda 8-2 (Ba)	96-6-1b	7,6	339	<0,5	<0,05	0,17	58	26	230	10,00	7	6,0	43	160	<5	<25	<2	0,5	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Lago M. Central	72-8-1a	7,9	583	<0,5	<0,05	0,24	130	52	1127	23,00	08	20,0	<20	39	<5	25,4	<2	2,4	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Lago, poza 3	72-8-1b	7,9	602	<0,5	<0,05	0,27	133	50	1394	25,00	81	27,0	<20	50	<5	22,0	<2	0,5	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Lago, poza 2	72-8-1c	7,9	608	<0,5	<0,05	0,28	133	51	1239	25,00	75	27,0	<20	41	<5	41,2	<2	1,0	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Lago, poza 4	72-8-1d		552	<0,5	<0,05	0,20	121	44	1044	21,00	66	25,0	<20	55	<5	54,5	<2	<0,5	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Lago, piscina	72-8-1e	8,0	582	<0,5	<0,05	0,22	135	47	1160	18,00	78	17,0	<20	53	<5	30,8	5,6	1,0	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Arxivo 1 (La Coruña)	45-1-1a	7,8	3503	3,0	<0,05	<0,05	590	1010	1199	8,00	29	4,0	<20	47	<5	41,6	6,4	2,5	<5	1	(S)Cl ⁻ (F)-Na(B)
B. Arxivo 2 (La Coruña)	45-1-1b	7,7	3563	3,0	<0,05	0,20	601	1050	1207	9,00	29	4,0	<20	51	<5	42,4	<4	2,2	<5	<1	(S)Cl ⁻ (F)-Na(B)
Do Tremo-B. Nora, Sra. das Anxias (C)	94-7-1	8,4	343	<0,5	<0,05	0,44	96	36	298	11,00	36	16,0	27	<10	<5	44,2	<2	0,5	5,00	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Acuña, Pto. Ojo (Po)	152-3-1a	8,0	1027	3,0	<0,05	<0,05	243	269	48	21,00	19	3,0	<20	<10	<5	50,5	<2	0,7	<5	1	(S)Cl ⁻ (F)-Na(B)
B. Caudis municipal Hera Nueva (Po)	152-4-1b	8,7	436	<0,5	<0,05	0,35	104	57	848	20,00	45	26,0	51	<10	5,0	8,8	3,5	1,1	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. La Toja Huerta Caliente (Po)	185-1-1a	6,7	56693	<0,5	<0,05	ND	11100	19200	5262	4,00	572	9,0	ND	ND	ND	915,0	967,0	23,1	<5	131	(S)Cl ⁻ (F)-Na(B)
B. La Toja P. Paseo del Mar (Po)	185-1-1c	6,6	55053	<0,5	<0,05	ND	10250	18600	5806	3,00	764	9,0	ND	ND	ND	7231,0	1148,0	21,3	<5	80	(S)Cl ⁻ (F)-Na(B)
B. La Toja Pazo Capilla (Po)	185-1-1d	6,6	54873	1,0	<0,05	ND	10250	18400	5804	3,00	672	11,0	ND	ND	ND	394,0	1097,0	20,9	<5	101	(S)Cl ⁻ (F)-Na(B)
B. La Toja Caliente lateral (Po)	185-1-1f	6,9	53053	3,0	0,25	ND	10200	18000	5686	3,00	732	NA	ND	ND	ND	5524,0	1401,0	21,9	<5	112	(S)Cl ⁻ (F)-Na(B)
B. Mondriz Salaxares (Po)	224-5-2	8,4	420	1,0	<0,05	0,06	106	26	305	8,00	11	14,0	<20	<10	<5	7,5	2,0	0,3	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Mondriz A. Mirales (Po)	224-5-5a	6,6	2354	<0,5	<0,05	<0,05	238	51	546	2,00	14	NA	16700	600	55,0	72,8	21,8	0,4	<5	350	(H)CO ₃ (F)-Na(B)
B. Mondriz F. Gandra (Po)	224-5-3b	6,5	1657	<0,5	<0,05	0,30	266	92	811	2,00	12	NA	<20	180	5,0	40,2	25,9	0,6	<5	12	(H)CO ₃ (F)-Na(B)
B. Mondriz F. Trancozo (Po)	224-5-3c	6,6	3064	<0,5	<0,05	<0,05	530	128	1241	3,00	17	NA	1640	79	16,0	182,0	52,2	0,3	<5	20	(H)CO ₃ (F)-Na(B)
B. Parvota, Pto. Interior (Or)	187-6-1a	8,8	201	<0,5	<0,05	0,18	46	15	135	4,00	28	10,0	<20	<20	44,0	18,5	<1	0,30013	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Parvota, Pto. Prado (Or)	187-6-1b	8,9	202	<0,5	<0,05	0,19	46	15	133	4,00	28	4,0	<20	<20	29,0	8,6	<1	0,40013	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Parvota, Pto. Los Baños (Or)	187-6-1c	8,8	202	<0,5	<0,05	0,24	46	17	137	4,00	26	13,0	<20	<20	27,4	27,8	<1	2,9026	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Armós, poza F-4 (Or)	225-1-1a	7,7	203	<0,5	<0,05	0,34	46	23	311	13,00	28	16,0	<20	<20	27,4	34,7	1,1	0,70013	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Botiño (Ovenc)	226-4-1	7,6	962	<0,5	<0,05	0,28	276	22	402	11,00	29	2,0	180	<20	<5	6,2	1,7	0,80013	6,00	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Cafeciroa, nº 1 (OR)	303-2-1a	7,3	270	3,0	<0,05	<0,05	47	8	<50	1,15	6	1,8	42	<10	22,0	<25	<10	0,6	11,81	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na
Fuenteira, nº 2 (Or)	303-2-2b	6,8	433	24,0	<0,05	0,35	84	15	536	1,65	8	1,4	83	<10	<5	<25	<10	0,6	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Fuenteira nº 2, sonda 2 (OR)	303-2-3d	7,3	476	2,0	<0,05	<0,05	110	9	456	2,66	3	1,8	151	129	303,0	<25	<10	0,5	<5	6,52	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Fuenteira nº 2, sonda 3 (OR)	303-2-3c	7,3	228	2,0	<0,05	<0,05	48	7	123	1,23	3	1,8	58	29	89,0	<25	<10	<0,5	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Fuenteira nº 2, sonda 4 (OR)	303-2-3f	7,2	49	1,0	<0,05	<0,05	10	3	<50	0,40	3	1,8	<20	<10	8,0	<25	<10	<0,5	<5	<1	(S)HCO ₃ -Na

En lo que se refiere a los elementos minoritarios Fe, Mn y As, su aparición conjunta en ciertas muestras de agua (cuadro 15) parecen indicar una misma procedencia geoquímica, esto es, como resultado de la disolución y/o reducción de los hidróxidos y óxidos de hierro en condiciones reductoras, que, a su vez, provocan la desorción o liberación del arsénico retenidos en los precipitados de hierro y/o manganeso. Es el caso de las muestras de agua captadas en el pozo del balneario de Brea, las aguas del balneario-planta envasadora de Mondariz –que además presentan níquel en contenidos superiores a 20 µg/l–, balneario de Molgas, y plantas envasadoras de Cabreiroá, Fontenova y Sousas, en las que también se ha detectado amonio.

CUADRO 15. SIGNOS DE CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS MINERALES: HIERRO >200 µg/l, MANGANESO >50 µg/l Y/O ARSÉNICO >10 µg/l

TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (µS/cm)	NO ₂	NO ₃	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Cl	B	F	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	Fe	Mn	As	Al	Ni	oxidabilidad al MnO ₂ K	color	turbidez	FACIES HQ
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	
B. Brea, pozo patio (Po)	121-4-1	7,3	486	5,0	0,96	0,14	85	4	571	9,00	45	ND	500	159	11,0	58,9	9,3	1,4	<5	35	SO ₄ (F)-Na(B)
B. Mondariz A. Morales (Po)	224-5-3a	6,6	2354	<0,5	<0,05	<0,05	238	51	546	2,00	14	NA	16700	690	55,0	72,8	21,8	0,4	<5	350	HCO ₃ (F)-Na (B)
B. Mondariz F. Gandara (Po)	224-5-3b	6,5	1657	<0,5	<0,05	0,30	266	92	811	2,00	12	NA	<20	180	5,0	40,2	25,9	0,6	<5	12	HCO ₃ (F)-Na (B)
B. Mondariz F. Truncoso (Po)	224-5-3c	6,6	3064	<0,5	<0,05	<0,05	530	128	1241	3,00	17	NA	1640	79	10,0	182,0	52,2	0,3	<5	20	HCO ₃ (F)-Na (B)
B. Molgas, Fte. Caliente (Or)	226-7-1a	7,8	971	<0,5	<0,05	0,85	250	22	1096	14,00	7	2,2	96	18	10,0	11,9	27,2	0,6	<5	<1	(S)HCO ₃ -Na (B)
B. Molgas, Fte. La Charva (Or)	226-7-1b	7,9	331	6,0	1,70	<0,05	82	21	303	3,00	7	2,2	158	14	11,0	199,0	5,7	2,0	10,00	<1	(S)HCO ₃ -Na (B)
Cabreiroá, nº 1 (OR)	303-2-1a	7,3	270	3,0	<0,05	<0,05	47	8	<50	1,15	6	1,8	42	<10	22,0	<25	<10	0,6	11,81	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na
Cabreiroá, nº 2 (OR)	303-2-1b	6,5	2275	<0,5	<0,05	1,10	485	28	2252	5,22	10	1,8	1390	42	68,0	78	<20	0,7	20,00	12,48	(S)HCO ₃ (F)-Na (B)
Fontenova, manantial (Or)	303-2-2a	6,7	2805	<0,5	<0,05	3,40	552	29	3927	18,00	11	1,8	890	31	27,0	72	<20	0,6	48,06	4,16	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Sousas manantial 1 (OR)	303-2-3a	6,8	1745	1,0	<0,05	2,20	408	25	2189	9,35	8	1,8	900	62	42,0	<25	<10	0,6	7,85	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Sousas manantial 2 (OR)	303-2-3b	7,1	1018	<0,5	<0,05	2,40	257	11	1534	10,90	4	1,4	1020	308	214,0	<25	<10	<0,5	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Sousas nº II, sondeo 1 (OR)	303-2-3c	6,6	138	3,0	<0,05	<0,05	32	5	<50	0,86	6	1,8	34	<10	66,0	212	<10	0,6	44,19	11,09	(S)HCO ₃ -Na
Sousas nº II, sondeo 2 (OR)	303-2-3d	7,3	476	2,0	<0,05	<0,05	110	9	456	2,66	3	1,8	151	129	303,0	<25	<10	0,5	<5	6,52	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
Sousas nº II, sondeo 3 (OR)	303-2-3e	7,3	229	2,0	<0,05	<0,05	48	7	123	1,23	3	1,8	58	29	89,0	<25	<10	<0,5	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)

En un número reducido de muestras –Agua de Fontecelta, balnearios de Lugo y Arteixo– se ha detectado sólo manganeso, pero ni hierro ni arsénico (cuadro 16) en respuesta a un menor desarrollo en las reacciones redox, esto es, a condiciones débilmente reductoras que no llegan a evolucionar a un rango tal que permita la reducción de los óxidos de hierro, y favorezca la movilización del arsénico al medio acuoso. En el extremo opuesto está el agua de Guitiriz, en la que se ha detectado una elevada concentración de Fe, pero no Mn ni As; posiblemente, debido a que su

aparición proceda de la propia instalación y no por causas naturales, es decir, de los sedimentos.

CUADRO 16. SIGNOS DE CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS MINERALES: CONCENTRACIONES EN MANGANESO >50 µg/l

TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (µS/cm)	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	B	F	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	Fe	Mn	Az	Al	Ni	oxidabilidad al MnO ₂ /K	color	turbidez	FACIES HQ
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l Pt/Cu	
Fuente 5-1 (La)	98-6-1a	7,5	469	<0,5	<0,05	0,23	96	34	860	14,00	10	11,0	<20	178	5,0	<25	<2	0,6	<5	<1	(SHCO ₃ (F)-Na (B))
Fuente 5-2 (La)	98-6-1b	7,6	359	<0,5	<0,05	0,17	58	26	286	10,00	7	6,0	43	160	<5	<25	<2	0,5	<5	<1	(SHCO ₃ (F)-Na (B))
B. Lago M. Central	72-8-1a	7,9	583	<0,5	<0,05	0,24	130	52	1127	23,00	68	20,0	<20	39	<5	25,4	<2	2,4	<5	<1	(SHCO ₃ (F)-Na (B))
B. Lago, poza 3	72-8-1b	7,9	602	<0,5	<0,05	0,27	133	50	1394	25,00	81	27,0	<20	50	<5	22,0	<2	0,5	<5	<1	(SHCO ₃ (F)-Na (B))
B. Lago, poza 2	72-8-1c	7,9	608	<0,5	<0,05	0,28	133	51	1239	25,00	75	27,0	<20	41	<5	41,2	<2	1,0	<5	<1	(SHCO ₃ (F)-Na (B))
B. Lago, poza 4	72-8-1d		552	<0,5	<0,05	0,20	121	44	1044	21,00	66	25,0	<20	55	<5	54,5	<2	<0,5	<5	<1	(SHCO ₃ (F)-Na (B))
B. Lago, piscina	72-8-1e	8,0	582	<0,5	<0,05	0,22	135	47	1160	18,00	78	17,0	<20	53	<5	30,8	5,6	1,0	<5	<1	(SHCO ₃ (F)-Na (B))
B. Arceño 1 (La Caraña)	45-1-1a	7,8	3503	3,0	<0,05	<0,05	590	1010	1199	8,00	29	4,0	<20	47	<5	41,6	6,4	2,5	<5	1	(S(C)F)-Na (B)
B. Arceño 2 (La Caraña)	45-1-1b	7,7	3563	3,0	<0,05	0,20	601	1050	1207	9,00	29	4,0	<20	51	<5	42,4	4	2,2	<5	<1	(S(C)F)-Na (B)

Por otro lado, puntualmente se ha detectado arsénico en concentraciones tóxicas (> 10 µg/l) en las muestras de agua de los balnearios de O Carbañino, Partovia y Arnoia, que, en algunos casos, incluso, están contaminadas por amonio (>0,50 mg/l) y, sin embargo, no se ha detectado ni hierro ni manganeso (cuadro 17). Este hecho parece indicar un distinto comportamiento geoquímico en estos elementos, y, probablemente, una distinta procedencia. Su origen puede estar en la desorción del arsénico que pudiera estar adsorbido sobre los minerales de la arcilla o la materia orgánica, proceso inducido por los condiciones fuertemente alcalinas del medido (pH> 8,7); no obstante, cabe la posibilidad de un origen común en la disolución de arsenopirita, que libera al medio arsénico, sulfatos –que es reducido a sulfuros– y hierro –que, bajo condiciones débilmente reductoras y fuertemente alcalinas precipita en forma de hematite y/o goetita–. En cualquier caso, se trata de procesos geoquímicos que por su complejidad requieren un estudio más en detalle para poder obtener conclusiones determinantes.

Por último, en las muestras de agua del balneario de La Toja (cuadro 18) se ha detectado Al (> 200 µg/l) y Ni (> 20 µg/l), en concentraciones indicativas de contaminación, además de una gran turbidez (80-131 UNF); estas aguas se caracterizan por su fuerte salinidad (C.E.> 50 000 µS/cm), acorde con los contenidos elevados en sodio (>10 000 mg/l), cloruros (> 18 000 mg/l), boro (>5 mg/l), fluoruros (> 3 mg/l) y sulfatos (> 500 mg/l); sin embargo, no se ha detectado amonio, hierro, manganeso, ni arsénico, cuya ausencia parece señalar condiciones oxidantes –débilmente oxidantes– en esta agua, posiblemente inducidas por la explotación de los pozos. La procedencia del níquel puede estar en los anfíboles de la roca granítica, puesto que tiende a sustituir al hierro en la estructura de los minerales

ferromagnesianos; por otro lado, la hidrólisis de aluminosilicatos primarios como la biotita, puede dar lugar a la aparición de aluminio –así como boro– en disolución.

Sin embargo, la procedencia del níquel detectado en las aguas del balneario-planta envasadora de Mondariz puede estar asociada a la reducción de los óxidos de hierro y manganeso, sobre los que tiende a coprecipitar.

CUADRO 17. SIGNOS DE CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS MINERALES: CONCENTRACIONES EN ARSÉNICO >10 µg/l

TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (µS/cm)	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	B	F	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	Fe	Mn	As	Al	Ni	oxidabilidad al MnO ₂ K	color	turbidez	FACIES HQ
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	
B. O Carbaño (Or)	187-2-1	9,0	267	<0,5	<0,05	0,98	56	32	412	10,00	24	20,0	<20	<20	19,80	8,1	<1	8,7±0,52	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Pariovia, Fte. Interior (Or)	187-6-1a	8,8	201	<0,5	<0,05	0,18	46	15	135	4,00	28	10,0	<20	<20	44,0	18,5	<1	0,3±0,13	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Pariovia, Fte. Prado (Or)	187-6-1b	8,9	202	<0,5	<0,05	0,19	46	15	133	4,00	28	4,0	<20	<20	29,0	8,6	<1	0,4±0,13	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Pariovia, Fte. Los Baños (Or)	187-6-1c	8,8	202	<0,5	<0,05	0,24	46	17	137	4,00	26	13,0	<20	<20	27,4	27,8	<1	2,9±0,26	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Arnoia , pozos P-4 (Or)	225-1-1a	7,7	263	<0,5	<0,05	0,34	46	23	311	13,00	28	16,0	<20	<20	27,4	34,7	1,1	0,7±0,13	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)
B. Arnoia, poz 1-B (Or)	225-1-1b	8,7	370	<0,5	<0,05	1,13	91	45	671	24,00	35	28,0	<20	<20	14,6	18,1	<1	5,9±0,52	<5	<1	(S)HCO ₃ (F)-Na(B)

CUADRO 18. SIGNOS DE CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS MINERALES: ALUMINIO >200 µg/l Y/O NÍQUEL >20 µg/l

TOPÓNIMO	Nº Ref.	pH	C.E. (µS/cm)	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	B	F	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	Fe	Mn	As	Al	Ni	oxidabilidad al MnO ₂ K	color	turbidez	FACIES HQ
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
B. La Toja Huerta Caliente (Po)	185-1-1a	6,7	56693	<0,5	<0,05	ND	11100	19200	5262	4,00	572	9,0	ND	ND	ND	915,0	967,0	23,1	<5	131	SCl(F)-Na (B)
B. La Toja Huerta Fria (Po)	185-1-1b	6,6	52853	2,0	3,00	ND	10500	18300	5478	4,00	668	10,0	ND	ND	ND	578,0	965,0	23,1	<5	67	SCl(F)-Na (B)
B. La Toja P. Paseo del Mar (Po)	185-1-1c	6,6	55053	<0,5	<0,05	ND	10250	18600	5806	3,00	764	9,0	ND	ND	ND	7231,0	1148,0	21,3	<5	80	SCl(F)-Na (B)
B. La Toja Pozo Capilla (Po)	185-1-1d	6,6	54573	1,0	<0,05	ND	10250	18400	5804	3,00	672	11,0	ND	ND	ND	394,0	1097,0	20,9	<5	101	SCl(F)-Na (B)
B. La Toja Fábrica (Po)	185-1-1e	6,5	49973	4,0	1,10	ND	10200	17900	5650	3,00	728	NA	ND	ND	ND	565,0	1337,0	21,9	<5	80	(S)Cl(F)-Na (B)
B. La Toja Caliente lateral (Po)	185-1-1f	6,9	53053	3,0	0,23	ND	10200	18000	5686	3,00	732	NA	ND	ND	ND	5524,0	1401,0	21,9	<5	112	(S)Cl(F)-Na (B)
B. Mondariz A. Morales (Po)	224-5-3a	6,6	2354	<0,5	<0,05	<0,05	238	51	546	2,00	14	NA	16700	600	55,0	72,8	21,8	0,4	<5	350	HCO ₃ (F)-Na (B)
B. Mondariz F. Gandara (Po)	224-5-3b	6,5	1657	<0,5	<0,05	0,30	266	92	811	2,00	12	NA	<20	180	5,0	40,2	25,9	0,6	<5	12	HCO ₃ (F)-Na (B)
B. Mondariz F. Troncoso (Po)	224-5-3c	6,6	3064	<0,5	<0,05	<0,05	530	128	1241	3,00	17	NA	1640	79	10,0	182,0	52,2	0,3	<5	20	HCO ₃ (F)-Na (B)

5. CONCLUSIONES

Con objeto de sintetizar la caracterización y tener una visión espacial de las facies hidroquímicas de las *aguas minerales* de Galicia, en la fig. 10 se han representado los resultados analíticos de las muestras más representativas de los 27 aprovechamientos caracterizados, mediante polígonos de Stiff sobre el mapa de localización de puntos de agua. De dicha figura, se pueden extraer las siguientes consideraciones generales sobre las características hidrogeoquímicas de las *aguas minerales gallegas*:

- Se pone de manifiesto el predominio de las aguas bicarbonatadas sódicas, de diferente mineralización y temperatura. Esta facies es adquirida por el agua durante el periodo de contacto con las formaciones plutónicas, en el que se desarrollan con más o menos intensidad (en función de las condiciones de presión y temperatura) procesos de intercambio catiónico entre el agua y los minerales de la arcilla y de hidrólisis de feldespatos-plagioclasas y micas. La diferente mineralización y temperatura del agua varía en función de la distinta penetración de las trayectorias de flujo y de los distintos porcentajes de mezcla entre las circulaciones penetrantes (termales y de mineralización alta) y las someras (frías y débilmente mineralizadas).
- En el sector NE se identifican aguas de facies bicarbonatadas cálcicas o cálcico-sódicas, de temperatura fría y mineralización débil, cuya composición química es el resultado de la disolución de calcitas, y, en menor medida, hidrólisis de plagioclasas, como respuesta a flujos cortos y someros a través de rocas ígneas o metamórficas.
- En el sector occidental aparecen las aguas de facies mixta bicarbonatada clorurada sódica y clorurada sódica, termales, salobres y salinas. La diferencia en el grado de mineralización posiblemente sea consecuencia del tiempo de permanencia en la roca cristalina, grado de interacción con los minerales, presencia de CO₂ endógeno, y la proporción de mezcla con agua salina procedente del mar. Estas aguas corresponden a circulaciones profundas y, por tanto, de prolongado tiempo de residencia en el subsuelo, que, además de una mineralización elevada y pH básicos, determinan su termalismo. La aparición de flúor es debida a la disolución de fluorita o fluorapatito; los oligoelementos como boro pueden proceder de la hidrólisis de las biotitas.
- Puntualmente, en la costa occidental, existen aguas cloruradas sódicas, de muy débil mineralización, que corresponden a sistemas de circulación somera que se recargan por infiltración de agua de lluvia que, por la proximidad entre las zonas de evaporación del agua formadora de las nubes (el mar) y de precipitación (superficie de estos acuíferos), conserva la facies clorurada sódica marina. Ello justifica la presencia de iones cloruro y boro en estas aguas subterráneas.

- Las explotaciones agropecuarias parecen provocar contaminación en las aguas subterráneas bajo la especie reducida del nitrógeno, amonio, y, en menor medida, también nitritos.
- Las condiciones reductoras del medio favorecen la aparición de hierro, manganeso y arsénico en ciertos emplazamientos en concentraciones tales que indican contaminación, aunque su origen sea natural.

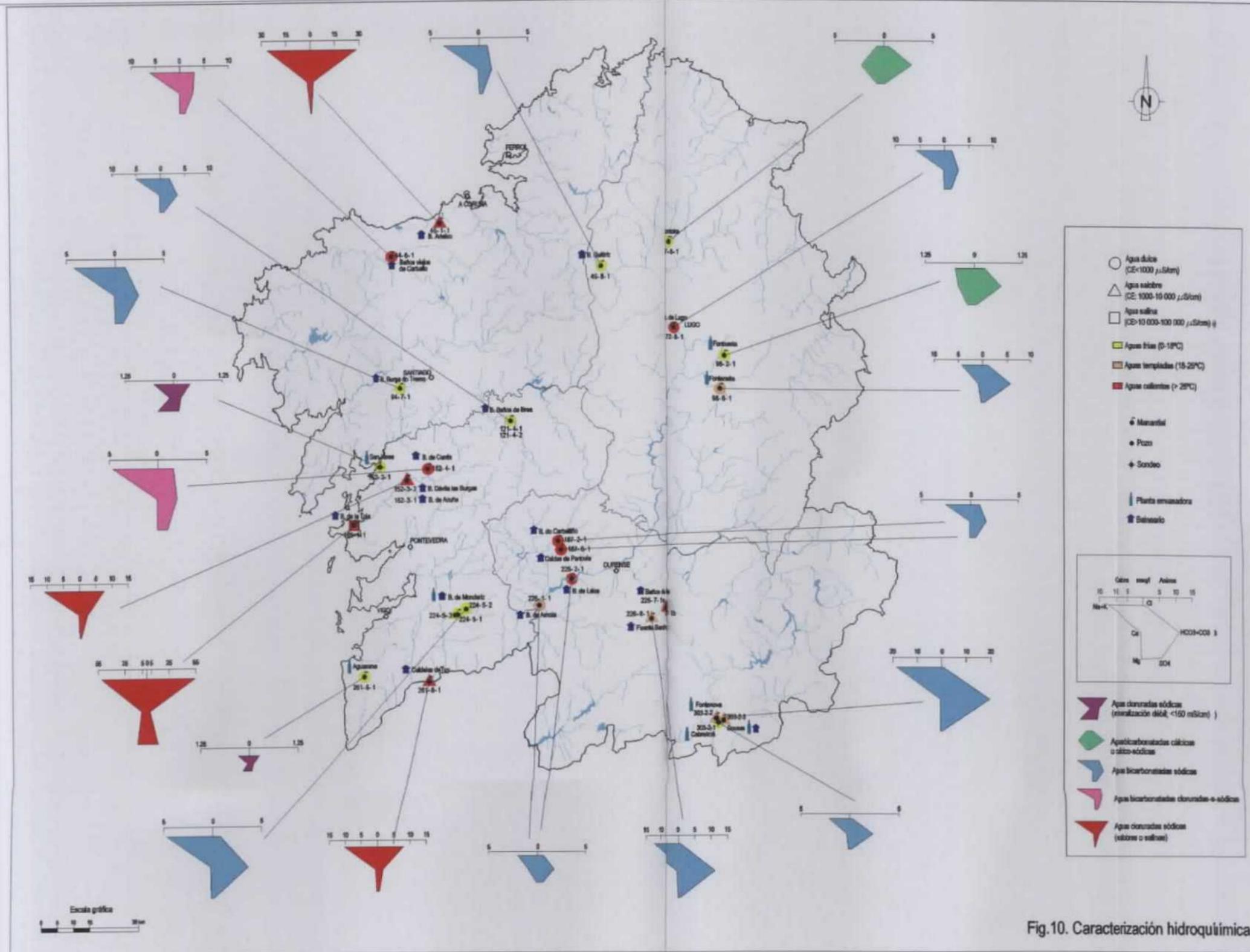


Fig.10. Caracterización hidroquímica