

LAS AGUAS MINERALES Y TERMALES EN ANDALUCÍA

José Ángel Díaz Muñoz ^a; María del Mar Corral Lledó ^b; Elena Galindo Rodríguez ^c; Carlos Ontiveros Beltranena ^d; José Miguel Fernández Portal ^e; Bruno Martínez Plédel ^f

^{a,b,c,d,e,f} CN Instituto Geológico y Minero de España (CSIC) , C/ Ríos Rosas 23.
28003. Madrid. España.

^a email: j.diaz@igme.es; ^b email: mm.corral@igme.es ^c email: e.galindo@igme.es;
^d email: c.ontiveros@igme.es; ^e email: jm.fernandez@igme.es; ^f email:
b.martinez@igme.es

RESUMEN

El Trabajo que aquí se presenta es el resultado de la colaboración entre la Junta de Andalucía y el Instituto Geológico y Minero de España , al amparo de sus competencias y dentro de una trayectoria de colaboración encaminada a contribuir al conocimiento en las ciencias de la Tierra y, por ende, a las aguas minerales.

La necesidad de conocer y profundizar en el conocimiento de las aguas minerales ha sido una motivación que el ser humano ha tenido desde sus orígenes, al asociarse estas a la búsqueda de la salud y bienestar.

En la actualidad, constituye una obligación de la sociedad y de sus administraciones el tener inventariados sus recursos, la correcta caracterización de estos, así como contribuir al desarrollo industrial a partir de este recurso hidromineral.

Como consecuencia de la amplia geodiversidad existente a lo largo del territorio, en Andalucía se ha constatado la existencia de una gran variedad de tipologías de aguas minerales, las cuales han sido, y son, empleadas en la industria balneoterápica así como destinadas a plantas de envasado. La explotación de este recurso mineral constituye una actividad medioambientalmente sostenible y dinamizante del empleo en el ámbito rural, que además contribuye a la fijación del empleo en ámbitos económicamente poco desarrollados.

PALABRAS CLAVE: agua mineral, agua envasada, balneario, composición química, IGME.

ABSTRACT

The here presented project is the result of the collaborative work between the Regional Government of Andalucía and the Spanish Geological Survey. This collaborative work has been performed according to their competencies and the existing collaborative aim to contribute to the better understanding of Earth science and, thus, of mineral waters.

The need to learn and deepen the already existing knowledge of mineral water has always existed throughout the history of humankind, as it was associated with the search for well-being and health.

At the present time, it is a duty for society and its administrations to have their resources inventoried. Besides, there is also a need to have these resources correctly categorized in order to contribute to the industrial development related to this hydromineral resources.

Because of the broad geodiversity existing throughout the given territory, it has been observed the existence of a broad variety of mineral water types in Andalucía. These have been and are currently used within the balneotherapeutic industry as well as being destined for bottling plants. Therefore, we can claim that the exploitation of this mineral resource goes hand in hand with an environmentally sustainable revitalization of rural labour, which at the same time contributes to the development of inhabited and less economically developed regions of Spain.

KEYWORDS: mineral water, bottled water, health resort, chemical composition, IGME.

INTRODUCCIÓN

Andalucía, como consecuencia de su situación a orillas del Mediterráneo, al estar bañada por el Océano Atlántico y al haberse constituido como paso natural de pueblos entre África y Europa ha generado una amalgama poblacional y cultural desde épocas remotas. Son numerosos los elementos que atestiguan este enriquecimiento consecuencia de las aportaciones resultantes de los diferentes pueblos que lo han ocupado, celtas, íberos, tartessos, fenicios, griegos, cartagineses y, sobre todo, romanos y árabes, disfrutaban del uso y propiedades de las aguas minerales, mediante sus baños y termas, habiéndose mantenido vestigios de esta actividad hasta la actualidad.

Ha día de hoy, la comunidad andaluza presenta 11 balnearios activos y 13 plantas de bebida envasada de agua mineral. Además, según se ha podido constatar, existen un total de 691 captaciones que, activas o inactivas, constituyen un alto potencial hidromineral, que podrían ser, en un futuro no muy lejano, objeto de explotación bien en balnearios o plantas de envasado. Esta importancia socioeconómica, se pone de manifiesto por la posible generación de un considerable número de empleos directos e indirectos, así como un no despreciable volumen de negocio.

Cada una de las aguas minerales tiene un origen geológico distinto, que les otorga características físico-químicas y microbiológicas propias. En España la gran diversidad geológica se traduce en una alta variedad de aguas minerales que, en función de sus propiedades, son destinadas a

distintos fines; por un lado, las aguas minerales de bebida envasada son un excelente complemento para la dieta, por otro lado, las aguas minerales de uso tópico se emplean en balnearios con fines medicinales y, por último, determinadas aguas minerales con concentraciones elevadas de sustancias químicas tienen un uso industrial.

Quizás el reconocimiento más importante que tuvieron estas aguas desde la antigüedad fue su carácter medicinal, cuyo objetivo estaba encaminado a mejorar o buscar la salud y cuyas propiedades ya quedaban de manifiesto en el tratado de Historia Natural escrita, en torno al año 77, por Plinio el Viejo. El uso de dichas aguas fue tradicionalmente realizado mediante prácticas tópicas o hidropínicas, a lo largo de las diferentes civilizaciones que arribaron en la península. Su implementación a lo largo del territorio queda constatada por los numerosos topónimos que hacen referencia a sus aguas.

A lo largo de los siglos, el uso de estas aguas ha sido desigual, pasando de la época de más auge o esplendor que fue con los árabes y romanos, a otras de cierto declive a través de la Edad Media, para posteriormente resurgir en el siglo XVIII y alcanzar su máximo esplendor a finales del siglo XIX. A principio del siglo XX, más recientemente fruto del auge de la medicina moderna, sufre una fuerte desaceleración. Es a finales del siglo XX, con los planes del INSERSO y el gran interés surgido por todo lo Natural, cuando ha vuelto a repuntar su uso balneoterápico.

En referencia al uso de las aguas minerales como aguas envasadas, indicar que su utilización es mucho más reciente, generalizándose su empleo industrial a finales del siglo XX.

Las aguas minerales representan un recurso de alto valor socioeconómico, patrimonial y medioambiental. Es por esta razón, que se considera de alto interés la realización de actividades encaminadas al conocimiento, divulgación y potenciación de este recurso minero.

OBJETIVO

La finalidad perseguida con los trabajos realizados es la obtención de un conocimiento actualizado de la situación de los recursos hidrominerales así como la potenciación y divulgación de este recurso minero en el ámbito geográfico de Andalucía.

METODOLOGÍA

- ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS DATOS DE PARTIDA

Se plantea la necesidad de conocer las captaciones de aguas minerales existentes en la Comunidad Autónoma de Andalucía, mejorando el conocimiento básico de este recurso en un amplio territorio constituido por 87.268 km² de extensión, a lo largo de las ocho provincias que lo componen (Almería, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Jaén, Málaga y Sevilla).

Para ello, se ha establecido un procedimiento de trabajo que ha consistido en las siguientes fases de trabajo:

- Recopilación de información. Se ha realizado una búsqueda exhaustiva de puntos históricos existentes, bien estén activos, inactivos, abandonados o desaparecidos. Para ello se han considerado:
 - . Documentos históricos donde figuraban los puntos de la época. Muchas de estas captaciones ya desaparecidas.
 - . Documentos actuales. Tesis, publicaciones, documentos asociados a trámites administrativos y registros mineros.
 - . Bases de datos. En su inicio, y como punto de partida, se consultó la base de datos (BBDD) de aguas minerales y termales del IGME, la BBDD aportada por la Junta de Andalucía, así como otras BBDD disponibles.

Toda la información recopilada fue agregada en una BBDD única la cual constituye una recopilación de puntos que corresponde a un estadio inicial de la información de partida con un total de 691 captaciones.

PROVINCIA	Nº CAPTACIONES
Almería	52
Cádiz	83
Córdoba	50
Granada	233
Huelva	30
Jaén	117
Málaga	93
Sevilla	33
TOTAL	691

- Preparación del Campo. Una vez depurada la información de partida se procedió a la representación espacial mediante ARCGIS con el objeto de obtener un soporte cartográfico con la distribución de puntos que pudiese ser utilizado en campo para su visita. A partir de los mapas provinciales obtenidos con las captaciones existentes se establecieron las rutas más eficientes por proximidad y se procedió a establecer contacto con las personas encargadas de facilitar el paso de cada punto.
- Visita en Campo. Se procedió al reconocimiento “in situ” de cada punto; en los puntos visitados y finalmente localizados, siempre se tomaron coordenada UTM ETRS89, fotografías, medidas in situ de parámetros inestables (pH, Eh, temperatura, conductividad), así como dos muestras para su posterior análisis en laboratorio.

Una vez realizada la visita de campo, se cumplimentó una ficha de inventario para, con posterioridad, trasladar la información a la BBDD.

- Análisis de laboratorio. Las muestras seleccionadas y remitidas al laboratorio han sido sometidas a un análisis químico multielemento, donde se analizaron los iones mayoritarios junto a otros 32 elementos complementarios.

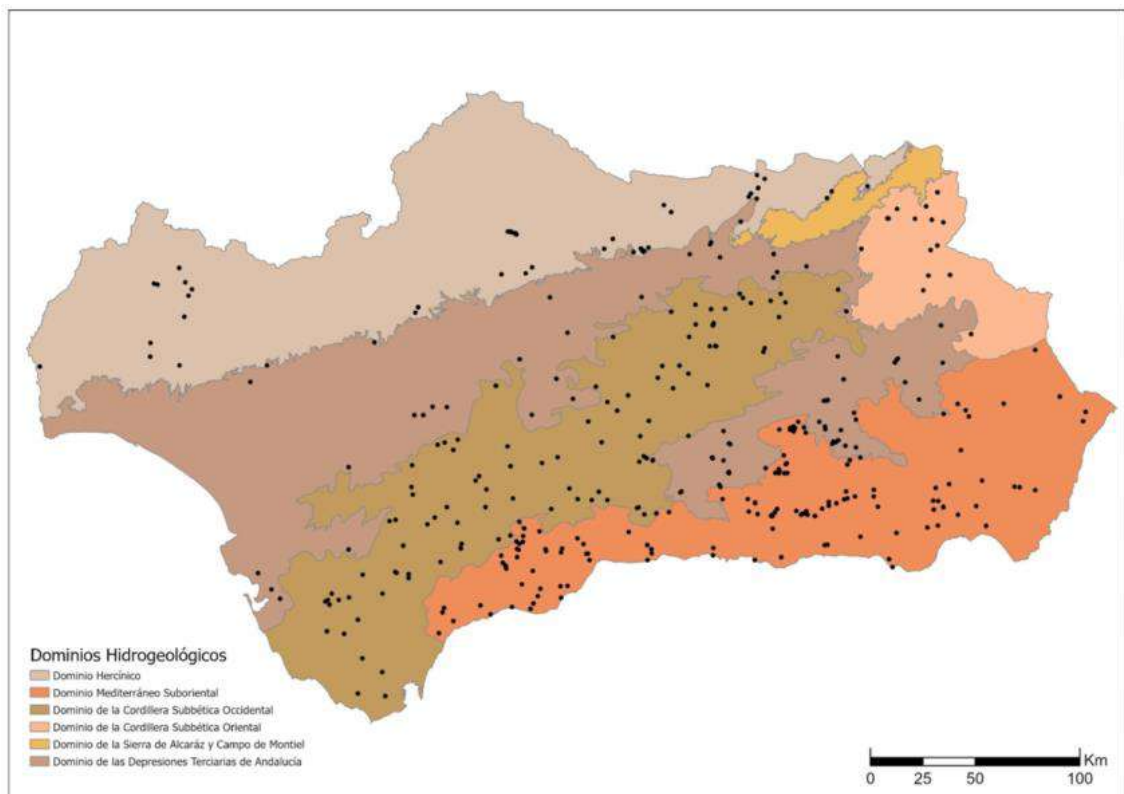
- Carga de datos. La información actualizada tras las visitas de campo y los datos correspondiente a las analíticas del laboratorio fueron cargadas en la tabla correspondiente de la BBDD.
- Tratamiento de datos. De todas las captaciones muestreadas se procederá a la caracterización de sus facies hidroquímicas, mediante su representación en un gráfico Piper, Schoeller, Stiff, Collins y Radial.
- Presentación en Portal WEB IGME. Las fichas correspondientes a cada captación pueden visualizarse en:

<https://info.igme.es/visor/?Configuracion=AguasMineralesAndalucia>

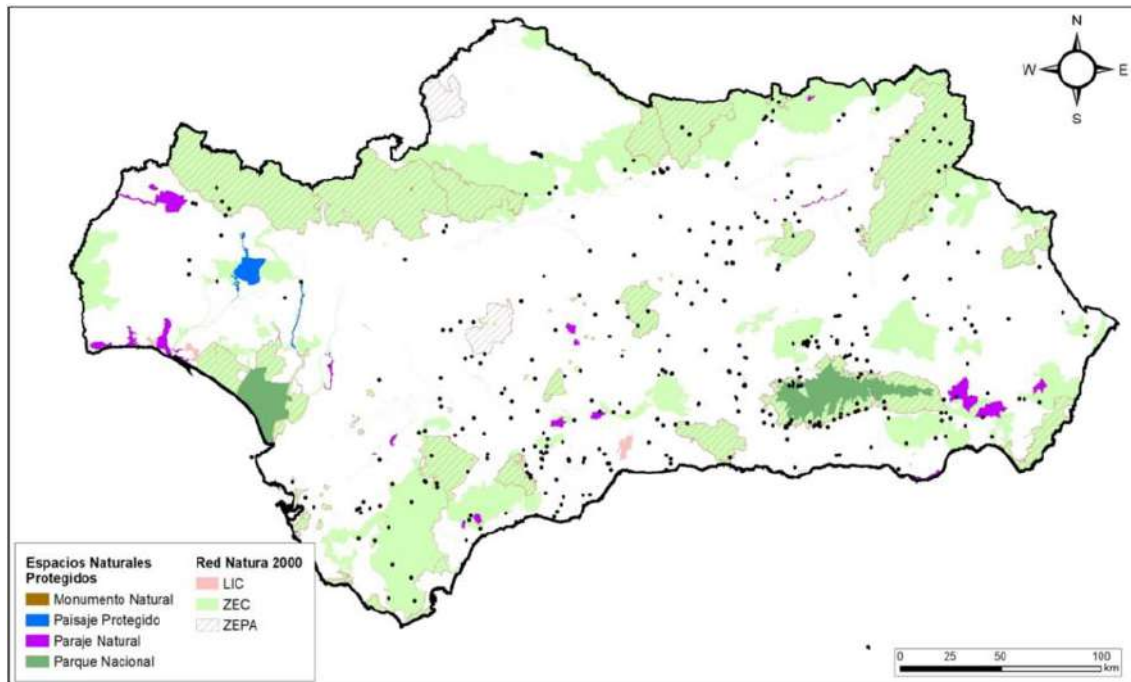
- **TRATAMIENTO DE DATOS EN SIG**

De los puntos existentes, y tras eliminar aquellos que no disponían de analíticas o coordenadas, quedaron un total de 489 captaciones útiles, los cuales han sido volcados en un SIG, para proceder al análisis de la posición de los mismos respecto de las capas de información geográficas.

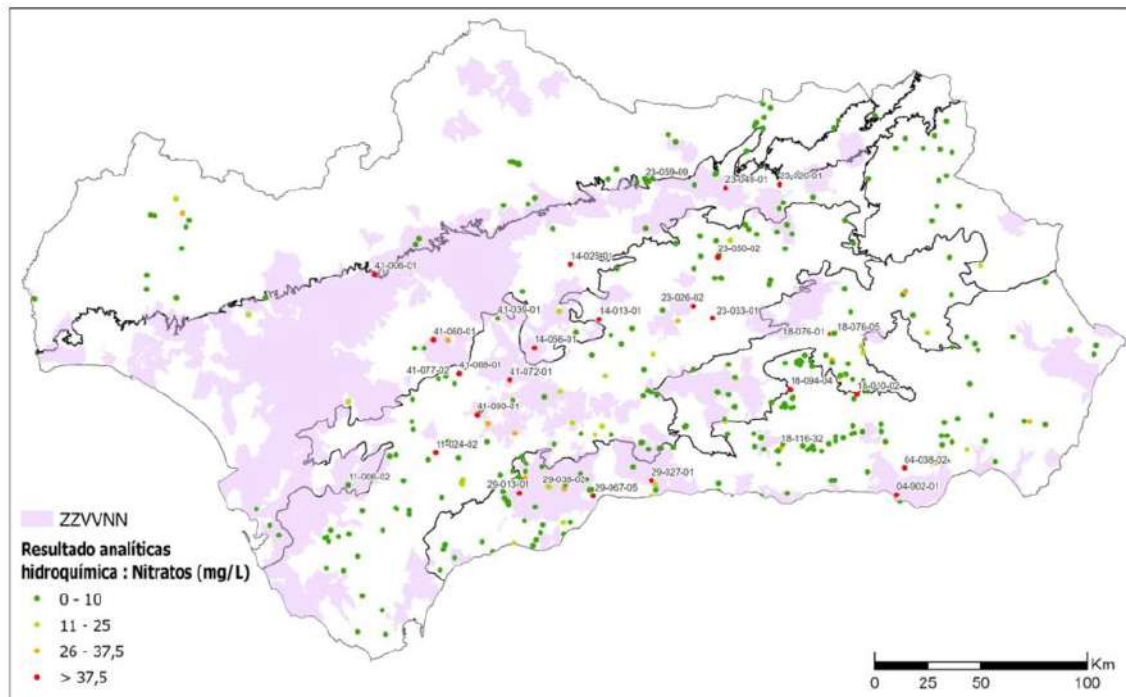
1. Identificación de las masas de agua subterránea sobre las que se sitúan las captaciones, y su estado cualitativo y cuantitativo.
2. Mediante superposición vectorial se determinó la ubicación de los puntos que cuentan con analíticas fisicoquímicas en los dominios hidrominerales correspondientes.



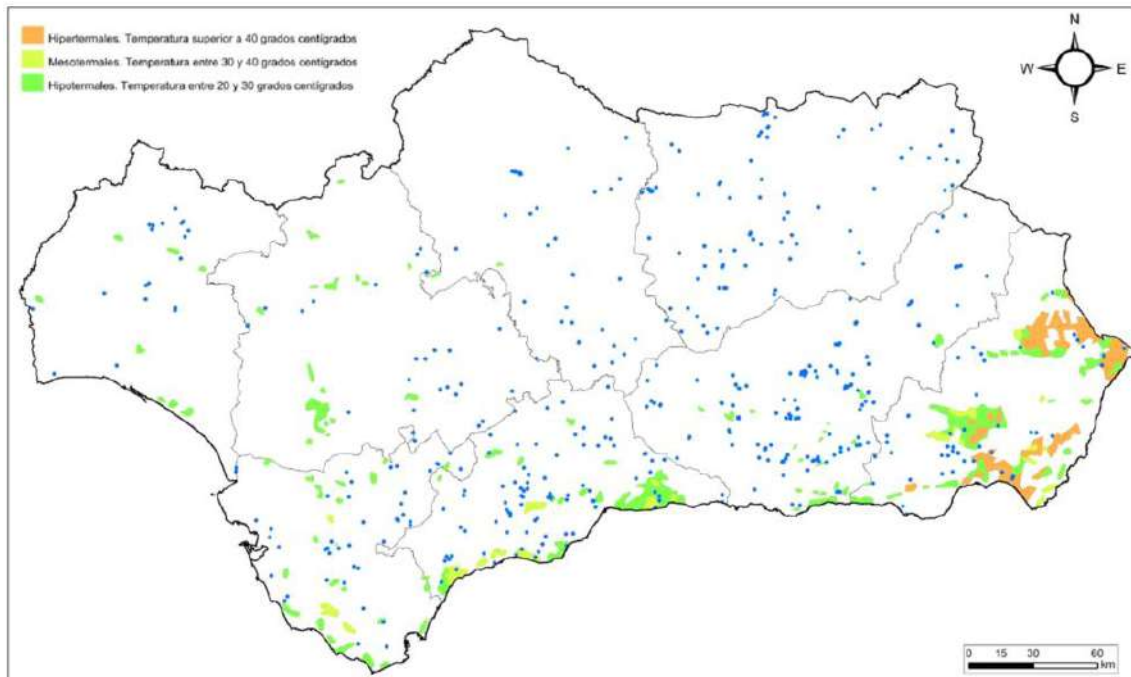
3. Se identificaron las figuras de protección de Espacios Naturales Protegidos y Red Natura 2000 en Andalucía, a fin de conocer la posición de las captaciones.



4. Además, se ubicaron las captaciones sobre Zonas Vulnerables a Contaminación por Nitratos, superficies territoriales cuya escorrentía o filtración afecta o puede afectar a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrícolas.



5. Distribución de los puntos sobre las anomalías hidrotermales

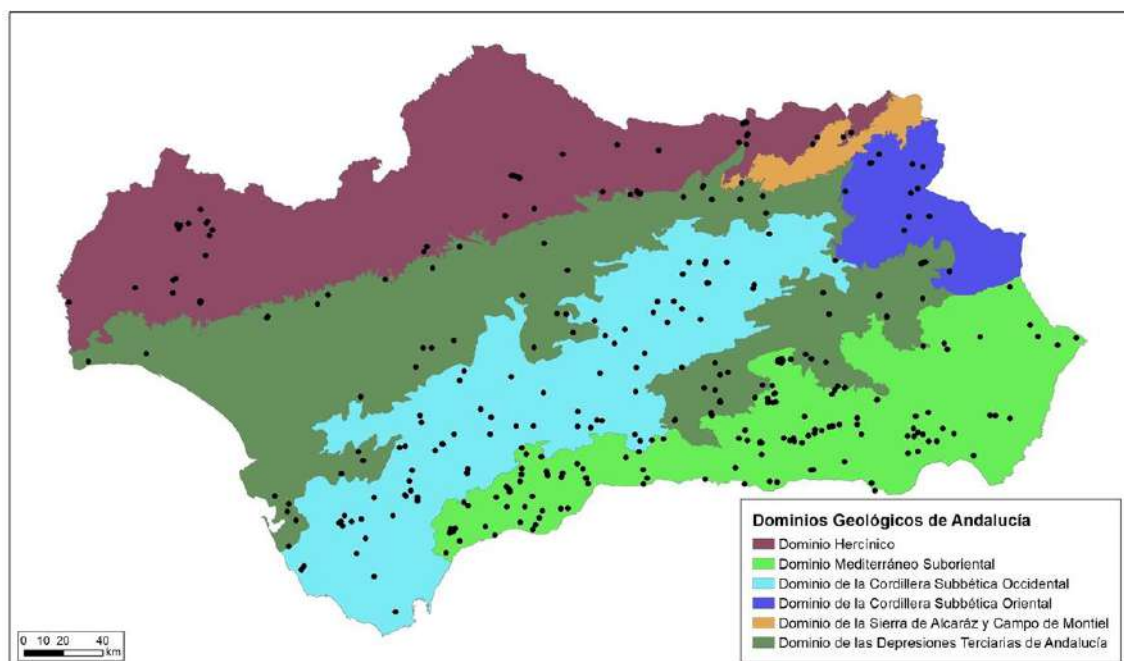


CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA POR DOMINIOS HIDROMINERALES

Se entiende por Dominio Hidromineral aquel conjunto de formaciones geológicas relacionadas geográfica y estratigráficamente entre sí, que engloba materiales cuya litología y estructura permiten el almacenamiento y circulación de aguas subterráneas con características físico-químicas comunes (Corral Lledó et al., 2008).

En el conjunto de Andalucía, con estos criterios de uniformidad litoestratigráfica e hidroquímica se han delimitado un total de 6 dominios:

- Dominio Hercínico.
- Dominio de las Depresiones Terciarias en Andalucía.
- Dominio de la Cordillera Subbética Oriental.
- Dominio de la Cordillera Subbética Occidental.
- Dominio de Mediterráneo Suboriental.
- Dominio de la Sierra de Alcaraz y Campo de Montiel



La distribución del número de captaciones en cada Dominio hidrogeológico, el área del Dominio y las provincias en las que se encuentra se recoge en la siguiente tabla:

RESUMEN DE LOS DOMINIOS GEOLÓGICOS DE ANDALUCÍA			
Dominios hidrogeológicos	Área (ha)	Provincias	Nº Captaciones
Dominio Hercínico	2.177.888	Jaén	59
		Córdoba	
		Sevilla	
		Huelva	
Dominio de las Depresiones Terciarias de Andalucía	2.484.527	Almería	81
		Granada	
		Jaén	
		Córdoba	
		Sevilla	
		Cádiz	
Dominio de la Cordillera Subbética Oriental	433.209	Huelva	19
		Almería	
		Granada	
		Jaén	
Dominio de la Cordillera Subbética Occidental	1.918.873	Granada	119
		Jaén	
		Córdoba	
		Málaga	
		Sevilla	
Dominio Mediterráneo Suroriental	1.595.073	Cádiz	209
		Almería	
		Granada	
Dominio de la Sierra de Alcaráz y Campo de Montiel	142.822	Málaga	0
		Jaén	

CARACTERÍSTICAS DE LOS DOMINIOS HIDROMINERALES

A continuación, se describen brevemente estos dominios hidrominerales.

Dominio Hercínico: a pesar de su extensión presenta una gran uniformidad por estar constituido por materiales pertenecientes al Paleozoico metamorfizado por la orogenia Hercínica o masas de rocas ígneas, fundamentalmente granitoides. Las aguas minerales presentes en estos materiales circulan en el sistema de fracturas y estructuras discontinuas, algunas de gran profundidad, que los caracteriza.

La facies hidroquímica más común es la bicarbonatada sódica, normalmente el último estadio de evolución química del agua en su circulación por los materiales silicatados y, con menor frecuencia carbonatados, que caracterizan las formaciones metamórficas e ígneas. También se presentan con relativa abundancia aguas bicarbonatadas magnésicas y aguas cloruradas sódicas.

Esta unidad hidromineral es asimismo ámbito de existencia de un elevado número de anomalías de los indicadores de circulación profunda: temperatura, flúor, sílice, hierro, manganeso, arsénico y sulfuros.

Dominio de las Depresiones Terciarias de Andalucía: en este Dominio predominan los acuíferos detríticos, pertenecientes a los extensos depósitos aluviales y lacustres cenozoicos, formados en los tramos medio y bajo de los grandes ríos andaluces. Asimismo, están presentes otras unidades hidrogeológicas ligadas a medios sedimentarios litorales o de transición (afloramientos de calcarenitas, biocalcarenitas, margocalizas, etc.) o a ambientes paleogeográficos, que favorecieron el depósito de materiales detríticos de fracción gruesa.

Dominio de la Cordillera Subbética Oriental: comprende este dominio partes de las provincias de Jaén, Almería, Albacete, Murcia y Alicante. Geológicamente se identifican con las estribaciones más orientales de la Cordillera Bética, en sus dominios externos del Subbético y Prebético, en las que la deformación del orógeno es menos acusada que en el dominio interno. Litológicamente, este dominio presenta una gran diversidad de materiales: areniscas, margas, arcillas, yesos, masas salinas y extensas formaciones carbonatadas del Mesozoico y Cenozoico.

Esta diversidad de litología da lugar a una gran variedad de facies hidroquímicas: bicarbonatadas cálcicas y magnésicas, cloruradas sódicas y sulfatadas cálcicas, son tipos de aguas presentes en este dominio hidromineral. Asimismo, se presentan abundantes anomalías químicas indicativas de circulación profunda, tales como temperatura, flúor, hierro y litio, fundamentalmente.

Dominio de la Cordillera Subbética Occidental: se extiende este dominio por zonas de hasta 6 provincias de Andalucía: una parte importante de Cádiz, sureste de Sevilla, noroeste de Málaga, sur de Córdoba, Jaén y noreste de Granada, abarcando todo el frente de contacto entre el orógeno bético y el límite sur de la depresión del río Guadalquivir. En esta extensa zona de dirección NE-SW, como en el conjunto de toda la cordillera, se presentan materiales mesozoicos, desde triásicos hasta cretácicos, entre los que cabe destacar areniscas, yesos, sales, margas y carbonatos.

Las facies hidroquímicas predominantes son las bicarbonatadas cálcicas, cloruradas sódicas y sulfatadas cálcicas. En las aguas minerales y termales de este dominio se presentan anomalías de flúor, hierro y temperatura.

Domino Mediterráneo Suboriental: Geográficamente y geológicamente este dominio se identifica totalmente con lo que se conoce como Zonas Internas de la Cordillera Bética. Abarca una parte importante de las provincias de Málaga, Granada, Almería y Murcia. Está integrado por un conjunto de formaciones geológicas, sometidas a la mayor deformación dentro del conjunto de la Cordillera Bética, situadas en mantos superpuestos con un fuerte plegamiento y por lo tanto con abundante fracturación que en ocasiones alcanza grandes dimensiones, tanto en vertical como en horizontal. Estos mantos, Nevado-Filabrides, Alpujárrides y Maláguides incluyen materiales básicamente metamórficos y carbonatados, aunque también se presentan en menor proporción formaciones yesíferas.

Las facies hidroquímicas dominantes son las bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas magnésicas y sulfatadas cálcicas. Estas últimas como consecuencia de la gran profundidad de circulación de las aguas y su contacto con los yesos mencionados. Excepcionalmente se presentan aguas cloruradas sódicas con una elevada salinidad y algunas aguas bicarbonatadas sódicas en relación con materiales carbonatados metamorfizados (mármoles).

Es generalizada la presencia de anomalías indicativas de circulación profunda, especialmente temperatura, flúor y hierro.

Sierra de Alcaraz y Campo de Montiel: Geográficamente comprende las zonas limítrofes de las provincias de Ciudad Real, Albacete y Jaén. Se identifica geológicamente con las formaciones triásicas existentes en la base del Jurásico carbonatado del SE de la meseta castellano-manchega. Areniscas, yesos y carbonatos son las litologías predominantes en este dominio hidromineral.

Las facies hidroquímicas dominantes son las bicarbonatadas cálcicas y la sulfatada cálcica, como consecuencia de la interacción del agua de infiltración con los citados materiales.

En el conjunto de análisis de la base de datos de las aguas minerales y termales no existe evidencia de anomalías químicas debidas a circulación profunda en este dominio.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA POR DOMINIOS

1 Caracterización general

Partiendo de los análisis físico-químicos de las 489 muestras existentes en la BBDD, se ha realizado un tratamiento estadístico por dominios para realizar una caracterización general de cada uno de estos.

1.1 Dominio Hercínico

Las aguas subterráneas de este Dominio están, por lo general, en contacto con formaciones de pizarras y cuarcitas.

El pH de media presenta un valor ligeramente ácido de 6,80, con valores que oscilan entre los 2,80 y los 8,45.

La facies hidroquímica predominante de este Dominio es bicarbonatada, y en mayor medida bicarbonatada cálcica, con una menor proporción de bicarbonatada sódica y bicarbonatada magnésica.

La conductividad presenta un rango de valores muy amplio, que oscila entre los 20 y los 3.980 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 836,53 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La temperatura es fría con valores que oscilan entre los 0 y 23,7 $^{\circ}\text{C}$, con un valor medio de 14,11 $^{\circ}\text{C}$, lo que no da indicios de termalismo. La zona E del Dominio presenta anomalías geotermiales de hipotermalismo, con temperaturas entre 20 y 30 $^{\circ}\text{C}$.

Los valores en aluminio son elevados, muy superiores a los 200 $\mu\text{g}/\text{l}$ del Decreto, con un valor medio de 2.372,62 $\mu\text{g}/\text{l}$, con un máximo de 49.731 $\mu\text{g}/\text{l}$ y un mínimo de 1,25 $\mu\text{g}/\text{l}$.

1.2 Dominio de las Depresiones Terciarias de Andalucía

El valor medio del pH es ligeramente básico (7,36), con valores que oscilan entre los 5,8 y 8,4.

La conductividad presenta un rango muy amplio, con valores que oscilan entre los 80 y los 530.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 34.792,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor muy superior al límite de 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que establece la norma. Esto es debido a la presencia de sales y yesos en estas cuencas terciarias.

Las facies hidroquímicas predominantes en este dominio son sulfatadas y cloruradas, y en menor proporción, bicarbonatadas. En bastantes casos los valores de cloro, sodio y sulfato son muy elevados.

Este dominio presenta desde aguas frías con mínimo de 0 $^{\circ}\text{C}$ a aguas mesotermiales con un máximo de 42,33 $^{\circ}\text{C}$. El valor medio es de 21,47 $^{\circ}\text{C}$. Son las zonas suroccidentales del Dominio las que presentan anomalías geotermiales de tipo hipotermal (temperaturas entre 20 y 30 $^{\circ}\text{C}$).

Los valores del Cadmio son elevados con valor medio de 44,84 $\mu\text{g}/\text{l}$, muy superior al límite de 3 $\mu\text{g}/\text{l}$ del RD 1798/2010.

1.3 Dominio de la Cordillera Subbética Oriental

La tipología de acuífero más frecuente en este Dominio son macizos carbonatados que, en ocasiones, forman parte de sistemas acuíferos kársticos.

El pH oscila entre los 7,02 y los 8,2, con un valor medio de 7,60 siendo ligeramente básico.

La conductividad tiene un valor medio de 743,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con valores que oscilan entre los 230 y los 4.680 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La temperatura del agua es fría, con valores que oscilan entre los 10 y los 14,4 $^{\circ}\text{C}$. No obstante, existen, concentrados en la zona más oriental del dominio donde se ubican las mayores

elevaciones de la cordillera Bética, anomalías hipertermales (más de 40 °C), mesotermas (30-40 °C) e hipotermas (20-30 °C).

La facies hidroquímica más frecuente es la bicarbonatada cálcica, como corresponde a un contexto de acuífero carbonatado. Así el rango de bicarbonatos está acotado, y el calcio y el magnesio procede mayoritariamente de calizas y dolomías.

1.4 Dominio de la Cordillera Subbética Occidental

El pH presenta valores de muy ácidos, con un mínimo de 3,4, a básicos, con un máximo de 8,5. El valor medio es de 7,18.

La conductividad muestra un valor medio de 35.442,78 µS/cm, que supera ampliamente el valor de 2.500 µS/cm establecidos por la norma. Con valores que oscilan entre los 49 y los 582.001 µS/cm.

La temperatura media es fría con un valor de 17,18 °C, con valores que oscilan entre los 10,5 y los 29 °C. No obstante, existen anomalías hipotermas (20-30 °C), concentradas en la Sierra de Grazalema.

Los valores medios de los cloruros y los sulfatos son muy elevados, con valores de 30.035,02 mg/l y 1.824,45 mg/l respectivamente, que superan ampliamente el valor de 250 mg/l de los parámetros indicadores, denotando aguas cloruradas y sulfatadas.

1.5 Dominio Mediterráneo Suboriental

El pH oscila entre valores muy ácidos, con un mínimo de 3,1, a valores muy básicos, con un máximo de 11,4, siendo la media ligeramente básica.

La conductividad muestra una gran amplitud con un mínimo de 90 µS/cm y un máximo de 24.400 µS/cm, valor que supera ampliamente el indicador paramétrico de 2.500 µS/cm que establece la norma. El valor medio es de 1.543,88 µS/cm.

El dominio presenta desde aguas frías a 0 °C, hasta aguas Hipertermales de 58 °C. Con un valor medio de 19,60 °C. Únicamente 4 muestras presentan valores superiores a los 40 °C. La existencia de muestras de agua con temperaturas elevadas se debe a la presencia de anomalías geotérmicas asociadas a las formaciones de Sierra Nevada y norte de las Cordillera Bética, que concentran anomalías hipertermales (más de 40 °C), mesotermas (30-40 °C) e hipotermas (20-30 °C).

En este dominio, el manganeso presenta valores altos, con una media de 7.978,83 mg/l muy superior a los 500 µg/l del RD 1798/2010.

2 Hidrogeoquímica de las aguas minerales

2.1 Agrupación de facies

Una correcta caracterización de las aguas subterráneas conlleva la identificación de las facies hidroquímicas, pues informan de sus iones principales y por tanto de su roca origen y de otras rocas que puedan haber atravesado. Se realizó, para el tratamiento y estudio estadístico de las

489 muestras de agua, la identificación de las facies hidroquímicas, focalizando los esfuerzos del estudio en los diferentes dominios hidrominerales presentes en Andalucía antes descritos.

La primera aproximación a la clasificación final se estableció en base al anión mayoritario, surgiendo así las tres primeras grandes “familias” de facies: bicarbonatadas, sulfatadas, y cloruradas. Dada la diversidad de facies bicarbonatadas obtenidas en la caracterización de cada una de las muestras de agua, se procedió a la subdivisión de esta gran familia en función del catión mayoritario: sodio, calcio y magnesio.

De esta forma, se obtuvieron **cinco grupos de facies** hidroquímicas que responden a sus iones mayoritarios. A continuación, se recogen los grupos establecidos.

- Grupo 1: son aguas **Bicarbonatadas** con cationes mayoritarios de **sodio**
- Grupo 2: son aguas **Bicarbonatadas** con cationes mayoritarios **calcio**.
- Grupo 2: son aguas **Bicarbonatadas** con cationes mayoritarios **magnesio**.
- Grupo 4: son aguas **Cloruradas**.
- Grupo 5: son aguas **Sulfatadas**.

El estudio de las facies hidroquímicas se acotó para cada uno de los dominios hidrominerales, dibujándose el diagrama de Piper correspondiente y los diagramas de Stiff asociados a cada grupo o familia de facies. El diagrama de Piper permite la agrupación e identificación de las aguas subterráneas por facies, así como el estudio de los procesos de mezcla y reacciones químicas que hayan podido experimentar las aguas.

La siguiente tabla recoge cada una de las facies recogidas en los grupos o familias de facies establecidas.

FACIES HIDROQUÍMICA POR GRUPOS		
Facies generales	Grupo	FACIES HIDROQUÍMICA
Bicarbonatadas Sódicas	1	Bicarbonatada Sódica
		Bicarbonatada Sódico-cálcica
		Bicarbonatada Sódico-magnésica
		Bicarbonatada Clorurada sódica
		Bicarbonatada Clorurada Sódico-magnésica
		Bicarbonatada Clorurada Sódico-cálcica
		Bicarbonatada Sulfatada Sódico-cálcica
Bicarbonatadas Cálcicas	2	Bicarbonatada Cálcica
		Bicarbonatada Cálcico-magnésica
		Bicarbonatada Cálcico-sódica
		Bicarbonatada Clorurada Cálcica

FACIES HIDROQUÍMICA POR GRUPOS				
Facies generales		Grupo	FACIES HIDROQUÍMICA	
			Bicarbonatada Clorurada Cálcico-magnésica	
			Bicarbonatada Clorurada Cálcico-sódica	
			Bicarbonatada Sulfatada Cálcica	
			Bicarbonatada Sulfatada Cálcico-magnésica	
			Bicarbonatada Sulfatada Cálcico-sódica	
Bicarbonatadas magnésicas		3	Bicarbonatada Magnésica	
			Bicarbonatada magnésico-cálcica	
			Bicarbonatada Magnésico-sódica	
			Bicarbonatada Clorurada Magnésico-cálcica	
Cloruradas	Sódicas	4.1	Clorurada sódica	
			Clorurada sódico-cálcica	
			Clorurada sódico-magnésica	
			Clorurada Bicarbonatada sódica	
			Clorurada Bicarbonatada sódico-magnésica	
			Clorurada Bicarbonatada Sódico-cálcica	
			Clorurada sulfatada sódica	
			Clorurada sulfatada sódico-cálcica	
	Cálcicas	4.2	Clorurada cálcica	
			Clorurada Cálcico-sódica	
			Clorurada Bicarbonatada Cálcico-magnésica	
			Clorurada Bicarbonatada Cálcica-sódica	
			Clorurada Sulfatada Cálcica	
	Magnésicas	4.3	Clorurada Bicarbonatada Magnésico-sódica	
Sulfatadas	Sódicas	5.1	Sulfatada Sódico-cálcica	
			Sulfatada Bicarbonatada Sódico-cálcica	
			Sulfatada Bicarbonatada Sódico-magnésica	
			Sulfatada Clorurada Sódico-cálcica	
			Sulfatada Clorurada Sódico-magnésica	

FACIES HIDROQUÍMICA POR GRUPOS			
Facies generales		Grupo	FACIES HIDROQUÍMICA
	Cálcicas	5.2	Sulfatada Cálcica
			Sulfatada Cálcico-magnésica
			Sulfatada Cálcico-sódica
			Sulfatada Bicarbonatada Cálcica
			Sulfatada Bicarbonatada Cálcico-magnésica
			Sulfatada Clorurada Cálcico-sódica
			Sulfatada Clorurada Cálcico-magnésica
	Magnésicas	5.3	Sulfatada Magnésica
			Sulfatada Magnésico-cálcica
			Sulfatada Magnésico-sódica
			Sulfatada Bicarbonatada Magnésica
			Sulfatada Bicarbonatada Magnésico-sódica

2.2 Dominio Hercínico

Las aguas subterráneas del Dominio Hercínico presentan una fuerte dominancia de la facies bicarbonatada, en particular de la facies bicarbonatada cálcica (40,68%). Presenta una gran extensión, desde el macizo de Sierra Morena hasta la Sierra de Aracena, y elevaciones originadas por esfuerzos tectónicos que además dan lugar a plegamientos y fracturas de gran profundidad, a través de las cuales circula el agua intercambiando iones con las rocas que atraviesa.

FACIES HIDROQUÍMICAS DE LAS CAPTACIONES DEL DOMINIO HERCÍNICO			
Grupo	Facies Hidroquímica	Nº Captaciones	%
1	Bicarbonatada Sódica	11	18,64
2	Bicarbonatada Cálcica	24	40,68
3	Bicarbonatada Magnésica	11	18,64
4	Cloruradas	4	6,78
5	Sulfatadas	8	13,56
-	Sin Facies	1	1,69

En la siguiente figura se muestra un diagrama de Piper con la representación de cada grupo de facies.

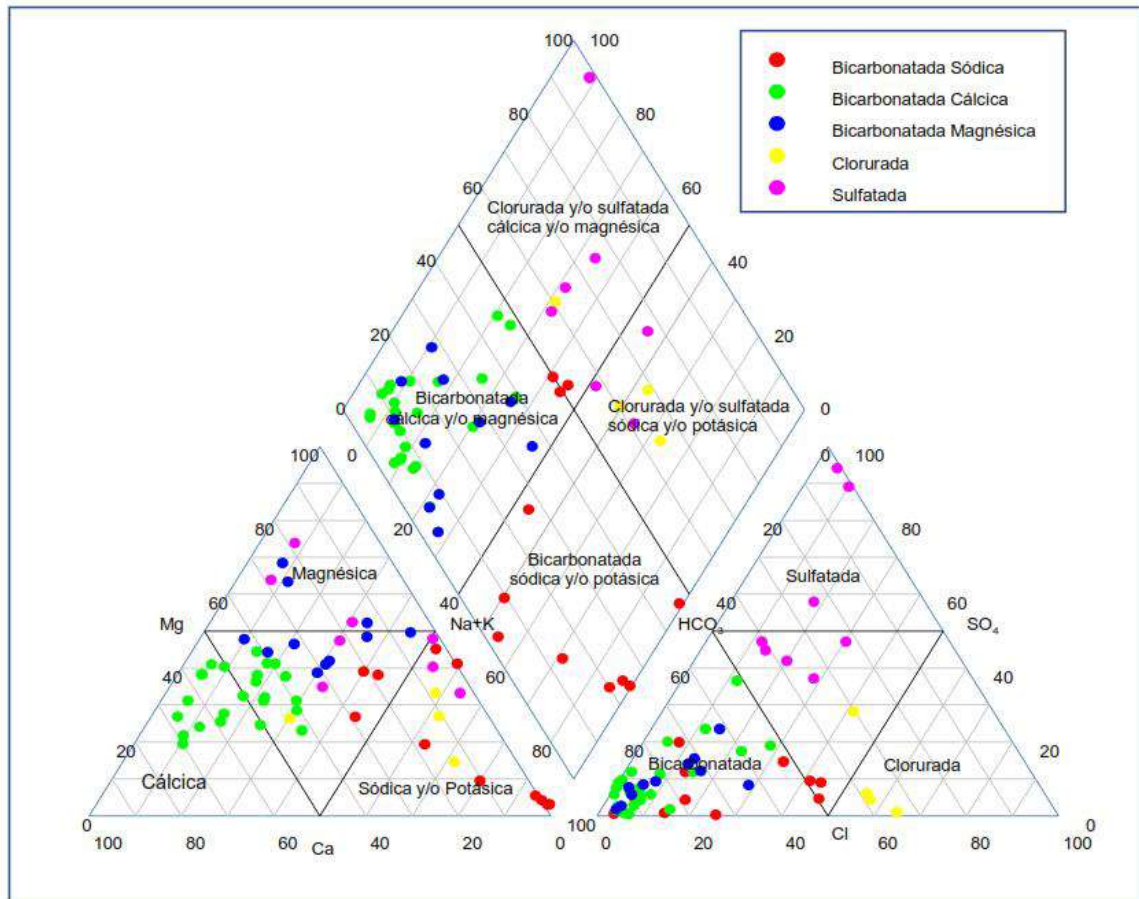
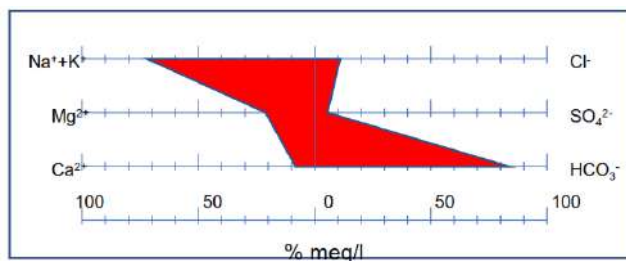


Diagrama de Piper correspondiente al Dominio Hercínico.

Los valores medios de los aniones y cationes principales de cada grupo de facies en este Dominio se muestran en la siguiente tabla, junto con la Facies Hidroquímica que los caracteriza. Siendo los aniones mayoritarios los bicarbonatos seguidos de los sulfatos y por último los cloruros. En cuanto a los cationes de mayor a menor tenemos el sodio, calcio, magnesio y por último el potasio.

VALORES MEDIOS POR GRUPOS										
Grupo	Cloruros mg/l	Sulfatos mg/l	Bicarbonatos mg/l	Carbonatos mg/l	Nitratos mg/l	Sodio mg/l	Magnesio mg/l	Calcio mg/l	Potasio mg/l	Facies Hidroquímica
1	38,15	26,18	503,62	4,18	5,71	161,95	25,55	16,54	5,25	Bicarbonatada Sódica
2	16,67	30,44	387,59	2,62	6,09	28,23	28,63	79,05	2,76	Bicarbonatada Cálcico magnésica
3	20,33	28,83	510,11	0,80	4,39	58,92	50,55	52,48	3,80	Bicarbonatada Magnésico cálcica
4	82,65	20,08	81,03	10,50	2,00	66,75	9,28	13,03	1,50	Clorurada bicarbonatada Sódica
5	48,65	270,25	84,83	0,00	1,14	57,95	51,76	26,69	4,24	Sulfatada Sódica

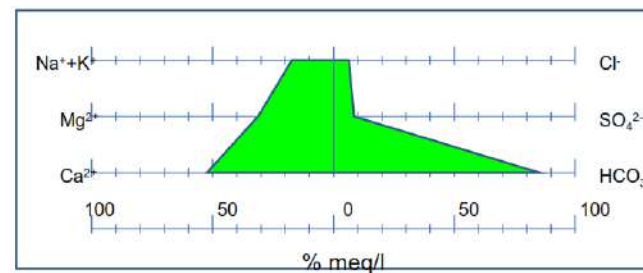
Así mismo, se expone el diagrama de Stiff de los valores medios de cada uno de los grupos.



	mg/l	meq/l	%
Na+K	167,20	7,18	72,00
Mg	25,55	2,10	21,07
Ca	16,54	0,83	8,28

Diagrama de Stiff grupo 1

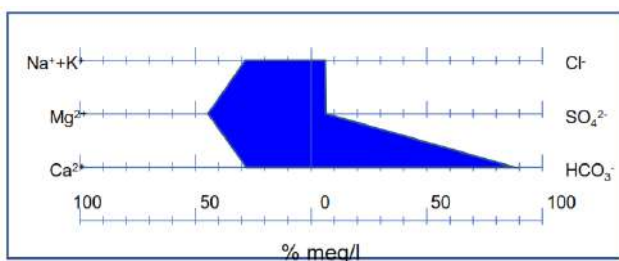
	mg/l	meq/l	%
Cl	38,15	1,08	10,90
SO₄	26,18	0,55	5,52
HCO₃	503,62	8,25	83,58



	mg/l	meq/l	%
Na+K	30,99	1,30	17,25
Mg	28,63	2,36	31,28
Ca	79,05	3,94	52,40

Diagrama de Stiff grupo 2

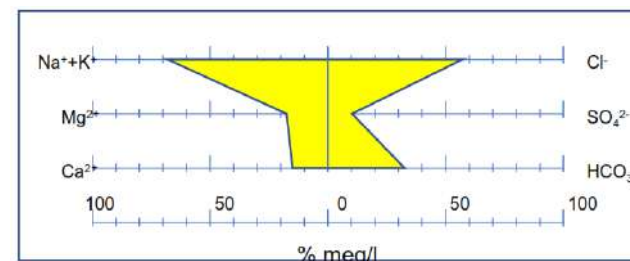
	mg/l	meq/l	%
Cl	16,671	0,47	6,31
SO₄	30,442	0,63	8,50
HCO₃	387,59	6,35	85,19



	mg/l	meq/l	%
Na+K	62,72	2,66	28,48
Mg	50,55	4,16	44,52
Ca	52,48	2,62	28,04

Diagrama de Stiff grupo 3

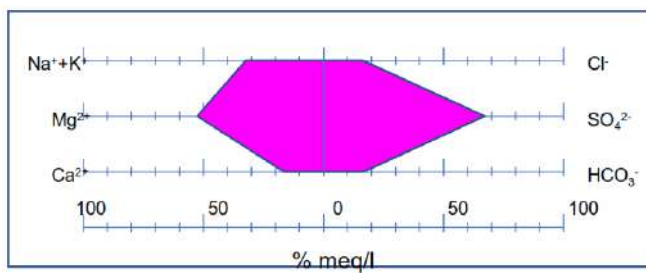
	mg/l	meq/l	%
Cl	20,327	0,57	6,01
SO₄	28,827	0,60	6,29
HCO₃	510,11	8,36	87,69



	mg/l	meq/l	%
Na+K	68,25	2,94	68,15
Mg	9,275	0,76	17,68
Ca	13,03	0,65	15,06

Diagrama de Stiff grupo 4

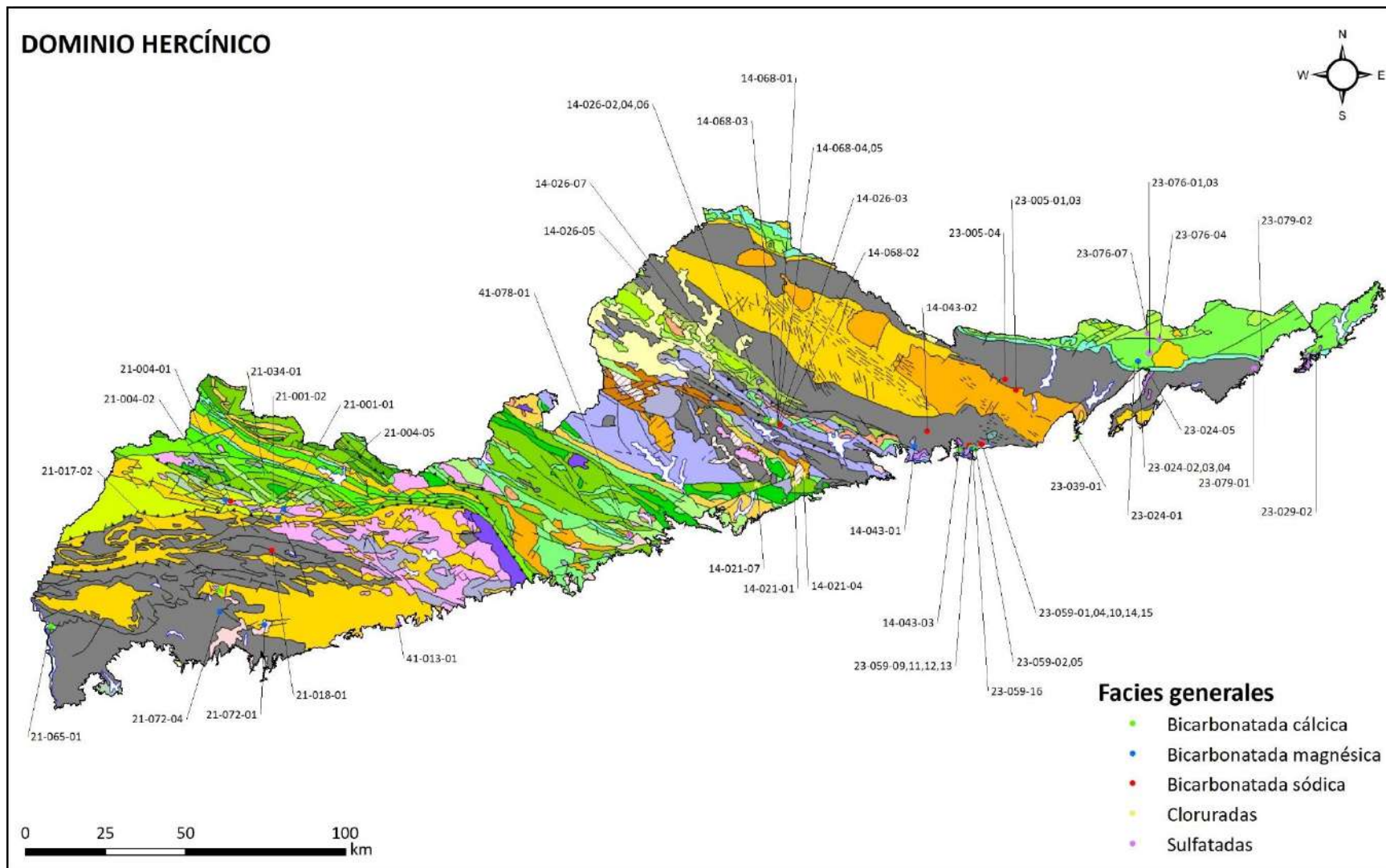
	mg/l	meq/l	%
Cl	82,65	2,33	57,18
SO₄	20,075	0,42	10,25
HCO₃	81,025	1,33	32,57



	mg/l	meq/l	%
Na+K	62,19	2,63	32,42
Mg	51,76	4,26	52,50
Ca	26,69	1,33	16,42

	mg/l	meq/l	%
Cl	48,65	1,37	16,36
SO₄	270,25	5,63	67,07
HCO₃	84,825	1,39	16,57

Diagrama de Stiff grupo 5



Facies hidroquímicas dentro del Dominio Hercínico sobre Mapa Geológico a escala 1M elaborado por el IGME.

2.3 Dominio de las Depresiones Terciarias de Andalucía

La gran superficie del Dominio de las Depresiones Terciarias de Andalucía posibilita encontrar en él las cinco facies hidroquímicas definidas sin una facies hidroquímica que destaque sobre el resto, sin embargo, predominan las facies cloruradas y sulfatadas, seguidas de bicarbonatada cálcica.

FACIES HIDROQUÍMICAS DE LAS CAPTACIONES DEL DOMINIO DEPRESIONES TERCIARIAS DE ANDALUCIA			
Grupo	Facies Hidroquímica	Nº Captaciones	%
1	Bicarbonatada Sódica	4	4,94
2	Bicarbonatada Cálcica	17	20,99
3	Bicarbonatada Magnésica	8	9,88
4	Cloruradas	23	28,40
5	Sulfatadas	24	29,63
	Sin Facies	5	6,17

Para este Dominio se ha elaborado el diagrama de Piper y el mapa donde se recoge la posición de las captaciones, asociados a la facies hidroquímica de sus aguas y a la litología sobre la que se localiza.

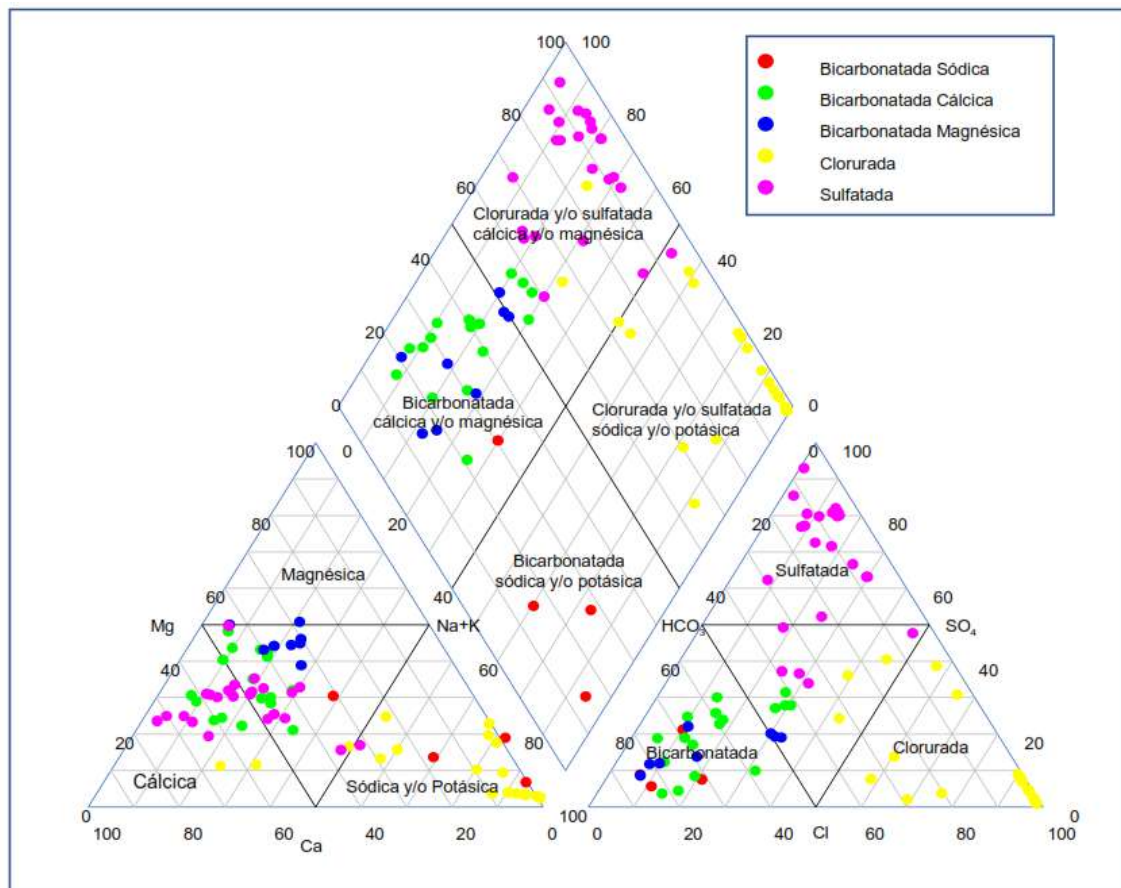
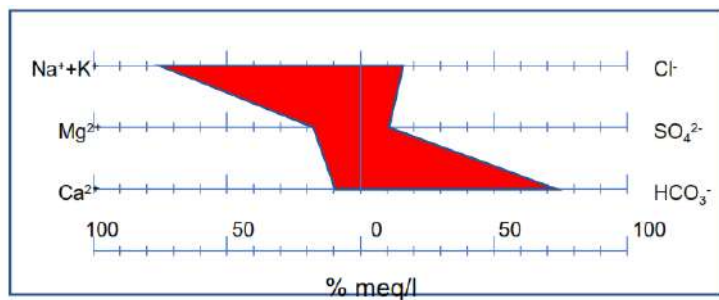


Diagrama de Piper correspondiente al Dominio Depresión Terciaria de Andalucía.

Los valores medios de los aniones y cationes de cada grupo se muestran en la siguiente tabla, junto con la Facies Hidroquímica que los caracterizan. Siendo los aniones mayoritarios los cloruros, los sulfatos y por último los bicarbonatos. En cuanto a los cationes de mayor a menor tenemos el calcio, sodio, magnesio y por último el potasio.

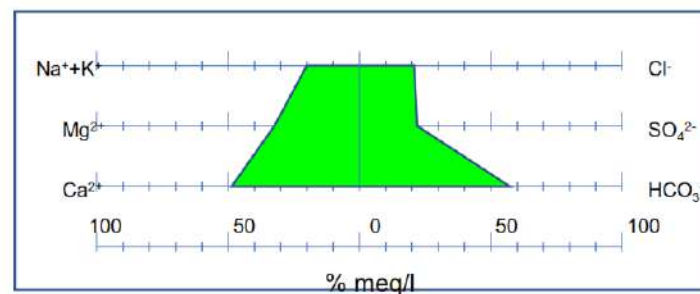
VALORES MEDIOS POR GRUPOS										
Grupo	Cloruros mg/l	Sulfatos mg/l	Bicarbonatos mg/l	Carbonatos mg/l	Nitratos mg/l	Sodio mg/l	Magnesio mg/l	Calcio mg/l	Potasio mg/l	Facies
1	87,00	78,75	685,25	0,00	21,00	269,75	34,25	30,25	12,48	Bicarbonatada Sódica
2	48,51	69,22	229,51	0,00	27,30	30,74	27,71	68,54	2,71	Bicarbonatada Cálcico- magnésica
3	66,25	71,00	262,63	0,00	11,69	36,88	41,00	57,00	2,88	Bicarbonatada Magnésico- cálcica
4	63.562,52	3.674,68	161,33	0,00	36,47	40.719,19	745,44	1.001,18	229,04	Clorurada Sódica
5	230,96	1.246,46	186,88	0,00	3,36	164,46	114,58	385,24	9,79	Sulfatada Cálcica

A continuación, se muestra la representación gráfica en diagrama de Stiff de los valores medios de cada grupo y las tablas con los valores de meq/l.



	mg/l	meq/l	%
Na+K	282,23	12,05	75,05
Mg	34,25	2,82	17,54
Ca	30,25	1,51	9,40

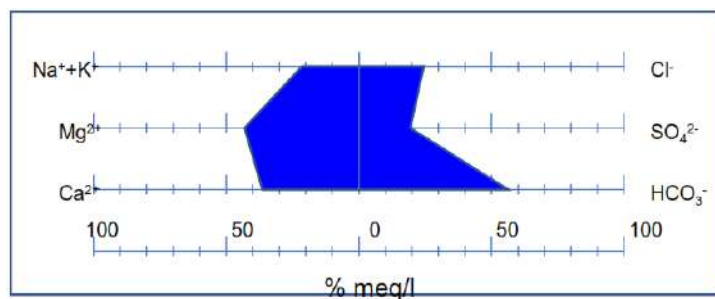
Diagrama de Stiff grupo 1



	mg/l	meq/l	%
Na+K	33,45	1,41	19,99
Mg	27,71	2,28	32,39
Ca	68,54	3,42	48,60

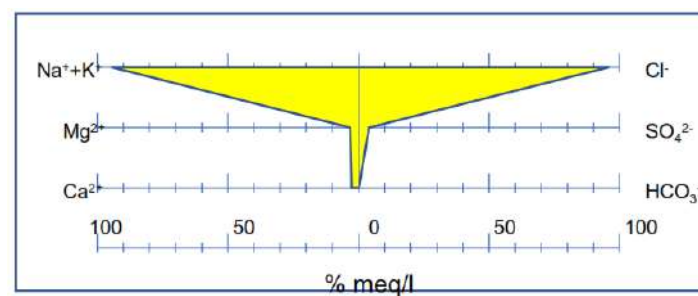
Diagrama de Stiff grupo 2

	mg/l	meq/l	%
Cl	48,51	1,37	20,82
SO4	69,22	1,44	21,93
HCO3	229,51	3,76	57,25



	mg/l	meq/l	%
Na+K	39,75	1,68	21,45
Mg	41,00	3,37	43,12
Ca	57,00	2,84	36,37

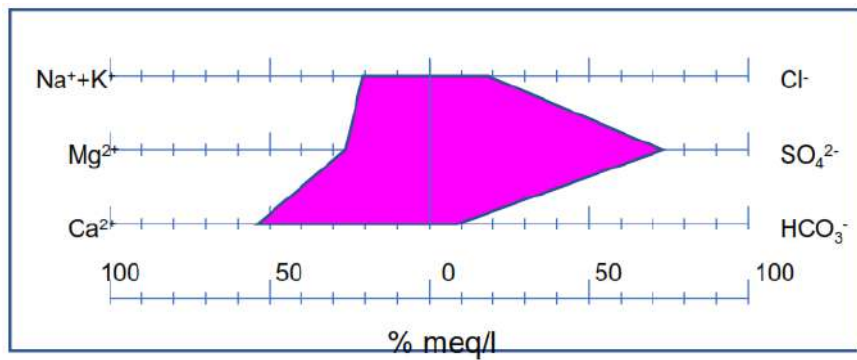
Diagrama de Stiff grupo 3



	mg/l	meq/l	%
Na+K	40948,23	1777,14	94,40
Mg	745,44	61,32	3,26
Ca	1001,18	49,96	2,65

Diagrama de Stiff grupo 4

	mg/l	meq/l	%
Cl	63562,52	1793,10	95,77
SO4	3674,68	76,51	4,09
HCO3	161,33	2,64	0,14

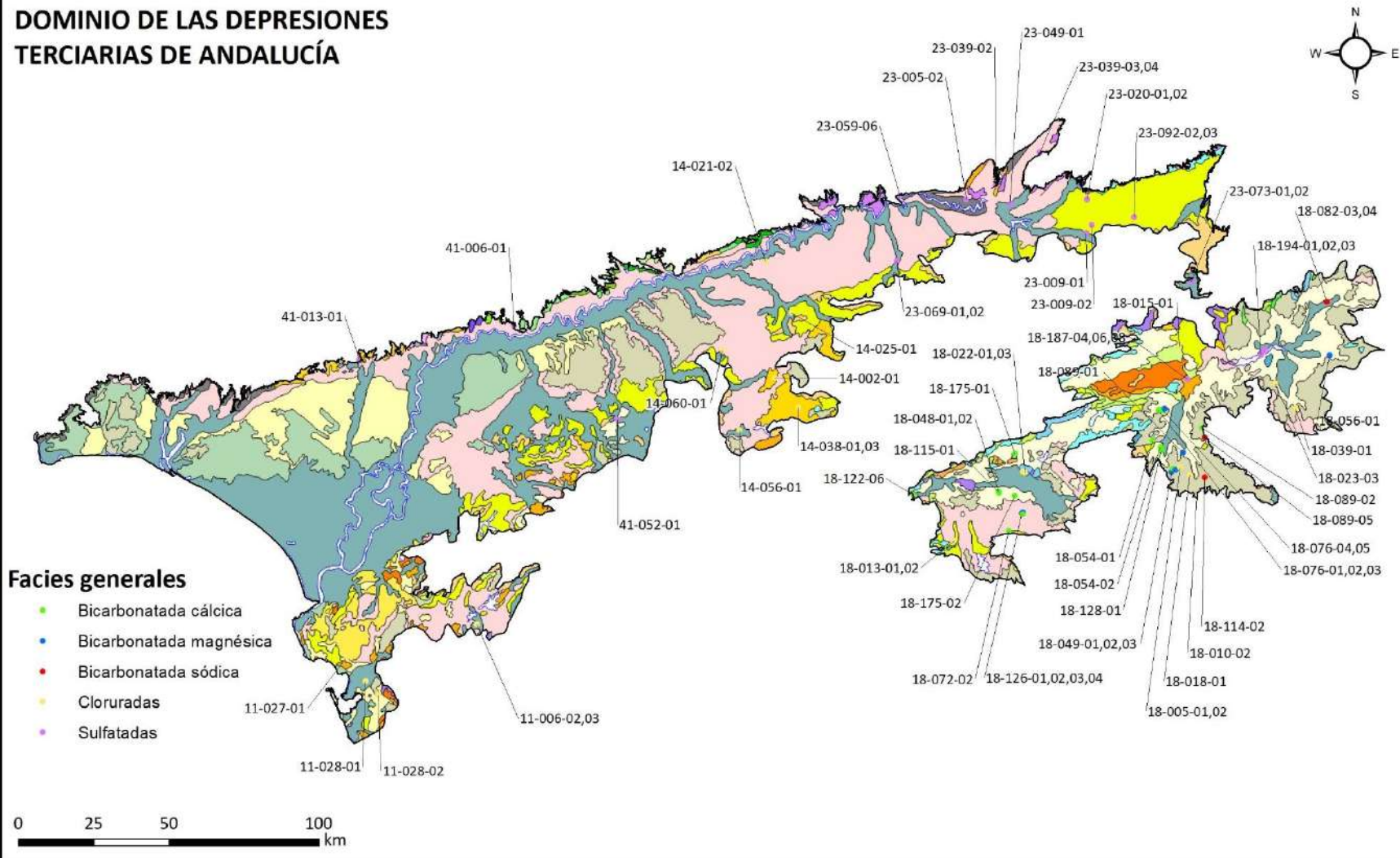


	mg/l	meq/l	%
Na+K	174,25	7,40	20,68
Mg	114,58	9,43	26,33
Ca	385,24	19,22	53,69

	mg/l	meq/l	%
Cl	230,96	6,52	18,34
SO₄	1246,46	25,95	73,04
HCO₃	186,88	3,06	8,62

Diagrama de Stiff grupo 5

DOMINIO DE LAS DEPRESIONES TERCIARIAS DE ANDALUCÍA



Facies hidroquímicas dentro del Dominio de las Depresiones Terciarias de Andalucía sobre Mapa Geológico a escala 1M elaborado por el IGME.

2.4 Dominio de la Cordillera Subbética Oriental

El Dominio de la Cordillera Subbética Oriental está dominado por la facies Bicarbonatada Cálcica, que, pese a la gran variedad de litologías encontradas en el dominio, cabe destacar las extensas formaciones carbonatadas del Mesozoico y Terciario que lo posibilitan. No acabo de entender este párrafo..., paso a rehacerlo con lo que entiendo...

En el Dominio de la Cordillera Subbética Oriental sobresale la facies Bicarbonatada Cálcica, reflejo de las extensas formaciones carbonatadas del Mesozoico y Cenozoico; pese a existir gran variedad de litologías en este Dominio, estas no influyen en la diversificación de las facies.

FACIES HIDROQUÍMICAS DE LAS CAPTACIONES DEL DOMINIO CORDILLERA SUBBETICA ORIENTAL			
Grupo	Facies Hidroquímica	Nº Captaciones	%
2	Bicarbonatada Cálcica	13	68,42
3	Bicarbonatada Magnésica	2	10,53
4	Cloruradas	1	5,26
	Sin Facies	3	15,79

En el siguiente diagrama de Piper se han representado las captaciones de este dominio, donde es muy notoria su caracterización como Bicarbonatada Cálcica, casi en su totalidad.

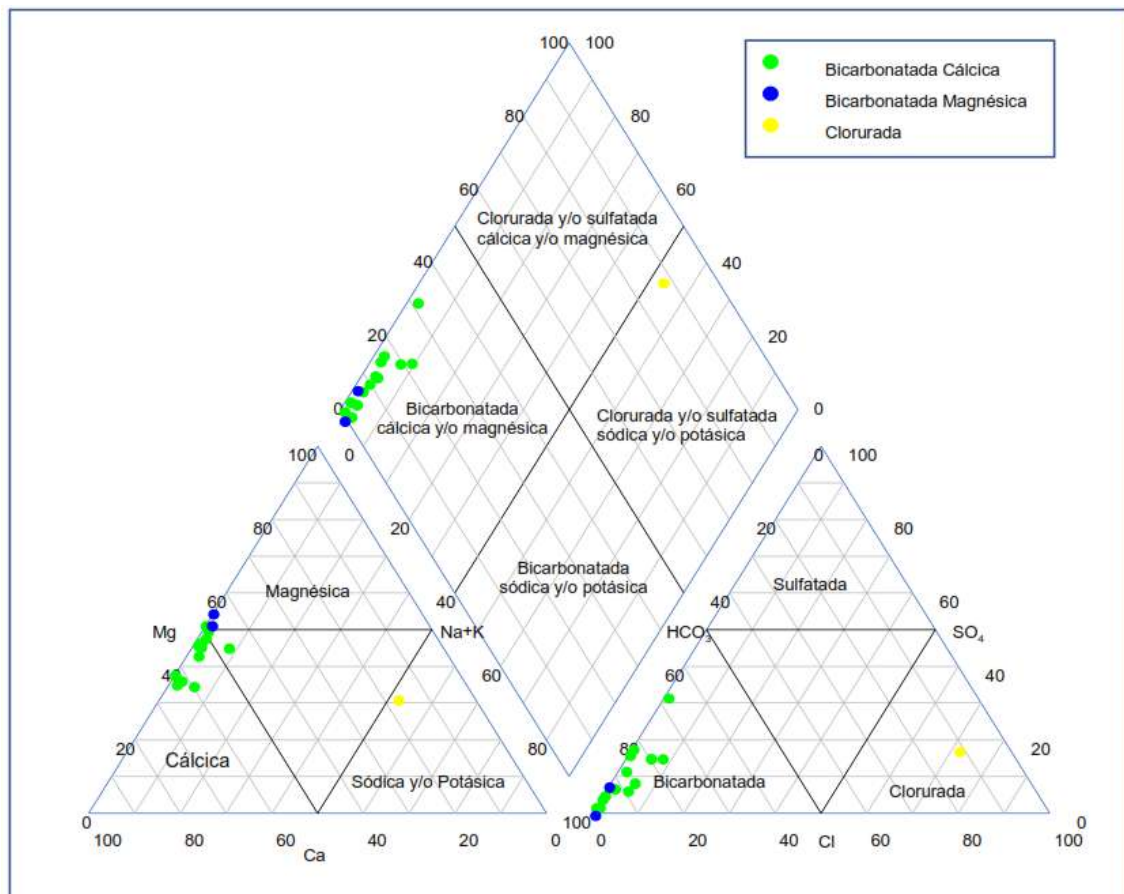
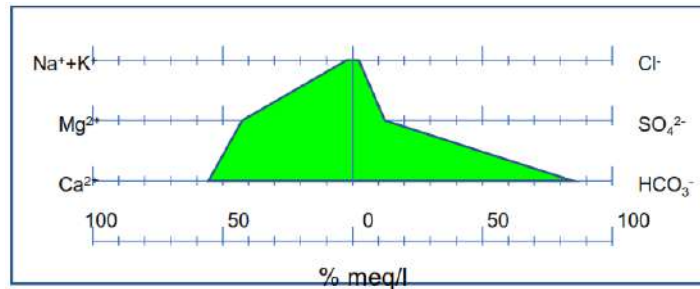


Diagrama de Piper correspondiente al Dominio de la Cordillera Subbética Oriental.

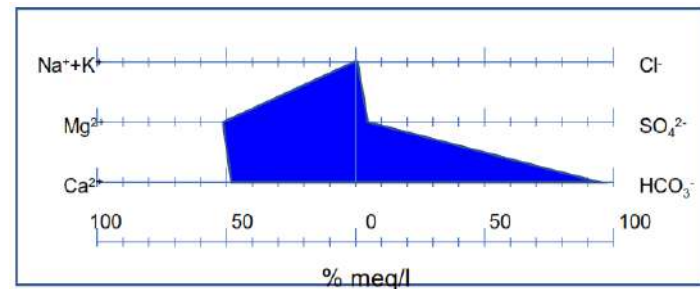
En la siguiente tabla se muestran los valores medios de los aniones y cationes mayoritarios, para los tres grupos presentes en el dominio, junto con la Facies Hidroquímica que los caracterizan. Siendo los aniones mayoritarios los bicarbonatos, seguidos de los cloruros y por último los sulfatos. En cuanto a los cationes de mayor a menor tenemos el calcio, magnesio, el sodio y por último el potasio.

VALORES MEDIOS POR GRUPOS										
Grupo	Cloruros	Sulfatos	Bicarbonatos	Carbonatos	Nitratos	Sodio	Magnesio	Calcio	Potasio	Facies
2	5,36	36,95	318,35	0,33	4,15	2,98	32,75	70,35	0,49	Bicarbonatada Cálculo magnésica
3	1	11	268	1	0	1	28	44	0	Bicarbonatada Magnésico cálcica
4	1350	440	334	0	0	603	180	190	11	Clorurada Sódico magnésica



	mg/l	meq/l	%
Na+K	3,48	0,14	2,25
Mg	32,75	2,69	42,53
Ca	70,35	3,51	55,42

Diagrama de Stiff grupo 2

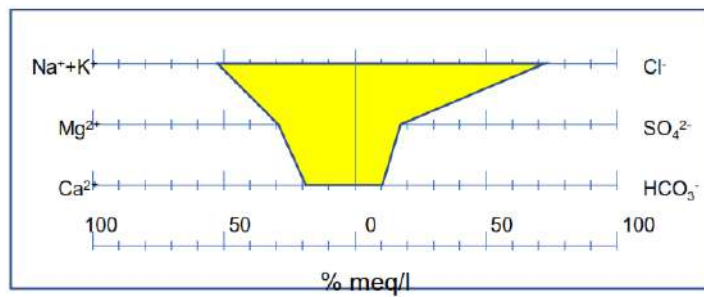


	mg/l	meq/l	%
Na+K	0,60	0,02	0,53
Mg	28,40	2,34	51,33
Ca	43,95	2,19	48,19

Diagrama de Stiff grupo 3

	mg/l	meq/l	%
Cl	5,36	0,15	2,46
SO ₄	36,95	0,77	12,53
HCO ₃	318,35	5,22	85,00

	mg/l	meq/l	%
Cl	1,30	0,04	0,79
SO ₄	10,50	0,22	4,70
HCO ₃	268,10	4,39	94,51

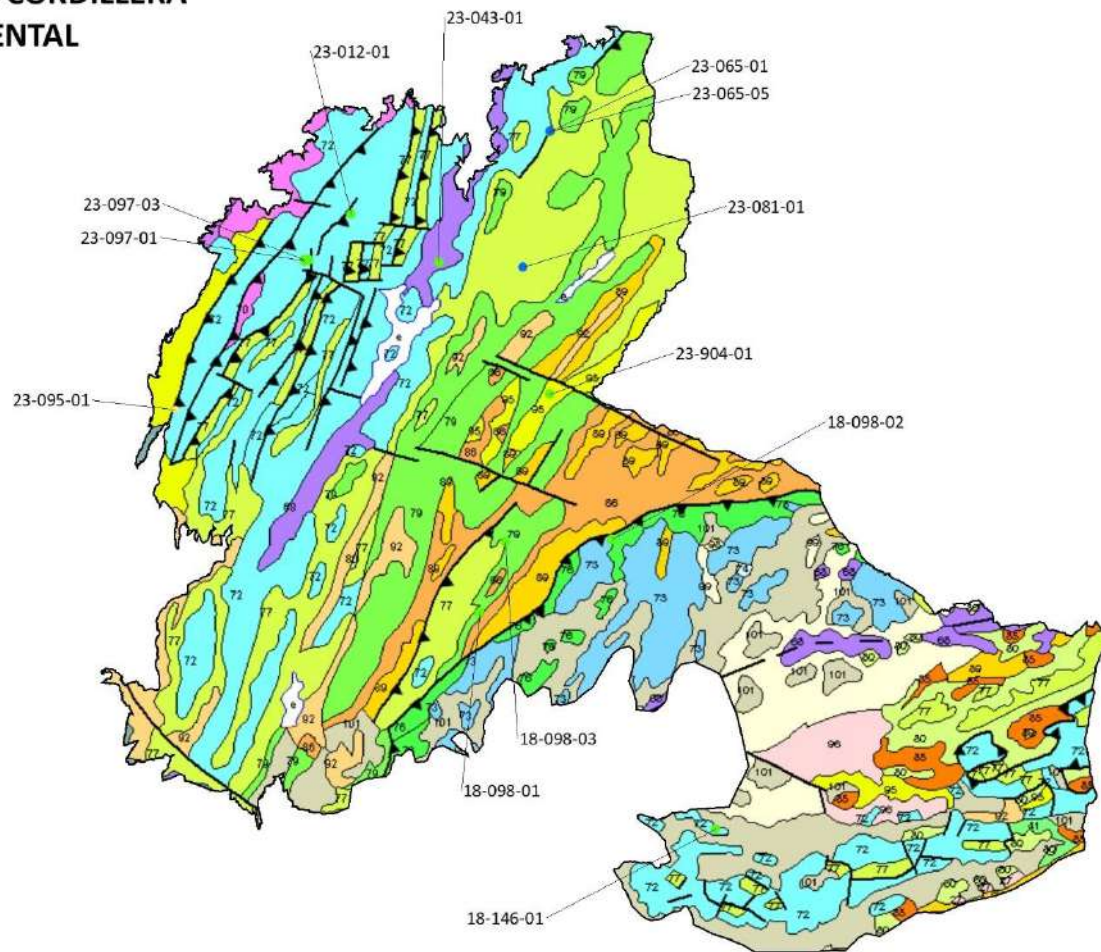


	mg/l	meq/l	%
Na+K	614,00	26,51	52,48
Mg	180,00	14,81	29,31
Ca	190,00	9,48	18,77

	mg/l	meq/l	%
Cl	1350,00	38,08	72,24
SO₄	440,00	9,16	17,38
HCO₃	334,00	5,47	10,38

Diagrama de Stiff grupo 4

DOMINIO DE LA CORDILLERA SUBBÉTICA ORIENTAL



Facies generales

Facie gñal

- Bicarbonatada cálcica
- Bicarbonatada magnésica
- Bicarbonatada sódica
- Cloruradas
- Sulfatadas

0 10 20 40 km

Facies hidroquímicas dentro del Dominio de la Cordillera Subbética Oriental sobre Mapa Geológico a escala 1M elaborado por el IGME.

2.5 Dominio de la Cordillera Subbética Occidental

El Dominio de la Cordillera Subbética Occidental presenta un claro dominio de facies cloruradas y bicarbonatadas cálcicas. Su gran extensión ofrece diversas litologías, no obstante, son predominantes las rocas sedimentarias de tipo calizas y yesos.

FACIES HIDROQUÍMICAS DE LAS CAPTACIONES DEL DOMINIO CORDILLERA SUBBETICA OCCIDENTAL			
Grupo	Facies Hidroquímica	Nº Captaciones	%
1	Bicarbonatada Sódica	5	4,20
2	Bicarbonatada Cálcica	36	30,25
3	Bicarbonatada Magnésica	1	0,84
4	Cloruradas	49	41,18
5	Sulfatadas	19	15,97
	Sin Facies	9	7,56

La siguiente figura muestra la representación de todas de las captaciones del Dominio de la Cordillera Subbética Occidental en el diagrama de Piper.

Se adjunta la localización de los puntos sobre el dominio y la litología sobre la que se asientan.

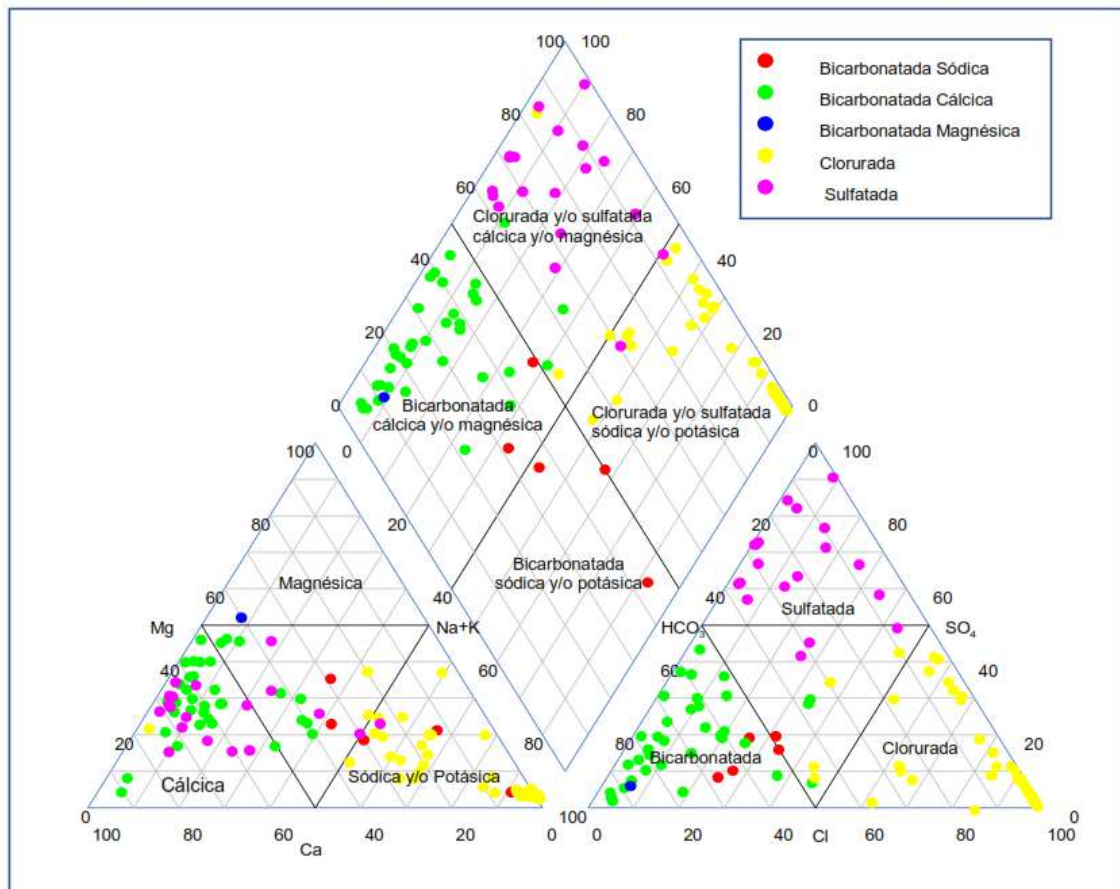
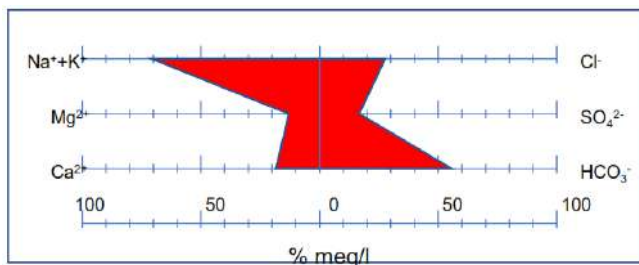


Diagrama de Piper correspondiente al Dominio de la Cordillera Subbética Occidental.

Los valores medios de los aniones y cationes mayoritarios de los grupos presentes en el Domino se muestran en la siguiente tabla, junto con la Facies Hidroquímica que los caracteriza. Los aniones mayoritarios en orden descendente son los cloruros, bicarbonatos y sulfatos, mientras que en el caso de los cationes calcio, sodio, magnesio y por último el potasio

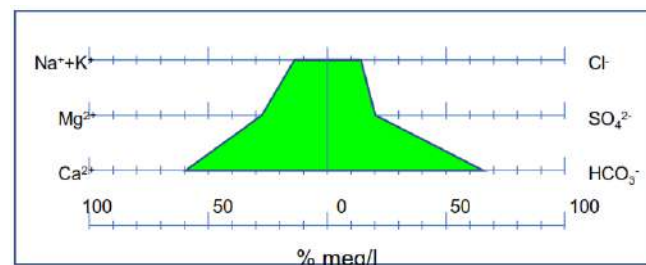
VALORES MEDIOS POR GRUPOS										
Grupo	Cloruros	Sulfatos	Bicarbonatos	Carbonatos	Nitratos	Sodio	Magnesio	Calcio	Potasio	Facies
1	54,8	45,22	190,66	0	4	87,82	8,7	20,56	4,22	Bicarbonatada Sódico-cálcica
2	27,66	53,26	218,8	1,89	8,38	17,11	18,85	67,45	1,41	Bicarbonatada Cálcica
3	10	14	230		15	7	27	37	1	Bicarbonatada Magnésico cálcica

A continuación, se representa mediante un diagrama de Stiff los valores medios de cada grupo.



	mg/l	meq/l	%
Na+K	92,04	3,93	70,63
Mg	8,70	0,72	12,87
Ca	20,56	1,03	18,45

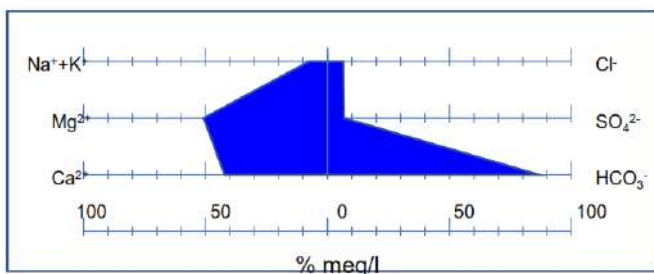
Diagrama de Stiff grupo 1



	mg/l	meq/l	%
Na+K	18,52	0,78	13,79
Mg	18,85	1,55	27,39
Ca	67,45	3,37	59,46

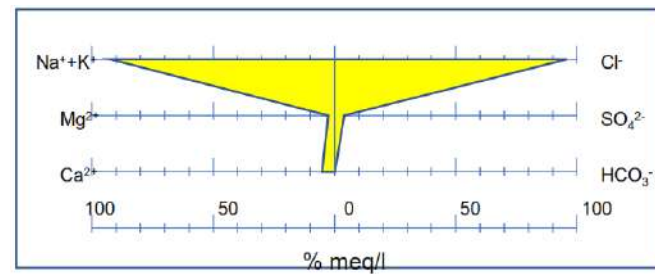
Diagrama de Stiff grupo 2

	mg/l	meq/l	%
Cl	27,66	0,78	14,25
SO₄	53,26	1,11	20,25
HCO₃	218,80	3,59	65,50



	mg/l	meq/l	%
Na+K	8,00	0,33	7,55
Mg	27,00	2,22	50,80
Ca	37,00	1,85	42,23

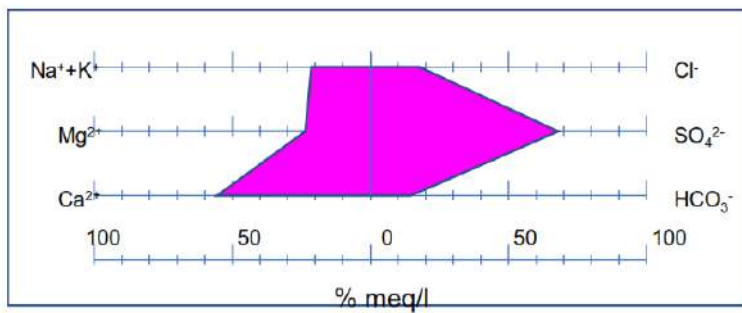
Diagrama de Stiff grupo 3



	mg/l	meq/l	%
Na+K	38.801,98	1.684,67	92,49
Mg	585,18	48,14	2,64
Ca	1.868,67	93,25	5,12

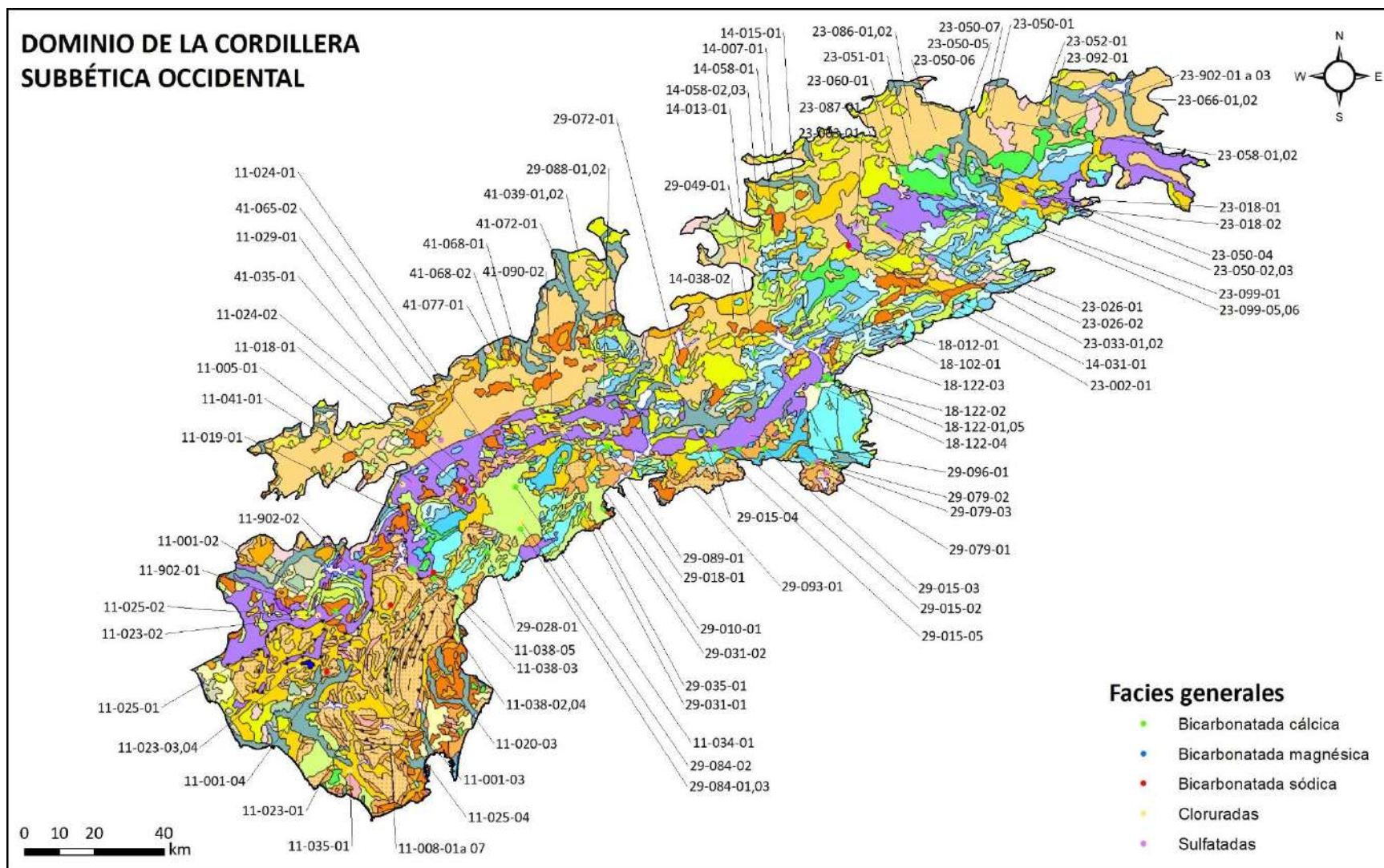
Diagrama de Stiff grupo 4

	mg/l	meq/l	%
Cl	60.076,82	1.694,77	95,91
SO₄	3.363,58	70,03	3,96
HCO₃	138,26	2,27	0,13



	mg/l	meq/l	%
Na+K	169,74	7,26	21,36
Mg	97,66	8,03	23,65
Ca	377,95	18,86	55,51

	mg/l	meq/l	%
Cl	208,69	5,89	17,66
SO₄	1086,66	22,62	67,85
HCO₃	294,88	4,83	14,49



Facies hidroquímicas dentro del Dominio de la Cordillera Subbética Occidental sobre Mapa Geológico a escala 1M elaborado por el IGME.

2.6 Dominio Mediterráneo Suboriental

El Dominio Mediterráneo Suboriental presenta un gran número de muestras y es por ello que, aunque la facies predominante sea bicarbonatada cálcica (34,93%), existe también un gran número de muestras de aguas bicarbonatadas magnésicas, cloruradas y sulfatadas. Este Dominio se extiende sobre la zona de la Cordillera Bética que fue sometida a mayor deformación, lo que implica un gran plegamiento y fracturación de las rocas que integran este Dominio. Las fracturas que acompañan esta deformación, favorecen la circulación en profundidad de las aguas, entrando en contacto con el material rocoso, principalmente metapelitas, carbonatados y, en menor medida, evaporitas.

FACIES HIDROQUÍMICAS DE LAS CAPTACIONES DEL DOMINIO MEDITERRANEO SUBORIENTAL			
Grupo	Facies Hidroquímica	Nº Captaciones	%
1	Bicarbonatada Sódica	12	5,74
2	Bicarbonatada Cálcica	73	34,93
3	Bicarbonatada Magnésica	41	19,62
4	Cloruradas	32	15,31
5	Sulfatadas	33	15,79
	Sin Facies	18	8,61

En el siguiente diagrama de Piper se han representado la totalidad de las muestras por grupo, mostrando una mayor concentración de Bicarbonatadas Cálcicas

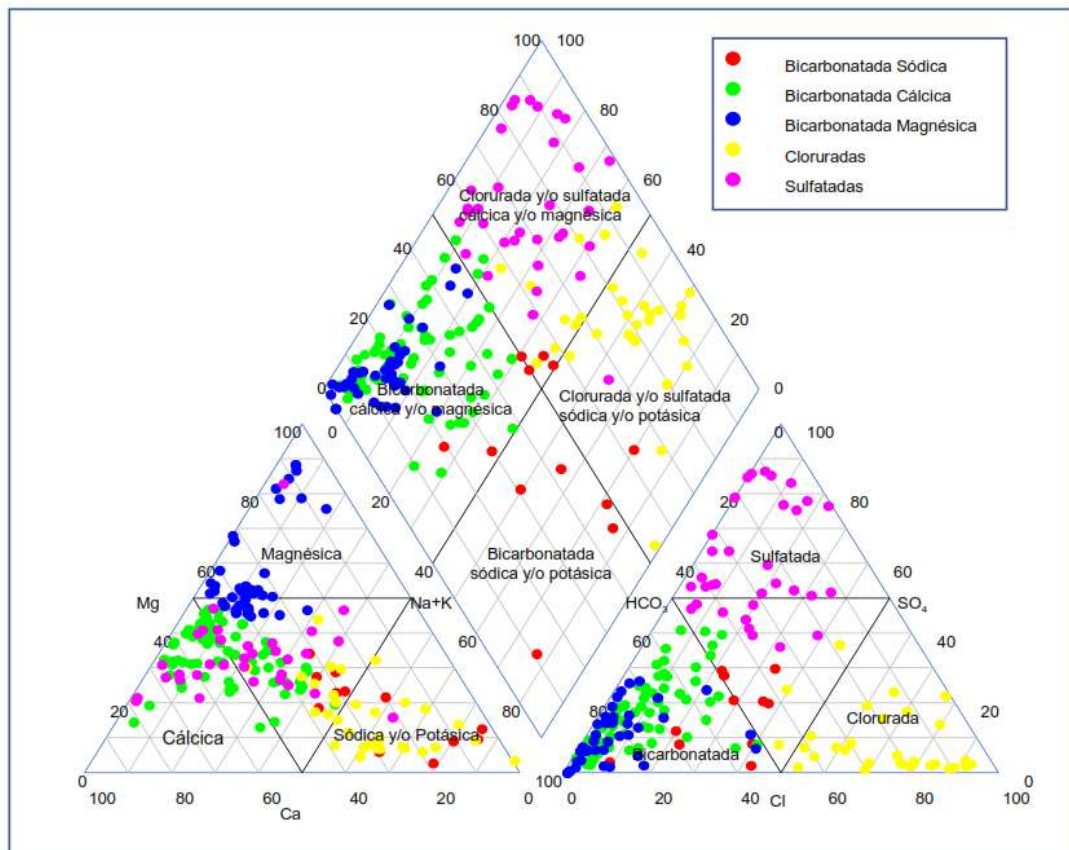
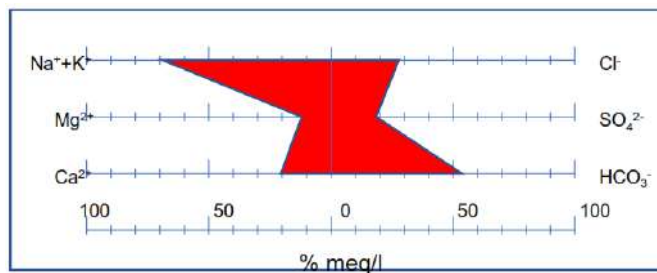


Diagrama de Piper correspondiente al Dominio Mediterráneo Suboriental.

Los valores medios de los aniones y cationes de cada grupo se muestran en la siguiente tabla, junto con la Facies Hidroquímica que los caracteriza. Siendo los aniones mayoritarios los bicarbonatos seguidos de los sulfatos y por último los cloruros. En cuanto a los cationes en orden descendente tenemos el calcio, sodio, magnesio y por último el potasio.

VALORES MEDIOS POR GRUPOS										
Grupo	Cloruros	Sulfatos	Bicarbonatos	Carbonatos	Nitratos	Sodio	Magnesio	Calcio	Potasio	Facies
1	105,78	95,68	351,83	8,81	3,06	170,19	15,96	44,86	5,04	Bicarbonatada clorurada Sódico-cálcica
2	30,38	62,74	337	0	12,21	33,2	28,08	83,85	2,91	Bicarbonatada Cálcico- magnésica
3	13,27	27,55	239,78	1,42	4,77	10,36	35,42	32,41	1,26	Bicarbonatada Magnésico cálcica
4	1.960,34	212,18	519,67	75,7	13,39	1.002,1	70,98	361,43	90,19	Clorurada Sódico-cálcica
5	135,14	803,46	308,82	0	1,81	140,22	85,73	261,26	6,79	Sulfatada Cálcico-magnésica

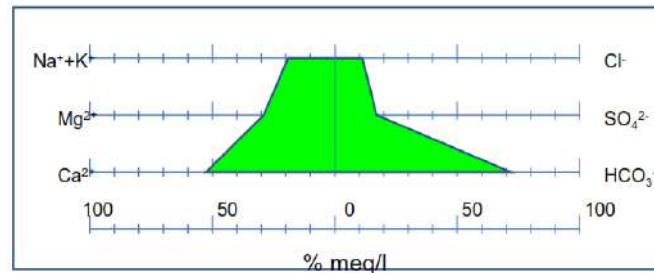
A continuación, se representa mediante un diagrama de Stiff los valores medios de cada grupo, junto con la tabla de los valores de meq/l.



	mg/l	meq/l	%
Na+K	175,23	7,53	68,76
Mg	15,96	1,31	11,98
Ca	44,86	2,24	20,43

Diagrama de Stiff grupo 1

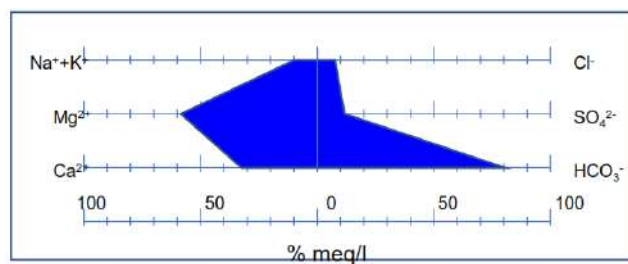
	mg/l	meq/l	%
Cl	105,78	2,98	27,78
SO₄	95,68	1,99	18,54
HCO₃	351,83	5,77	53,68



	mg/l	meq/l	%
Na+K	36,11	1,52	19,13
Mg	28,08	2,31	29,10
Ca	83,85	4,18	52,71

Diagrama de Stiff grupo 2

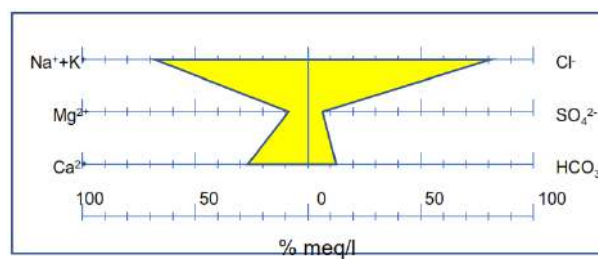
	mg/l	meq/l	%
Cl	30,38	0,86	11,15
SO₄	62,74	1,31	16,99
HCO₃	337,00	5,52	71,86



	mg/l	meq/l	%
Na+K	11,62	0,48	9,69
Mg	35,42	2,91	58,49
Ca	32,41	1,62	32,47

Diagrama de Stiff grupo 3

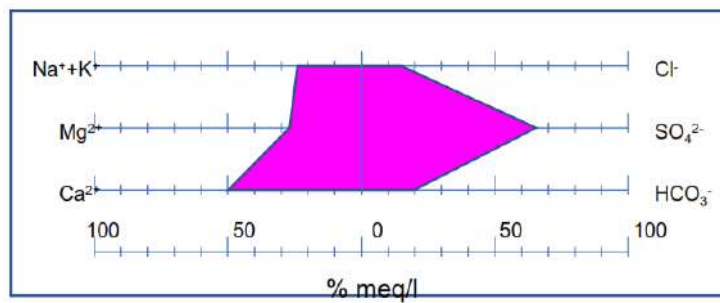
	mg/l	meq/l	%
Cl	13,27	0,37	7,67
SO₄	27,55	0,57	11,76
HCO₃	239,78	3,93	80,57



	mg/l	meq/l	%
Na+K	1092,29	45,90	68,03
Mg	70,98	5,84	8,65
Ca	361,43	18,04	26,73

Diagrama de Stiff grupo 4

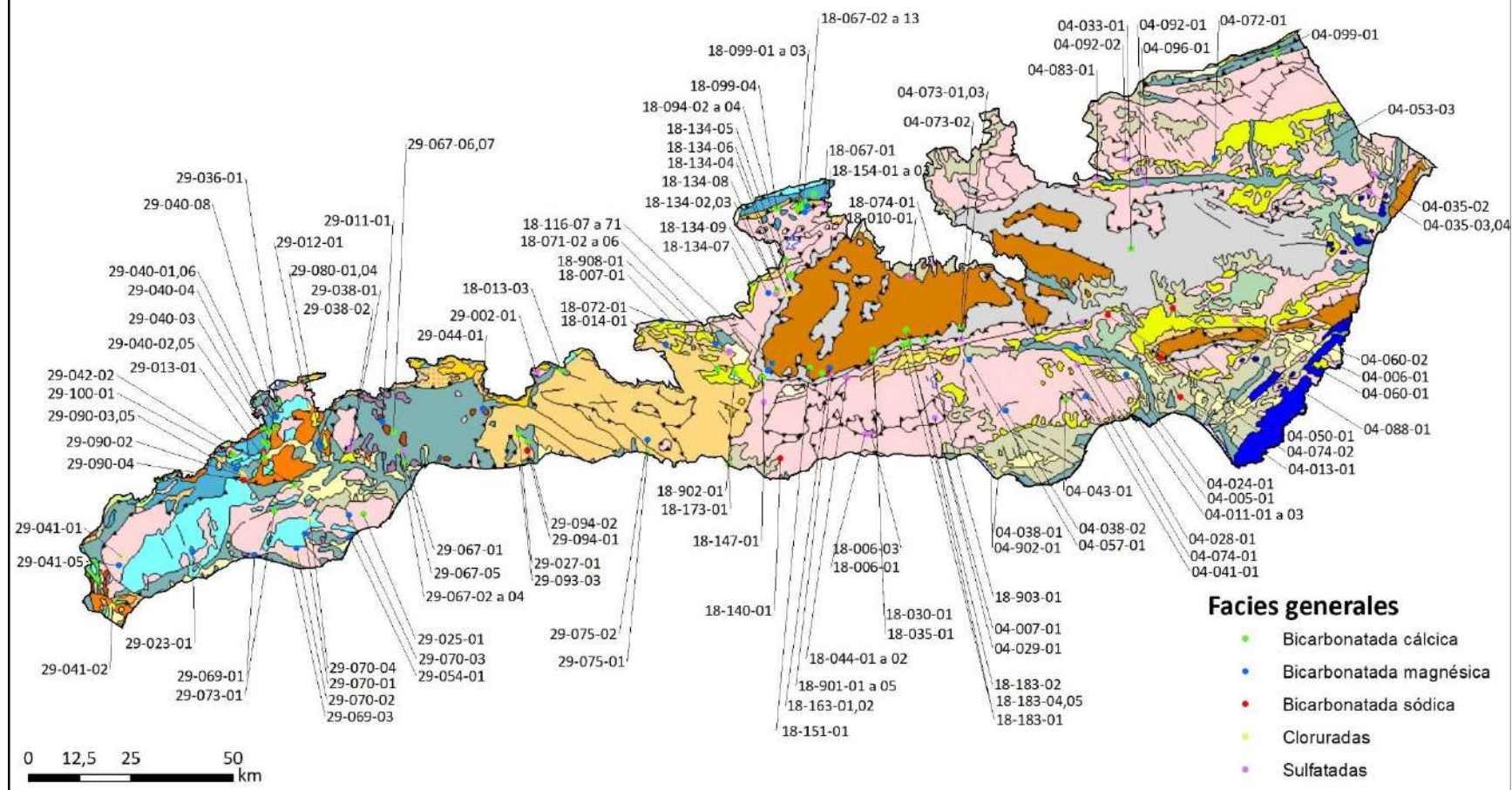
	mg/l	meq/l	%
Cl	1.960,34	55,30	81,04
SO₄	212,18	4,42	6,47
HCO₃	519,67	8,52	12,48



	mg/l	meq/l	%
Na+K	147,00	6,27	23,95
Mg	85,73	7,05	26,93
Ca	261,26	13,04	49,78

	mg/l	meq/l	%
Cl	135,14	3,81	14,89
SO₄	803,46	16,73	65,34
HCO₃	308,82	5,06	19,77

Diagrama de Stiff grupo 5



Facies hidroquímicas dentro del Dominio Mediterráneo Suboriental sobre Mapa Geológico a escala 1M elaborado por el IGME.

DETERMINACION DE POTENCIALES CAPTACIONES HIDROTERMALES PARA DESARROLLOS INDUSTRIALES

Con el propósito de contribuir al desarrollo económico y al tejido empresarial, serán definidas captaciones susceptibles de generar futuros desarrollos empresariales como plantas de envasado o balnearios.

De las 489 captaciones de partida, se procedió a un cribado reduciéndose a un total 41 puntos. Este gran filtrado se basó en la acción conjunta de diferentes criterios de ponderación, tales como análisis fisicoquímicos, características de las captaciones y ubicación de las mismas. El análisis de estos tres criterios se aplicó para el total de las captaciones con análisis hidroquímicos, a fin de servir de apoyo al primer filtrado.

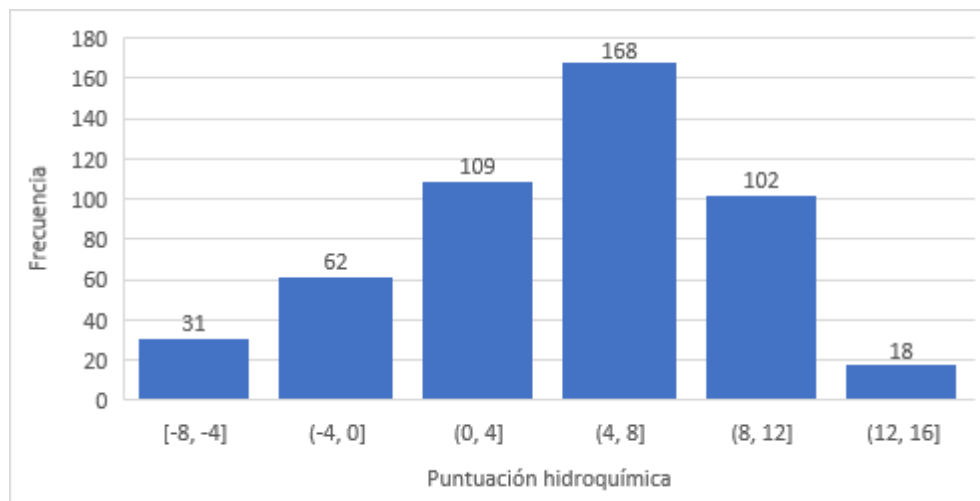
Ponderación hidroquímica

La ponderación hidroquímica se realizó de acuerdo con los niveles paramétricos determinados en el *Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano*.

Todos aquellos factores menores o iguales al umbral de referencia legislado adquieren una ponderación **+1**, mientras que los que lo rebasan se puntúan con **-1**. A excepción de la temperatura, en el que se adoptan los siguientes rangos de puntuación:

PONDERACIÓN DE LA TEMPERATURA		
INTERVALOS DE TEMPERATURA (°C)	CLASIFICACIÓN	PUNTUACIÓN
>28	Favorable	3
28-19	Dentro de valores paramétricos pero no deseables en determinados niveles	2
19-12	Dentro de valores paramétricos pero no deseables en determinados niveles	1
<12	Desfavorable	0

El resultado de la ponderación hidroquímica otorgó valores desde -8 a 16. Se muestra en el siguiente gráfico el histograma de los resultados obtenidos de la ponderación hidroquímica. Aquellas muestras cuya valoración fue negativa fueron descartadas, se precia que la mayoría de los puntos presentan una ponderación hidroquímica positiva y que se destacan 18 casos con la máxima puntuación.



Histograma de los resultados de los criterios de ponderación

Ponderación de la captación, caudales y acuífero

Para este análisis se tuvieron en consideración las características de la captación y el acuífero. Se valoraron los aspectos de profundidad y caudal para sondeos, y el dato de caudal para los manantiales. Así mismo, se tuvo en cuenta el uso y/o estado actual de la captación.

Seguidamente, se ordenaron las captaciones en base a los resultados obtenidos en la ponderación hidroquímica, y se establecieron unos rangos de profundidad para sondeos y caudales para manantiales, para proceder a su puntuación (ver tabla adjunta). No obstante, para aquellos puntos carentes de datos de profundidad y/o caudal, a fin de evitar verse penalizados, se tuvieron en consideración sus antecedentes y el resultado obtenido en la puntuación hidroquímica.

El estudio del acuífero se basó en el análisis, mediante metodología GIS, de la masa de agua subterránea sobre la que se ubicaba el punto y del estado de la misma, consultándose los Planes Hidrológicos de la cuenca en su versión más actualizada.

Se incluye a continuación la tabla de ponderaciones de esta fase del estudio.

PONDERACIÓN DE LA CAPTACIÓN, CAUDALES Y ACUÍFERO			
Parámetro		Criterio	Puntuación
Sondeos y pozos	Profundidad (m)	>100	3
		50-100	2
		0-50	1
		Sin dato	No pondera
	Caudal (L/s)	>10	Caudal /5
		<10	-1
		Sin dato	No pondera
Manantiales	Caudal (L/s)	>10	Caudal /5
		<10	-1
		Sin dato	No pondera
Masas de agua subterránea	Estado final de la masa	Bueno	3
		Malo	0
	Valor de análisis del NO ₃ ⁻	<50	0
		>50	-1
	Zona Vulnerable a Nitratos	No	0
		Si	-1

Los resultados obtenidos demuestran que tan sólo el 10% de los 489 puntos de agua estudiados obtuvo una puntuación negativa, presentando valores positivos el 59% de la muestra, con un valor promedio de puntuación de 4,5.

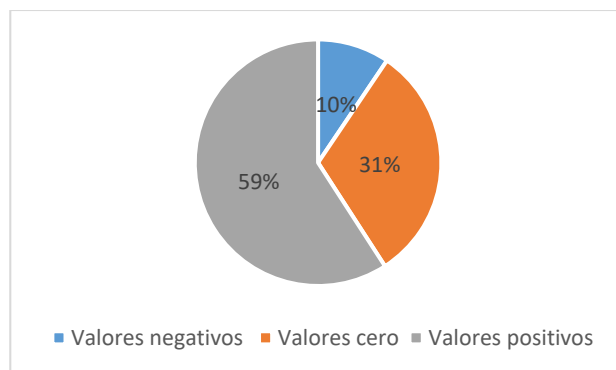


Gráfico circular de los resultados de los criterios de ponderación de captaciones y acuíferos.

Localización, accesos, paraje, valores ambientales y del entorno

Se realizó un análisis de la ubicación de las captaciones, con respecto a zonas protegidas, lo que conlleva al estudio de los valores ambientales y al conocimiento de la vegetación del entorno de la captación. Además, se estudió el valor paisajístico de los emplazamientos por medio de reconocimiento visual virtual.

Respecto de la accesibilidad a los puntos de agua, se estudió la distancia a las vías de comunicación principales.

Se recoge en la siguiente tabla la puntuación otorgada para cada uno de los parámetros.

PONDERACIÓN LOCALIZACIÓN, ACCESOS, PARAJES, VALORES AMBIENTALES Y DEL ENTORNO.			
Parámetro		Criterio	Puntuación
Acceso	Vías de comunicación principales	0-5 km	3
		5-15 km	2
		15-20 km	1
		>20 km	0
Valores ambientales y paisajísticos	Enclave paisajístico de elevado interés		5
	Incluido en espacio protegido		3
	Valor ambiental escaso		1

Criterio de experto

Dado que el proceso de puntuación, por su carácter semiautomático, puede dejar escapar algún punto de interés y, al contrario, no filtrar otros, todo el proceso de puntuación ha estado revisado y validado por lo que se ha denominado “criterio de especialista” para suplir el análisis por escasez de información aportada de las captaciones y otros aspectos. El criterio de especialista revisó la información de etapas anteriores, la validó, y con esta información procedió a la verificación de la idoneidad de los puntos seleccionados a partir de las puntuaciones anteriores.

Los criterios de especialista aplicados se fundamentaron en la hidrogeoquímica de la captación, contexto geológico del emplazamiento y las características de la misma.

- Características de la captación en cuanto a profundidad y caudal.
- Contexto geológico del emplazamiento y formaciones geológicas de interés.
- Anomalías geotérmicas.
- Puntuación del análisis hidroquímico.

- Otros detalles de carácter profesional: uso activo, zonas ambientales protegidas, proximidad a vías de comunicación principales, parajes naturales, etc.

Como resultado de todo el proceso anterior, incluyendo la revisión de experto, se ha llegado a una tabla de selección de emplazamientos de 41 captaciones. Han quedado valorados cada uno de los puntos de la base de 489 registros, siendo posible conocer la puntuación obtenida para cada uno de ellos.

Evaluación multicriterio

Por último, se realizó una evaluación multicriterio discriminada, de los 41 puntos seleccionados en el criterio de experto, con la finalidad de seleccionar **6 puntos para el emplazamiento de balneario** y **6 puntos para el emplazamiento de plantas de envasado**. Dado que las características a valorar en un balneario y en una planta de envasado son diferentes, la evaluación multicriterio se ha realizado por separado.

Balnearios

La ecuación de la evaluación multicriterio para el emplazamiento de balnearios se corresponde con la siguiente expresión:

$$E.M.C \text{ (Balnearios)} = (T + AG) + M + CH + P + B$$

- La **temperatura (T)** se considera un factor clave para buscar el emplazamiento idóneo de un balneario, no solo desde el punto de vista de eficiencia energética, sino porque se ha demostrado que temperaturas de moderadas a altas en usos termales tienen múltiples beneficios, ya no sólo a nivel cutáneo, sino también a nivel metabólico, circulatorio y digestivo (Balnearios de Cantabria, 2021). Los intervalos de temperatura y la ponderación otorgada a cada uno de ellos son recogidos en la siguiente tabla, además de la identificación de situación sobre **anomalías geotérmicas (AG)**.

VARIABLE TÉRMICA		
Temperatura del análisis	>28 °C	3
	19-28 °C	2
	12-19 °C	1
	<12 °C	0
Anomalías geotérmicas	Hipertermalismo	2
	Mesotermalismo	1

- El éxito de la balneoterapia radica en el uso de aguas mineromedicinales como agentes terapéuticos con propiedades derivadas de su riqueza de minerales. En general el agua mineral que emplean los balnearios es de mineralización muy fuerte, lo que potencia su carácter medicinal (IGME , 2021). Es por ello que la **mineralización (M)** de las aguas se ha tenido en cuenta en la selección de los emplazamientos para balnerarios.

MINERALIZACIÓN		
Mineralización	Fuerte	2
	Media	1

- Las aguas minerales con presencia de un ion predominante son utilizadas en tratamientos terapéuticos de balneoterapia, como ocurre con las aguas silicatadas, fluoradas, ferruginosas, etc. Por ello es importante tener en cuenta los **componentes hidrominerales (CH)** en la elección de los puntos de agua óptimos para balnearios.

-El silicio es el tercer oligoelemento más abundante del cuerpo humano, asociado a la formación ósea y de colágenos. Su importancia en el uso en balneoterapia radica en que ayuda en la firmeza y elasticidad de los tejidos del cuerpo y su presencia en el sulfato de condroitina, que mantiene la integridad de los huesos y cartílagos, permite que este oligoelemento ejerza un papel antiinflamatorio en las enfermedades articulares (Julve, 2020).

-Las aguas ferruginosas, ricas en hierro bivalente, fomentan la producción de glóbulos rojos o eritropoyesis, además, convierten las enzimas oxidantes e antianémicas y reconstituyentes (Meijide-Faílde, 2017).

-Las aguas ricas en flúor presentan acciones beneficiosas sobre la estructura ósea, especialmente sobre la conservación y formación de la dentadura, y es preventivo en problemas de osteoporosis (Meijide-Faílde, 2017).

COMPONENTES HIDROTERMALES		
	Intervalo	Ponderación
Sílice (mg/L)	>70	3
	30-70	2
	1-30	1
	<1	0
Hierro (µg/L)	>1000	3
	500-1000	2

Flúor	200-500	1
	<200	0
	>15	3
	10-15	2
	5-10	1
	<5	0

- La ubicación de los balnearios sobre lugares con **alto valor natural o paisajístico (P)**, incrementa su atractivo turístico.

PARAJES NATURALES Y ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS		
Parajes Naturales y Espacios Naturales Protegidos	Si	3
	No	0

- Se ha valorado, así mismo, la presencia de **restos de balnearios antiguos (B)**.

RESTOS DE BALNEARIOS ANTIGUOS		
Restos de balnearios Antiguos	Si	3
	No	0

Plantas de envasado

La ecuación de la evaluación multicriterio para el emplazamiento de planta de envasado de aguas se corresponde con la siguiente expresión:

$$E.M.C \text{ (Envasado)} = RD \text{ (M + VC + NP)}$$

- Las aguas de mineralización débil o muy débil poseen propiedades diuréticas, es decir, su bajo contenido mineral permite que el agua actúe como herramienta de arrastre en el sistema renal, consiguiendo una diuresis superior a la dosis de agua ingerida (Maraver, 2015). Es por ello que para aguas envasadas se ha tenido en cuenta el grado de **mineralización (M)**.

MINERALIZACIÓN		
Mineralización	Muy débil	2
	Débil	1

- Los valores paramétricos establecidos en el anexo IV del **Real Decreto 1798/2003**, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano (**RD**), definen la aptitud del agua para consumo humano.

De acuerdo con el articulado 7 del RD 1798/2003, se permiten los siguientes procesos:

- Se permite la *separación de elementos naturales inestables*, tales como los compuestos de azufre y hierro, por *filtración o decantación*, precedida, en su caso, de oxigenación, siempre que no modifiquen la composición de aquellos constituyentes del agua que le confieren sus propiedades esenciales
- Se permite la *separación de los compuestos de hierro, manganeso y azufre*, así como el *arsénico*, en determinadas aguas minerales naturales y de manantial por *aire enriquecido con ozono*, a condición de que no se altere la composición del agua en lo que respecta a aquellos componentes que confieren a ésta sus propiedades esenciales y siempre que el operador adopte todas las medidas necesarias para garantizar su eficacia e inocuidad y sea notificado para permitir su control por las autoridades sanitarias competentes.

Por lo tanto, se establece que, si los componentes con valores que superen el nivel paramétrico pueden ser separados por las técnicas previamente mencionadas, se otorga la máxima puntuación para este criterio. Se entiende que el agua postratamiento cumplirá con los objetivos de potabilidad.

Aquellas aguas que, por el contrario, no puedan cumplir con los criterios de potabilidad, reciben una puntuación igual a cero, anulando así la capacidad de esas aguas de servir como aguas potables.

Se resumen estos criterios en la siguiente tabla.

CUMPLIMIENTO DE CRITERIOS DE POTABILIDAD PARA AGUAS ENVASADAS RD 1798/2010	
Aptitud de las aguas	Ponderación
Se ajusta a todos los niveles paramétricos establecidos en el RD 1798/2010 con o sin los tratamientos de separación incluidos en el artículo 7	3
No cumple los niveles paramétricos	0

- Un proyecto como es el emplazamiento de una planta de envasado de agua debe tener en cuenta criterios de localización industrial, como es la **proximidad a vías de comunicación principal (VC)** a fin de minimizar los costos de transporte, y la **cercanía a núcleos de población de más de 5.000 habitantes (NP)** como recurso de capital humano.

LOCALIZACIÓN INDUSTRIAL		
Factor	Criterio	Ponderación
Vías de comunicación principales	0-5 km	3
	5-15 km	2
	15-20 km	1
	>20 km	0
Distancia a núcleos urbanos de más de 5.000 habitantes	0-5 km	3
	5-15 km	2
	15-20 km	1
	>20 km	0

CONCLUSIONES

En la actualidad, constituye una necesidad de la sociedad y de sus administraciones el tener inventariados sus recursos, así como la correcta caracterización de estos. De esta manera, en Andalucía, se ha procedido a la actualización del inventario de las aguas minerales y al muestreo y analítica de los puntos con el fin de contribuir a la caracterización hidroquímica en el ámbito de los dominios hidrogeológicos.

Con el objeto de valorizar las aguas minerales, se ha propuesto una metodología para la ponderación de las captaciones muestreadas, con el objetivo de valorar su potencialidad industrial. Como resultado de todo el proceso anteriormente expuesto, partiendo de una base de datos de 489 registros se obtiene una preselección de 41 captaciones. Tras la consideración de aspectos técnicos, se presenta un análisis de viabilidad para la explotación de cada uno de los emplazamientos seleccionados. Finalmente se establecerá un orden de favorabilidad para la puesta en explotación de estos recursos hidrominerales para el posible establecimiento de un desarrollo industrial de algunas de las captaciones, bien como balneario o como planta de envasado, y poder contribuir al desarrollo local a partir de este recurso hidromineral.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aller, A., Gómez, E., Martínez, O., Morán, A., 1996. Hidroquímica de las aguas minerales y mineromedicinales declaradas de utilidad pública en la provincia de León. *Tecnología del agua*, 152, 56-62.

Álvarez, A., Moreno, M., 1996. Las aguas minerales y minero-medicinales en Cuba. In J. R. Fagundo, D. Pérez Franco, J.M. García, A. Álvarez, I. Morell (eds). *Contribución a la hidrogeología y el medio ambiente en Cuba*. Castellón, España.

Armijo Valenzuela, M. y San Martín Bacaicoa, J. *Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia*. Ed. Complutense. (1994)

Back, W., Landa, E.R., Meeks, L., 1995. Bottled water, spas, and early years of water chemistry. *Ground Water*, 33(4).

Baeza, J., Fernández, J.A., García, C., 1987. Las aguas minerales, los recursos geotérmicos y las estructuras subterráneas ante la quiebra de la unidad administrativa del subsuelo. *Hidrogeología y recursos hidráulicos*. En IV Simposio de hidrogeología. ed. AIH España.

Baeza Rodríguez-Caro, J. y Fernández Sánchez, J.A. Instituto Tecnológico Geominero de España. *Aspectos Legales y Técnicos en la Protección de las Aguas Minerales*. (2000)

Baeza Rodríguez-Caro, J., Rubio Campos, J.C., Luque Espinar, J.A., López Geta, J.A., Peinado Parra, T., Reina Laso, J. y Dolores Haro, M. (2003): "Las aguas minerales, minero-medicinales y termales de la provincia de Jaén". Serie: *Hidrogeología y aguas subterráneas* Nº 6. Ed. Instituto Geológico y minero de España. 176 pp. Madrid. ISBN 84-7840-473-2.

Baeza Rodríguez-Caro, J., López Geta, J.A. y Ramírez Ortega, A. (2001): "Las aguas minerales en España". Ed. Instituto Geológico Minero de España. 453 pp. Madrid. ISBN 84-7840-424-4.

Birke, M.; Reimann, C.; Demetriades, A.; Rauch, U.; Lorenz, H.; Harazim, B. y Glatte, W. Determination of major and trace elements in European bottled mineral water — Analytical methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, (2010)

Bityukova, L. y Petersell, V.. Chemical composition of bottled mineral waters in Estonia. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, (2010)

Bertoldi, D.; Bontempo, L. y Larcher, R. Survey of the chemical composition of 571 European bottled mineral waters. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, (2011)

Batista, J., Blanco, J., Rodríguez, R.L., 1996. Regularidades hidroquímicas del yacimiento de aguas mineromedicinales y termales Menéndez. *Minería y Geología*, 13(1).

Calado, C., 1984. Elementos estadísticos de aguas minerales de mesa referentes a 1983. Boletín de Minas, 21(2).

Castany, G., 1971. Tratado práctico de las aguas subterráneas. Barcelona, Ed. Omega. 655 pp.

Corral Lledó. M.M. y Baeza Rodríguez, J. (2004): "Síntesis y análisis de la legislación estatal en materia de aguas minerales". Hidrogeología y Aguas Subterráneas nº 14. VI Simposio del Agua en Andalucía. Tomo I. Ed. López Geta, J.A., Rubio Campos, J.C., Martín Machuca, M. 1377-1386 pp. Madrid. ISBN 84-7840-577-1.

Corral Lledó. M.M., Abolafia de Llanos, M. y Baeza Rodríguez, J. (2005): "Evaluación cuantitativa de los actuales aprovechamientos de los recursos hidrominerales en España". I Foro Ibérico sobre Aguas Envasadas y Balnearios, Madrid, 15 a 16 de marzo de 2005. Ed. Fernández Rubio, R., Zafra Moreno, I. y Asociación Nacional de Balnearios (ANBAL). 153-160 pp. ISBN 84-89683-06-9.

Corral Lledó. M.M., Rico, R., López Geta, J.A., Del Barrio, V., Orviz Castro, F. y Toro, A. (2006): "Estudio y evaluación del potencial hidromineral en la Comunidad Autónoma de Castilla y León". II Foro Ibérico sobre aguas envasadas y balnearios. Oporto. 22-24 de noviembre. 14 pp.

Corral Lledó. M.M., López Geta, J.A., Ontiveros Beltranena. C., Rico, R., (2010): "Castilla y León: Las aguas minerales y termales. Panorámica actual y perspectivas de futuro" 240 pp. ISBN 978-84-7840-851-1

Corral Lledó. M.M. y Abolafia de Llanos, M. (2006): "Las aguas minerales. Aguas de bebida envasadas y balnearios en la cuenca del Duero". Congreso de Duero. 15 pp.

Corral Lledó. M.M., Abolafia de Llanos, M. y Baeza Rodríguez, J. (2006): "Recursos hidrominerales: relación entre la producción y las características geológicas". Hidrogeología y Aguas Subterráneas nº 14. VI Simposio del Agua en Andalucía. Tomo I. Ed. López Geta, J.A., Rubio Campos, J.C., Martín Machuca, M. 1387-1394 pp. Madrid. ISBN 84-7840-577-1.

Corral M.M.; López-Geta J.A.; Ontiveros Beltranena C.; Sánchez Guzmán J. y Ocaña Robles L. (2008). Las aguas minerales en España: caracterización de los dominios hidrominerales y sus singularidades. Ed: López-Geta J.A.; Loredó J.; Fernández Ruiz L. y Pernía J.M. Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Nº 27. Investigación y Gestión de los recursos del subsuelo. ISBN: 978-84-7840-773-6. pp 309-335.

Díaz de Villalvilla, L., 1985. Proposición para la división de la llamada Formación Tobas (Provincia de Cienfuegos, Villa Clara y Santi Spiritus). Serie Geológica, 1, 133-154.

Donaire Marquez, M. y Almarza Lopez, J. Las aguas minerales en Andalucía. Dirección General de Industria, Energía y Minas, Junta de Andalucía.

Fagundo, J.R., Valdés, J. J., Rodríguez, J.E., 1996. Hidroquímica del carst. Grupo de recursos hídricos y geología ambiental, Univ. Granada Pub.

Fricke, M., 1993. Natural mineral waters, curative-medical waters and their protection. Environmental Geolog y, 22.

Fugedi, U.; Kuti, L.; Jordan, G. y Kerek, B.. Investigation of the hydrogeochemistry of some bottled mineral waters in Hungary. *Journal of Geochemical Exploration*, 107 (2010)

George, L.D., 1994. Uses of Spring water. *Environmental Geology*, 24.

Green, M., Green, T., 1985: The best bottled waters in the world. New York, Simon and Schuster Pub.

Guler, C.. Characterization of Turkish bottled waters using pattern recognition methods. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 86 (2007)

Instituto Geológico Minero de España (IGME) (1987): "Las aguas minero-medicinales, mineroindustriales y de bebida envasada existentes en España". Ed. Instituto Geológico Minero de España. Madrid.

Instituto Geológico y Minero de España. (2001): Las Aguas Minerales en España. IGME.

Ketata, M., Hamzaoui, F., Gueddari, M., Bouhlila, R. y Ribeiro, L. Hydrochemical and statistical study of groundwaters in Gabes-south deep aquifer (southeastern Tunisia). *Physics and Chemistry of the Earth*, 36, (2011)

López, M.M., Pulido, A., 1995. Los manantiales termominerales de Salar (Granada). Un sistema de flujo profundo ligado esencialmente a la descarga de Sierra Gorda. *Geogaceta*, 18.

López, M.M., Pulido, A., 1996. Observaciones hidrogeológicas e hidroquímicas sobre los manantiales termominerales de Alhama de Granada (Cordilleras Béticas. España). *Geogaceta*, 19.

Maqbool, A. y Bajahlan, A. S.. Quality comparison of tap water vs. bottled water in the industrial city of Yanbu (Saudi Arabia). *Environ Monit Assess*, (2009)

Martin-Gil, J.; Martin-Ramos, P. y Martin-Gil, F.J.. "Sobre las aguas minerales naturales de España: Asociaciones entre su composición química y localización geográfica". *Afinidad*, 37, (1999)

Naddeo, V.; Zarra, T. y Belgiorno, V.. A comparative approach to the variation of natural elements in Italian bottled waters according to the national and international standard limits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, (2008)

Pinuagua, J.I., Almarza, J., Carrasco, A., Sánchez, J., 1995. Las aguas minerales y termales en la comunidad autónoma de Andalucía. VI Simposio de hidrología XX. *AEHS*, 33-47.

Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano.

Semerjian, L. A., Quality assessment of various bottled waters marketed in Lebanon. *Environ Monit Assess*, 172, (2011).

Yélamos, J.G., Redondo, R., Yepes, J., 1987. Composición química de las aguas envasadas (minerales naturales y mineromedicinales) de la España Peninsular. VI Simposio de hidrología XX. AEHS. España.

Zafra, I. Secretaria General de la Asociación Nacional de Empresas de Aguas de Bebida Envasadas (ANEABE). Aspectos Legales de las aguas de bebida envasadas. (2000).