Universidad de Alcalá

FACULTAD DE BIOLOGÍA, CIENCIAS AMBIENTALES Y QUÍMICA

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

<< CARACTERÍSTICAS Y ORIGEN DE AGUAS TERMALES Y SU RELACIÓN CON LA SALUD >>

Autor: << Víctor de Miguel Muñoz >>
Tutor/es: << Rosa Vicente Lapuente>>

<< 2016>>

FACULTAD DE BIOLOGÍA, CIENCIAS AMBIENTALES Y QUÍMICA
-
GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES.
TRABAJO DE FIN DE GRADO

<< CARACTERÍSTICAS Y ORIGEN DE AGUAS TERMALES Y SU RELACIÓN CON LA SALUD >>

Tribunal de calificación:

(Firma)
Presidente: _____

(Firma)
Vocal 1º: _____

(Firma)
Vocal 2º: _____

Calificación: _____

Fecha: _____

<< 2016>>

Universidad de Alcalá

INFORME PARA LA DEFENSA PÚBLICA DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

D/Dª_____, profesor del Departamento de _____ de la UAH, como tutor del Trabajo de Fin de Grado en _____ de D/Dª _____ titulado _____
_____

INFORMA:

Alcalá de Henares …. de …… de 20….

Firma del tutor

Firma del cotutor (si lo hubiere)

Fdo.:_____

Fdo.:_____

ÍNDICE

Justificación del tema

Resumen / Abstract

Palabras Clave / Keywords

1.Introducción..... 1

1.1.Objetivo..... 1

1.2.Metodología 2

2.Origen, propiedades y clasificación de las aguas termales minero-medicinales..... 2

2.1.Origen de las aguas minero-medicinales, y en su caso termales 2

2.2.Relación de la litología con las características físico-químicas del agua termal minero-medicinal..... 3

2.3.Clasificación y propiedades terapéuticas de los distintos tipos de agua termal minero-medicinal..... 5

3.Aguas termales minero-medicinales en España 6

4.Algunos ejemplos de aguas termales minero-medicinales en España.... 8

4.1.Balneario de Mondariz 8

4.1.1.Situación geográfica e importancia socioeconómica 8

4.1.2.Contexto geológico y origen de las aguas 8

4.1.3.Características físico-químicas de las aguas..... 9

4.2.Balneario de Alicún de las Torres 12

4.1.1.Situación geográfica e importancia socioeconómica 12

4.1.2.Contexto geológico y origen de las aguas 12

4.1.3.Características físico-químicas de las aguas..... 14

4.3.Balneario de Caldes de Boí..... 15

4.1.1.Situación geográfica e importancia socioeconómica 15

4.1.2.Contexto geológico y origen de las aguas 15

4.1.3.Características físico-químicas de las aguas..... 17

4.1.Balneario de Trillo 17

4.1.1.Situación geográfica e importancia socioeconómica 17

4.1.2.Contexto geológico y origen de las aguas 18

4.1.3.Características físico-químicas de las aguas..... 19

5.Propiedades terapéuticas 20
5.1.Balneario de Mondariz 20
5.2.Balneario de Alicún de las Torres 21
5.3.Balneario de Caldes de Boí 21
5.4.Balneario de Trillo 22
6.Discusión 22
7.Conclusión 25
Bibliografía 26
Anexos 31

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Las aguas termales minero-medicinales han tenido una gran relevancia en la historia de la humanidad, que hoy en día siguen teniendo en nuestra sociedad, tanto por su importancia terapéutica como socioeconómica. Por tanto, se hace necesario un estudio sobre su procedencia, sus propiedades y sus características curativas; para así entender el pasado y seguir beneficiándonos de ellas adecuadamente en el presente y futuro.

Además de este interés por el uso de las aguas termales minero-medicinales en general, resulta esencial el hablar de este hecho en el territorio español, de acuerdo a la amplia red de balnearios que encontramos en el país. Así, la elección de los balnearios estudiados se justifica por la razón científica de encontrarse en las zonas con más aguas termales minero-medicinales. Por otro lado y, centrados en dichas zonas, los Balnearios han sido elegidos, además, por afinidad personal, como en el caso del Balneario de Trillo, que es cercano a uno de mis centro de trabajo principales.

RESUMEN

En el presente trabajo se da, de acuerdo a la bibliografía consultada, una síntesis del origen de las aguas termales y minero-medicinales. Asimismo se establece la relación entre las propiedades físico-químicas de las aguas y las características geológicas del entorno de los manantiales, así como las indicaciones terapéuticas derivadas de estas propiedades.

Para establecer esta relación se han escogido cuatro estaciones balnearias (Mondariz, Alicún de las Torres, Caldes de Boí y Trillo), representativas de las zonas españolas con mayor número de aguas termales y minero-medicinales.

ABSTRACT

This study gives, according to the literature, a synthesis of the origin of the thermal mineral-medicinal water. In addition, the study establishes the relationship between the physical-chemical properties of the waters, the geological characteristics of the springs and the therapeutic indications derived from these properties.

To establish this relationship have been selected four spas (Mondariz, Alicún de las Torres, Caldes de Boí y Trillo). These represent the Spanish areas with more thermal mineral-medicinal water.

PALABRAS CLAVE

Aguas minero-medicinales, aguas termales, balnearios, propiedades terapéuticas, Trillo, Caldes de Boí, Alicún de las Torres, Mondariz.

KEYWORDS

Medicinal-mineral waters, thermal waters, spas, therapeutic properties, Trillo, Caldes de Boi, Alicún de las Torres, Mondariz.

1. INTRODUCCIÓN

"…Sobre el procedente u origen de estas Aguas, y todas las demás del Universo…unos suponen que en el centro de este Globo hay un depósito inmenso de Agua, hecho en la Primera Creación del Mundo…que tiene comunicación, mediante unos conductos, hasta el centro de la tierra, y de aquí forma la conclusión en pozos y fuentes…" (Ballesteros Fiel, 1768). *"… El uso de las aguas minerales ha sido desde la más remota antigüedad universalmente recomendado y admitido en la Medicina. Plinio nos asegura, que en su tiempo eran el único recurso en ciertas enfermedades…* (Ortega, 1778).

Así definen estos dos autores el origen de las aguas termales y sus propiedades terapéuticas en el caso particular de las aguas de Sacedón y Trillo, sobre las que profundizaremos más adelante. Por tanto, el origen de la disciplina hidrológica médica viene desde tiempos inmemoriales, en los que las aguas se utilizaban como único remedio de cura, incluso sin saber la justificación de que el agua tuviera esas propiedades; y mucho menos sobre el origen y los distintos tipos de agua. Así es que, en nuestros días en los que los análisis son posibles, la geología es una ciencia reconocida y los estudios en medicina son reseñables, sería una ofensa a nuestros antepasados, que tanto se valieron de las aguas, no incrementar el conocimiento sobre el tema, como pretende el presente estudio.

1.1. OBJETIVO

El objetivo principal será el de establecer la relación entre el origen, las características y la relación con la salud de las aguas termales minero-medicinales, ayudándonos, para ello, de cuatro balnearios españoles representativos. Así, se establecerán los siguientes objetivos secundarios:

- Estudio geológico e hidrogeológico del entorno de los puntos de surgencia de aguas minero-medicinales para explicar el motivo del almacenamiento del agua y su ascenso a superficie.
- Relacionar las características físico-químicas de las aguas con el estudio geológico e hidrogeológico.
- Estudio y relación de las propiedades terapéuticas a partir de las características físico-químicas de las aguas.

1.2. METODOLOGÍA

Para alcanzar cada uno de los objetivos antes citados se ha optado por desarrollar la siguiente metodología, que se basa, casi en su totalidad, en una búsqueda bibliográfica de investigaciones anteriores más generales que se han aplicado a los casos de estudio en particular.

Para el estudio geológico e hidrogeológico se ha optado por la consulta de bibliografía especializada, en forma de informes de organismos oficiales como el Instituto Geológico y Minero de España, revistas geológicas como *Sociedad Geológica* o investigaciones privadas de los propios balnearios estudiados. Asimismo, para el Balneario Carlos III de Trillo (el más cercano a la Universidad de Alcalá) se han realizado varias visitas para interpretar los datos bibliográficos.

En cuanto al establecimiento de una relación entre la litología y las características físico-químicas de las aguas, se han solicitado a cada balneario los análisis físico-químicos más recientes. Posteriormente se ha buscado la relación de estos datos con la litología presente en el entorno, previamente estudiada. Para ello se han utilizado fuentes bibliográficas que interpretan estos procesos.

Por último, se han consultado fuentes bibliográficas generales y particulares de cada balneario para relacionar las características físico-químicas de las aguas con las propiedades terapéuticas que tienen.

2. ORIGEN, PROPIEDADES Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS TERMALES MINERO-MEDICINALES

2.1. ORIGEN DE LAS AGUAS MINERO-MEDICINALES, Y EN SU CASO TERMALES.

En relación al origen de las aguas minerales, diremos que en la actualidad hay constancia de que la surgencia de estas aguas deriva principalmente de la infiltración por gravedad del agua de precipitación y que la variedad de componentes minerales y la temperatura de las aguas se deben, en gran medida, a su circulación subterránea. Esta circulación subterránea transcurrirá a distintas profundidades y entrando en contacto con diferentes materiales que le suministrarán la carga iónica, hasta que el agua ascienda a la superficie a través de las zonas preferentes del sustrato, que se corresponden normalmente con

fisuras y fracturas existentes para las rocas cristalinas y en un menor gradiente hidráulico para las demás (Figura 1) (Pinuaga Espejel, 1998).

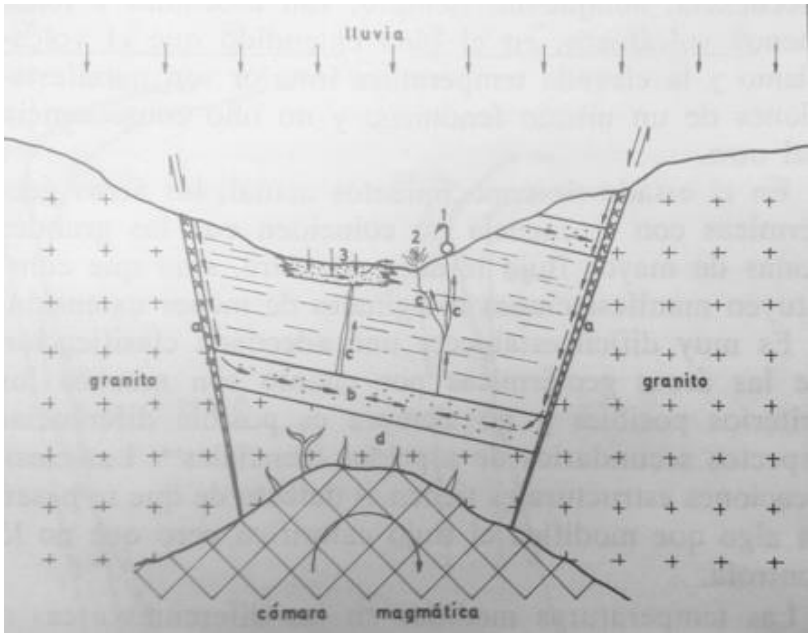

Figura 1: Esquema general de un Sistema Hidrotermal. Las flechas indican el movimiento del agua. a) Zonas de fractura con alguna permeabilidad. b) Acuífero calentado desde la cámara magmática. c) Grieta que permite la ascensión del agua caliente. c) Material por el que se conduce el calor. 1) fuente termal, 2) agua termal, 3) acuífero calentado por aportes del acuífero b (Custodio & Llamas, 1983).

En cuanto al origen del calor de las aguas, lo encontramos en el gradiente geotérmico que determina una mayor temperatura cuanto más nos acerquemos al núcleo terrestre. Este gradiente geotérmico está calculado en un aumento de 3ºC cada 100 metros de descenso (Baeza Rodríguez-Caro, et al., 2008). Sin embargo, este valor no es constante en todo el territorio, pues se ve muy influido por el flujo de calor (propiciado sobre todo por la radiactividad de las rocas) y la conductividad calorífica propia de las rocas de cada sitio. Así es que encontramos lugares, que denominamos anormalmente calientes (usualmente corresponde a regiones volcánicas o con actividad sísmica), en los que el gradiente geotérmico se multiplica, propiciando este hecho la termalidad de las aguas (Pinuaga Espejel, 1998).

Por otra parte, debemos tener en cuenta que la existencia de este gradiente no supone una surgencia de aguas calientes en superficie. Para ello es esencial la existencia superficies de debilidad o de fracturas (Figura 1) en las rocas que no estén colmatadas y por las que pueda ascender el agua con celeridad. Además

debemos tener presencia de valles o depresiones que propicien la diferencia de gradiente hidráulico, antes mencionado (Pinuaga Espejel, 1998).

2.2. RELACIÓN DE LA LITOLOGÍA CON LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA TERMAL MINERO-MEDICINAL

La relación entre las características físico-químicas del agua mineral y el recorrido litológico por el que transcurren será variable en función de las rocas, del tiempo de residencia del agua y de la temperatura de los tramos por los que transcurra (Baeza Rodríguez-Caro, et al., 2008).

En general, en el agua podemos encontrar elementos inorgánicos y, en menor medida, orgánicos. La carga inorgánica se compone de los iones y gases. En cuanto a los iones, se obtienen mayoritariamente sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos y bicarbonatos. Además de ellos hay otros minoritarios como la sílice, nitratos, carbonatos, litio, flúor, boro y arsénico. Entre los gases más abundantes encontramos oxígeno, nitrógeno, metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. Por su parte, las características físicas del agua como el pH, la conductividad y el potencial re-dox son dependientes de los parámetros iónicos (Baeza Rodríguez-Caro, et al., 2008).

La relación de estos parámetros con las características litológicas aparece normalmente de forma clara, pudiendo hacer la siguiente distinción entre las rocas que usualmente se comportan como acuíferos:

- Rocas calcáreas sedimentarias: se obtienen aguas con alto porcentaje en bicarbonatos, calcio y magnesio, con poca mineralización. La mayoría de las aguas están asociadas normalmente a sistemas kársticos (Baeza Rodríguez-Caro, et al., 2008).
- Evaporitas: suelen resultar aguas con gran cantidad de sulfatos y calcio, cloruradas-sódicas o cloruradas-sódico-magnésicas, con mineralización elevada. Son aguas que adquieren pronto la carga mineral, por tratarse de materiales muy solubles (Baeza Rodríguez-Caro, et al., 2008).
- Ígneas: las rocas ígneas dan lugar a aguas con gran contenido en bicarbonatos, siendo las carga catiónica dependiente de la composición de las rocas. Además presentan una baja mineralización (Baeza Rodríguez-Caro, et al., 2008).

A la vez que esta distinción entre diferentes rocas, también podemos expresar la relación entre la litología y las propiedades físico-químicas del agua a través de la solubilidad y abundancia en el subsuelo de las distintas sales en un acuífero regional detrítico. Así, según la secuencia de Chevotareb, que atiende a estos dos parámetros, las aguas, clasificadas de menor a mayor tiempo de residencia en el acuífero, serán, en cuanto a su aniones, bicarbonatadas, sulfatas y cloruradas y en cuanto a sus cationes; cálcicas, magnésicas y sódicas (Sánchez San Román, 2012).

2.3. CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES TERAPÉUTICAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE AGUA TERMAL MINERO-MEDICINAL

Las indicaciones terapéuticas de las aguas dependerán del tipo de agua que encontremos en los tratamientos, es decir de sus propiedades físico-químicas. Para ello, primeramente, debemos asumir la clasificación de las aguas marcada por la legislación española (BOE, 2010). Por medio de los parámetros definidos por esta legislación, puede obtenerse la clasificación de las medidas terapéuticas generales desde un punto de vista médico.

- Aguas bicarbonatadas: son aguas con más de 600 mg/L de bicarbonato (BOE, 2010). Controlan la respuesta anafiláctica, regulan el sistema digestivo y están indicadas para enfermedades reumatológicas (Lalli, 2009).
- Aguas sulfatadas: son aguas con más de 200 mg/L de sulfatos (BOE, 2010).
- , asociado con cationes de calcio, sodio o magnesio. Presentan principalmente acciones estimulantes de las funciones orgánicas, especialmente en el aparato digestivo, además de descongestionantes y purgantes (Lalli, 2009).
- Aguas cloruradas: son aguas con más de 200 mg/L de cloruro (BOE, 2010). Tienen acción antidiurética y estimulan la secreción gástrica y biliar. También se utilizan para tratar heridas, desinfectándolas y ayudando a la cicatrización (Lalli, 2009).
- Aguas cálcicas: son aguas con más de 150 mg/L de calcio (BOE, 2010). Protegen el aparato digestivo, son sedantes, diuréticas, reducen la tensión y están muy recomendadas para tratar enfermedades óseas (Lalli, 2009).
- Aguas magnésicas: son aguas con más de 50 mg/L de magnesio (BOE, 2010). Están indicadas para enfermedades digestivas, renales y cardiovasculares (Lalli, 2009).

- Aguas sódicas: son aguas con más de 200 mg/L de sodio (BOE, 2010). Tienen efectos antisépticos, hepáticos y antitóxicos (Lalli, 2009).
- Aguas ferruginosas: son aguas con más de 1 mg/L de hierro bivalente (BOE, 2010). Tienen efectos antianémicos y reconstituyentes. Son recomendables para el adelgazamiento y para el hipertiroidismo (Saz Peiro, 2008).
- Aguas fluoradas: son aguas con más de 1 mg/L de flúor (BOE, 2010). Son recomendables para fortalecer los huesos y tratar enfermedades como la osteoporosis (Saz Peiro, 2008).
- Aguas aciduladas: son aguas con más de 250 mg/L de CO_2 libre (BOE, 2010). Son indicadas para tratar el estrés y problemas de tensión. Además estimula los centros respiratorios, el sistema parasimpático, el aparato digestivo y el urinario (Lalli, 2009).

Por otro lado, podemos desarrollar una clasificación en relación a la temperatura de surgencia, la cual también tendrá relación con su utilidad terapéutica. La clasificación más aceptada a nivel internacional es la siguiente, que relaciona la temperatura de surgencia del agua (T) con la temperatura media anual del aire (Tma) y la temperatura del suelo (Ts) (Armijo-Valenzuela & San Martín, 1994):

- Aguas hipotermales: $T<Tma -4ºC$ o $T<Ts - 2ºC$.
- Aguas mesotermales: $T=Tma + 4ºC$ o $T=Ts + 2ºC$.
- Aguas hipertermales: $T>Tma + 4ºC$ o $T>Ts + 2ºC$.

Además de ella, también podemos encontrar otras clasificaciones que se basan en simples límites térmicos, entre las que destaca la siguiente (Armijo-Valenzuela & San Martín, 1994):

- Aguas hipotermales: las aguas que surgen a menos de 35ºC.
- Aguas mesotermales: las aguas que surgen entre 35 y 45ºC.
- Aguas hipertermales: las aguas que surgen a partir de 45ºC.

3. AGUAS TERMALES MINERO-MEDICINALES EN ESPAÑA

En España, las aguas minerales se definen como las aguas subterráneas que por sus características físico-químicas puedan incluirse en las definidas por la Ley de Minas (BOE, 1978). Del mismo modo, la legislación española trata por

aguas termales a aquellas que alcancen una temperatura 4ºC superior a la temperatura media anual del ambiente, medida ésta en el lugar donde alumbran. Por último se introduce el término de aguas minero-medicinales para definir a aquellas aguas que por su contenido en sales o gases presentan propiedades terapéuticas y son utilizadas con este fin último (BOE, 1978).

Como vemos, la legislación española contempla todos estos términos debido a la abundancia que nuestro país tiene en estos manantiales termales minerales. Todo ello es debido a la amplia historia geológica de la Península Ibérica y su heterogeneidad en cuanto a accidentes geográficos y materiales (Zafra Moreno, 2013). Así, se puede dividir a la España Peninsular en tres grandes Unidades Geológicas, que, a su vez, darán lugar a unas facies de agua representativas de cada unidad, según sus características litológicas:

- Macizo Hespérico: está situado en prácticamente todo el oeste peninsular y tiene una composición de materiales de carácter ígneo o metamórfico y de edad paleozoica. El plegamiento de estos materiales proviene de la orogenia Hercínica, aunque, posteriormente, la Alpina también tuvo influencia. En cuanto a las características de las aguas, existe una alta variabilidad ya que encontramos rocas ígneas y metamórficas. Se pueden catalogar de aguas bicarbonatadas sódicas en la parte septentrional, bicarbonatadas con distintos cationes en el central y cálcicas y magnésicas en el meridional (Baeza Rodríguez-Caro, et al., 2008).
- Cordilleras Alpinas: corresponden a los Sistemas Béticos, Pirineos, Sistema Ibérico y Cordillera Costero-Catalana. En este caso los materiales son mayoritariamente sedimentarios (carbonáticos, detríticos y evaporíticos) con edades mesozoicas y cenozoicas, afectados durante la orogenia Alpina. En cuanto a las aguas, predominan las bicarbonatadas y sulfatadas derivadas de los materiales mesozoicos y cenozoicos. También encontramos aguas cloruradas y sulfatadas sódicas, por la influencia marina (Baeza Rodríguez-Caro, et al., 2008).
- Depresiones terciarias: se corresponden con la Depresión del Ebro, del Duero, del Tajo y del Guadalquivir. Estas depresiones están compuestas por materiales carbonáticos, detríticos y evaporíticos del Terciario, de origen marino y/o continental. Las características del agua dependen del tamaño del acuífero,

ya que se encuentra una gran variabilidad en este sentido. En general suelen ser bicarbonatadas, aunque dependiendo del material de relleno (sales, yesos…) por el que circulen pueden tener otras características (Baeza Rodríguez-Caro, et al., 2008).

Por su parte, como ya se ha explicado anteriormente, la termalidad está muy relacionada con zonas con un gradiente geotérmico elevado. Así, la mayor densidad de fuentes termales la encontramos en el Macizo Galaico (material plutónico y grandes fracturas alpinas), en Pirineos (plutones), Cordillera Ibérica (circulación profunda y grandes fracturas) y Sistemas Béticos (accidentes tectónicos e intersección de fracturas) (Baeza Rodríguez-Caro, et al., 2008).

4. ALGUNOS EJEMPLOS DE AGUAS TERMALES MINERO-MEDICNALES EN ESPAÑA

A continuación, se analiza la relación de las características físico-químicas de las aguas con la geología e hidrogeología del entorno de cuatro Balnearios españoles con una amplia historia y que siguen utilizando las aguas actualmente para fines terapéuticos. Cada uno de los establecimientos balnearios se encuentra en una Unidad Geológica diferente, de las que antes exponíamos como las que mayores surgencias de agua termal minero-medicinal tienen.

4.1. BALNEARIO DE MONDARIZ

4.1.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA E IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA

El Balneario de Mondariz se encuentra situado entre los municipios de Mondariz y Mondariz-Balneario, ambos al sureste de la provincia de Pontevedra. Está enclavado en el valle del río Tea (Red Natura) y sus afluentes, Xabriña y Aboal (Aguas de Mondariz Fuente de Val S.L., 2009).

La actividad balnearia y embotelladora supone la principal fuente de ingresos de los dos municipios antes citados y de los de alrededor. La importancia de Mondariz como balneario proviene de tiempos romanos, en los que el territorio correspondía a la ciudad de Búrbida (Castillo Campos, 1992).

4.1.2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y ORIGEN DE LAS AGUAS

A una escala local, podemos decir que en la zona de Mondariz predominan las rocas ígneas y metamórficas propias del Macizo Hespérico, con una diferencia

de edades que va desde el Precámbrico al Devónico-Carbonífero Inferior (Vera, 2004). En concreto, situamos a Mondariz en la Unidad Geológica de la Depresión Meridiana, que se corresponde con una gran franja de treinta kilómetros de anchura máxima en dirección N-S que une Carballo con Tui y que cuenta con diversas manifestaciones de aguas minerales y termales asociadas a fracturas en granitos alcalinos (Corral LLedó, et al., 2006).

Particularmente, la zona en la que se enclava Mondariz se caracteriza por la presencia de rocas ígneas en forma de granito equigranular de grano medio y fino que corresponde a una especie granítica alcalina de dos micas (Figura 2). Por su parte, este material granítico aparece muy fracturado en todo el entorno y en especial en este punto, ya que corresponde al cruce de dos fallas-fracturas: la principal (NO-SE) que se extiende a zonas alejadas y otra (NE-SO) que corta a la anterior en este lugar (Ortega, 2008).

Por tanto, en el Balneario de Mondariz, según sus características geológicas e hidrogeológicas, encontramos un esquema hidrogeológico de flujo profundo. Éste está asociado a los granitos de dos micas y al corte de las fallas en ellos (Corral LLedó, et al., 2006). Por su parte, la descarga se produce sobre una fina capa de material sedimentario cuaternario asociado al Valle del Río Tea, encontrando en este punto un menor potencial hidráulico (Corral LLedó, et al., 2006).

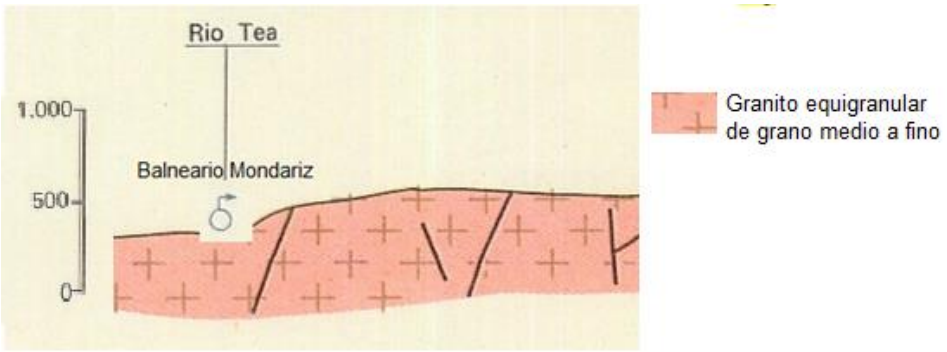

Figura 2: Corte geológico del entorno del Balneario de Mondariz. Modificado de: (Instituto Geológico y Minero de España, 1981).

4.1.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS

Por medio de los parámetros analíticos de las aguas del Balneario (Anexo 1 [Tabla 1]) podemos apuntar que, de acuerdo a la clasificación de Piper-Hill-Langelier (Figura 3), nos encontramos ante un agua bicarbonatada sódica. Si

nos referimos a la clasificación legislativa (BOE, 2010), en cuanto a los componentes mayoritarios, estamos ante un agua bicarbonatada, sódica, acidulada e hipotermal.

En el Diagrama de Piper-Hill-Langelier (Figura 3) vemos como, en cuanto a los aniones, predominan los bicarbonatos con un 90%, ocupando el 10% restante los cloruros. Por su parte, en los cationes destaca sobre todo el sodio con un 75%, repartiéndose el restante entre calcio y magnesio a partes prácticamente iguales.

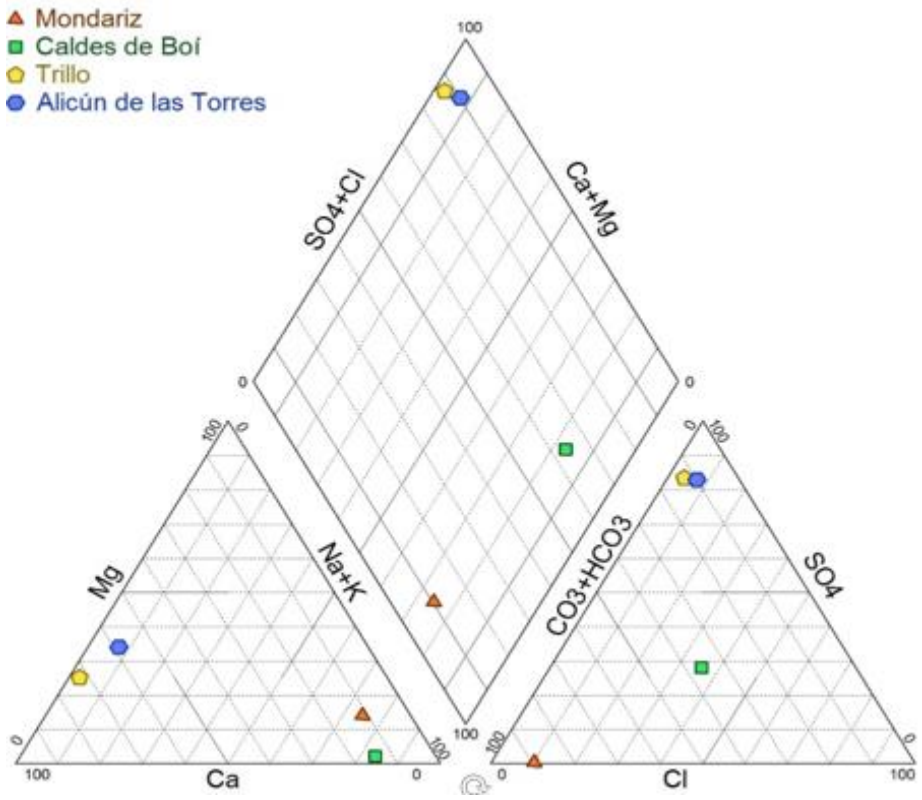

Figura 3: Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las aguas de los Balnearios seleccionados para el estudio (Elaboración propia).

Este reparto iónico es característico de unas aguas graníticas como las de Mondariz, en las que los bicarbonatos y el sodio provienen de la hidrólisis de feldespatos, plagioclasas y micas del granito (Porras Martín, et al., 1985). Si atendemos al Diagrama de Schoeller-Berkaloff (Figura 4), observamos como efectivamente los valores de bicarbonato (1296 mg/L) son moderadamente altos, siendo, con gran diferencia, el anión más abundante, seguido por el cloruro (85 mg/L). Por su parte el sodio presenta unas cantidades de 400 mg/L, siendo

también el catión predominante por delante del calcio (56 mg/L) y magnesio (42 mg/L), que se mantienen en cantidades semejantes.

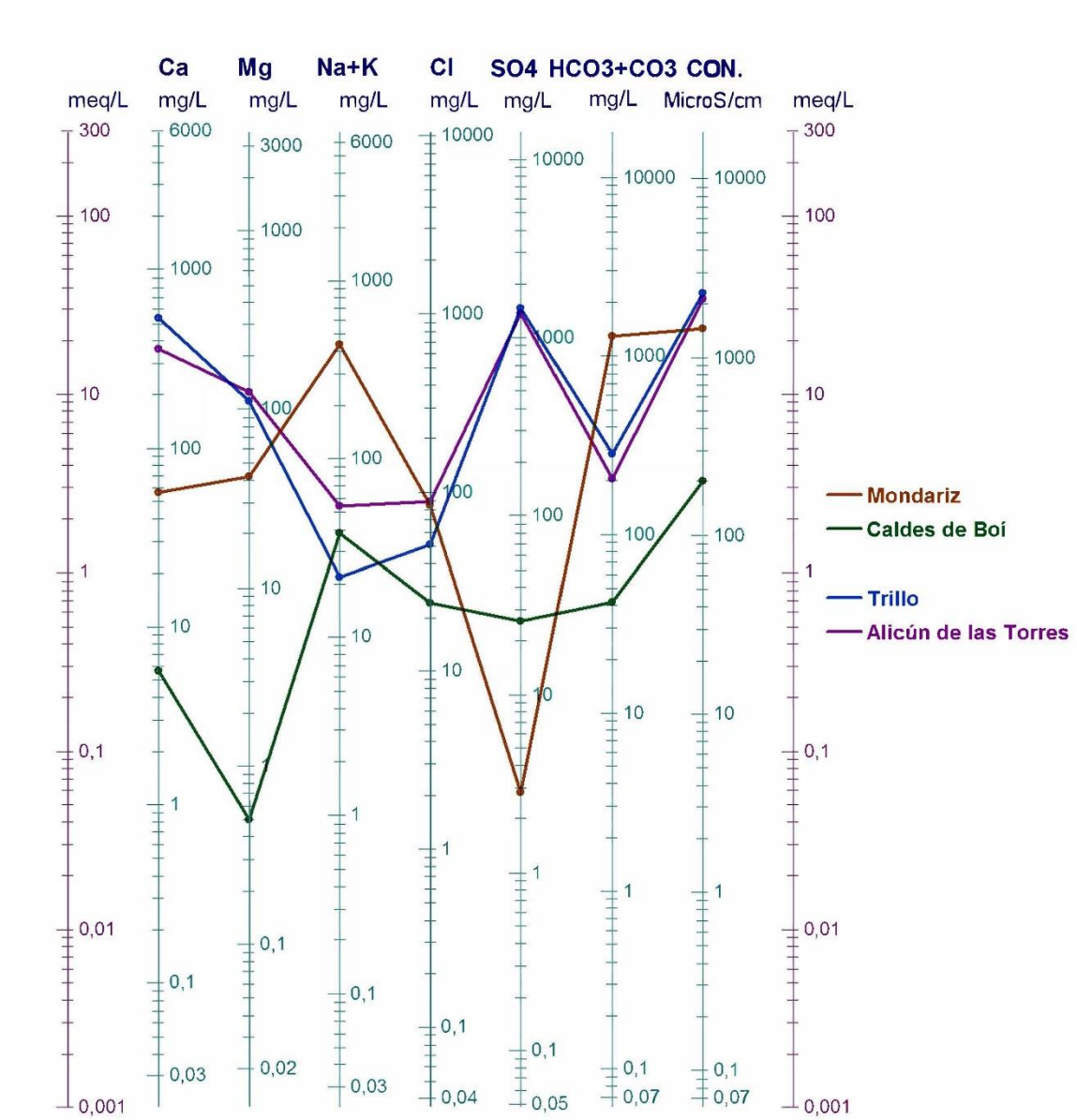

Figura 4: Diagrama de Schoeller-Berkaloff de las aguas de los Balnearios seleccionados para el estudio (Elaboración propia).

En cuanto a su temperatura, son aguas hipotermales (18ºC) que difieren de las aguas minero-medicinales de la región. Esto es debido a la sucesión de barreras cinéticas que encuentra el agua para ascender entre las fracturas graníticas (Corral LLedó, et al., 2006).

La conductividad en las aguas de Mondariz corresponde a aguas medianamente mineralizadas (1455 µS/cm), no siendo ésta una propiedad característica de las aguas graníticas y que se explica por el flujo largo y profundo del agua (Corral

LLedó, et al., 2006). Por último, encontramos un pH ligeramente ácido (6,3) que puede estar relacionado con el alto contenido en dióxido de carbono (880 mg/L) y que, según fuentes bibliográficas consultadas, tiene un origen geoquímico (Corral LLedó, et al., 2006).

4.2. BALNEARIO DE ALICÚN DE LAS TORRES

4.2.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA E IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA

El Balneario de Alicún de las Torres se encuentra al noroeste de la provincia de Granada, entre Guadix, Baza y Villanueva de las Torres y muy cerca de la confluencia de los ríos Fardes y Gor (Francés, et al., 2009).

Su importancia socioeconómica es notable, suponiendo un importante foco turístico y de ingresos en una zona en la que los recursos son escasos. Esta relevancia aparece ya en tiempos antiguos y en concreto a lo largo del Paleolítico Superior, aunque el mayor auge se observa en la Edad de Bronce, favoreciendo el asentamiento estable en el municipio (Balneario de Alicún de las Torres, 2010).

4.2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y ORIGEN DE LAS AGUAS

El Balneario de Alicún se asienta en el sector central de las Cordillera Béticas (Prado Pérez, 2011). En concreto, Alicún de las Torres se encuentra en el contacto entre los materiales de relleno de la Cuenca de Guadix-Baza con las Zonas Externas de las Béticas (material carbonático mesozoico). Por su parte, al sur, encontramos las Zonas Internas, divididas éstas en dos complejos: el Alpujárride (alternancia de rocas metamórficas con dolomías y calizas con mármoles) y el Nevado-Filábride (rocas metamórficas) (Figura 5) (Junta de Andalucía, 2005).

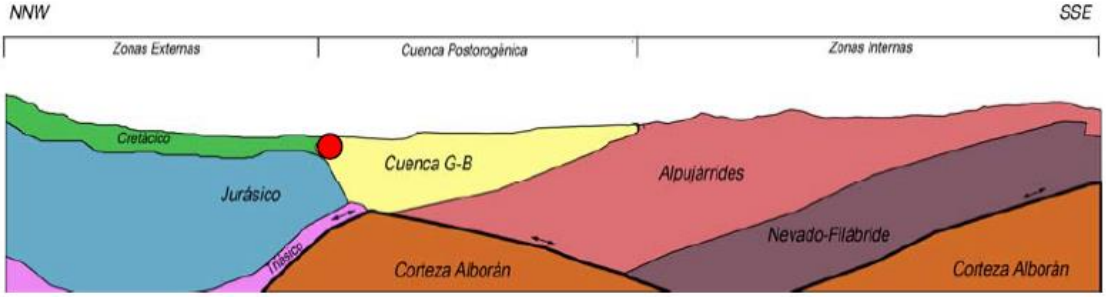

Figura 5: Representación de los distintos materiales que encontramos en el entorno de Alicún de las Torres (marcado con punto rojo) (Prado Pérez, 2011).

A una escala más local de Alicún de las Torres, hay que destacar la presencia de una falla con dirección NE-SO que se encuentra en las calizas jurásicas

cercanas al Balneario y que es responsable de numerosos flujos de agua. Esta falla es una de las muchas que encontramos en la Cuenca Guadix-Baza propiciadas por una compresión regional N-S a NO-SE (Prado Pérez, 2011).

Adentrándonos en el aspecto hidrogeológico hay que distinguir dos unidades bastante diferenciadas, que son las de la Sierra de Baza y El Mencal, conteniendo esta última a los cerros Mencal y La Raja (Figura 6) (Prado Pérez, 2011).

La Unidad Hidrogeológica de Sierra de Baza (Figura 6) se encuentra al sureste de Alicún de las Torres y es la más influyente en la surgencia de las aguas del Balneario. Está compuesta en gran medida por los materiales triásicos del Complejo Alpujárride de las Zona Internas y más concretamente por sus tramos carbonáticos triásicos. Estos materiales son capaces de retener y transmitir el agua en su interior debido a la intensa fracturación que tuvo lugar en la Orogenia Alpina, a la que hay que unir la karstificación que se ha ido produciendo. Este acuífero carbonático se ve limitado en profundidad por las rocas metamórficas (principalmente esquistos) que funcionan de sustrato impermeable. (Prado Pérez, 2011).

Por su parte, la Unidad Hidrogeológica de El Mencal (Figura 6), que contiene a Alicún de las Torres, está formada por los materiales carbonáticos subbéticos de edad jurásica, entre los que destacan las margas, calizas, sales y yesos, siendo la capa inferior del acuífero impermeable por las arcillas del Triásico (Prado Pérez, 2011). Es en estos materiales donde se aprecian las fracturas que permiten la llegada del agua al Manantial de Alicún de las Torres y que fueron originadas por el Sistema de Fallas de Cádiz-Alicante (Sanz de Galdeano, et al., 2012). Sin embargo la influencia de esta Unidad Hidrogeológica en las aguas del Balneario es limitada ya que no encontramos en ellas gran cantidad de cloruro ni de sodio, que debería aparecer relacionado con las sales triásicas (Prado Pérez, 2011).

A continuación (Figura 6) se representa el esquema hidrogeológico responsable de la surgencia de las aguas termales minero-medicinales de Alicún de las Torres:

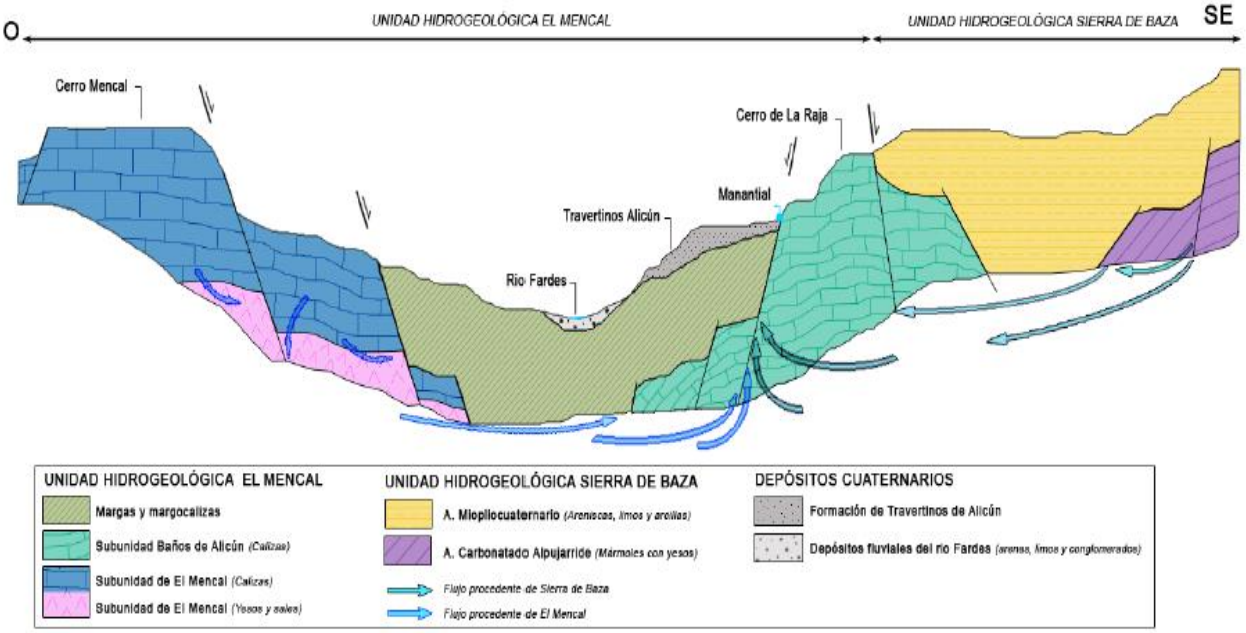

Figura 6: Esquema de circulación de las aguas termales minero-medicinales del Balneario de Alicún de la Torres (Prado Pérez, 2011).

4.2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS

Por medio de los parámetros analíticos de las aguas del Balneario (Anexo 1 [Tabla 2]) podemos apuntar que, de acuerdo a la clasificación de Piper-Hill-Langelier (Figura 3), nos encontramos ante un agua sulfatada cálcica-magnésica. Si nos referimos a la clasificación legislativa (BOE, 2010), en cuanto a los componentes mayoritarios, estamos ante un agua cálcica, magnésica, sulfatada e hipotermal.

Si atendemos al Diagrama de Piper-Hill-Langelier (Figura 3), en los aniones, aparece como predominante, con casi el 82%, el sulfato, seguido de bicarbonato y cloruro, con un porcentaje muy limitado. Por su parte, los cationes más abundantes son el calcio (60%) y el magnesio (35%). Esta distribución iónica corresponde con el esquema hidrogeológico antes explicado, en el que el agua, a su paso por los depósitos carbonáticos con bancos de yeso de la Sierra de Baza, se carga de sulfatos y calcio por la disolución de los yesos. Así, si observamos el Diagrama de Schoeller Berkaloff (Figura 4), encontramos la carga aniónica, sobre todo en forma de sulfatos (1359 mg/L) y bicarbonatos (205 mg/L).

En cuanto a los cationes, aparecen en mayor medida el calcio (359 mg/L) y el magnesio (126 mg/L).

Si analizamos la temperatura de las aguas, vemos como éstas son hipotermales, con 32,2ºC. Su conductividad es elevada (2124 µS/cm) por la disolución de los yesos. Por último, el pH es neutro y tiene un valor de 7,1, una cifra normal tratándose de aguas subterráneas.

4.3. BALNEARIO DE CALDES DE BOÍ

4.3.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA E IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA

El Balneario de Caldes de Boí se encuentra en el municipio de Valle de Boí, en la provincia de Lérida. Se sitúa en un entorno natural protegido por la cercanía al Parque Nacional de Aigüestortes y el Estany de Sant Maurici (Caldes de Boí Balneari, 2015) y aparece contenido en el fondo del valle de Noguera de Tor (Román Saldaña, 2006).

En cuanto a la importancia socioeconómica, solo decir que este balneario es unos de los centros termales más importantes de España y Europa; siendo muestra de ello el otorgamiento del Record Guiness Mundial por la variedad de aguas minero-medicinales en un mismo punto. En concreto, la importancia de estas aguas proviene del siglo I y II, puesto que ya eran utilizadas por los Romanos (Caldes de Boí Balneari, 2015).

4.3.2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y ORIGEN DE LAS AGUAS

Geológicamente, situamos a Caldes de Boí en los Pirineos, y concretamente en el Macizo de La Maladeta, perteneciente al Pirineo Axial. Este Macizo es uno de los ejemplos de las intrusiones de cuerpos ígneos que se produjeron en la zona pirenaica en los últimos episodios de la Orogenia Hercínica. La Maladeta, por tanto, se configura como un batolito conformado por material granodiorítico (Vera, 2004).

En cuanto a la hidrogeología de Caldes de Boí, podemos decir que esta zona termal se encuentra enmarcada, como ya se ha comentado, en el macizo granodiorítico de La Maladeta (Torrijo, et al., 2001) y en contacto con una falla de origen alpino y dirección WNW-ESE y su sistema de fallas asociado. Esta falla, responsable del surgimiento del agua termal en superficie, transcurre desde

el valle del Noguera-Ribagorzana (al oeste de Caldes) hasta el valle de Noguera de Tor, donde se sitúa Caldes (Figura 7) y, en dicho tramo, pone en contacto el Macizo de la Maladeta con las series paleozoicas aledañas. Por su parte, la recarga se produce en la divisoria de los dos valles anteriores, en el entorno del Lago Estani Roig, por donde se infiltra el agua de lluvia a través de la falla hasta alcanzar una profundidad cercana a los tres kilómetros y ascender al Balneario posteriormente (Figura 8) (Pinuaga, et al., 1989).

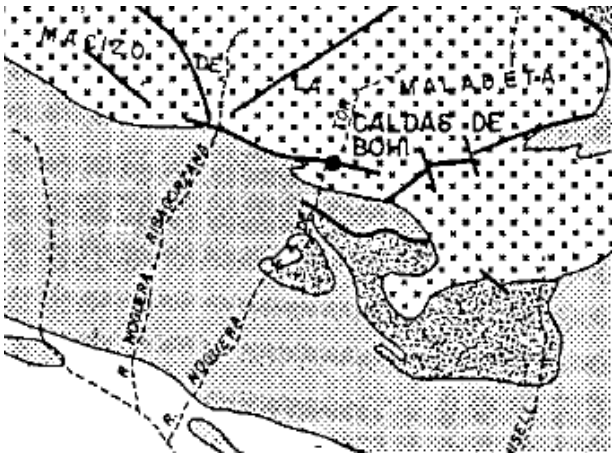

Figura 7: Situación de Caldes de Boí en el interior del Macizo granodiorítico de La Maladeta y en contacto con la falla que transcurre entre el Valle de Noguera Ribargorzana (al oeste) Y el de Noguera de Tor, que contiene a Caldes (Pinuaga, et al., 1989).

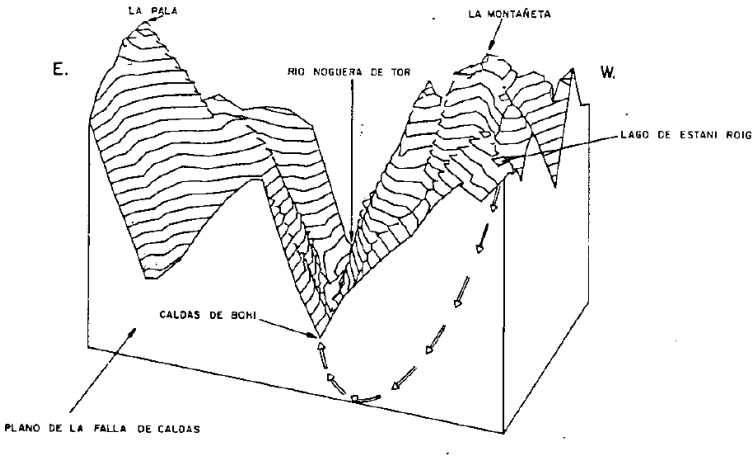

Figura 8: Bloque diagrama cortado en el sentido de la falla que muestra la topografía, el plano de falla y la circulación del agua desde la recarga, en el lago Estani Roig, hasta la descarga en el valle de Noguera de Tor (Pinuaga, et al., 1989).

4.3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS

Por medio de los parámetros analíticos de las aguas del Balneario (Anexo 1 [Tabla 3]) podemos apuntar que, de acuerdo a la clasificación de Piper-Hill-Langelier (Figura 3), nos encontramos ante un agua con carácter clorurado-bicarbonatado sódico. Si nos referimos a la clasificación legislativa (BOE, 2010), en cuanto a los componentes mayoritarios, no alcanza ningún valor límite para catalogarla. Su temperatura es mesotermal.

De acuerdo al Diagrama de Piper-Hill-Langelier (Figura 3), en los cationes, encontramos como predominante al sodio (86%), seguido del calcio (8%). En cuanto a sus aniones, se puede decir que están muy repartidos, existiendo unos porcentajes similares en bicarbonato, sulfatos y cloruros, siendo algo mayor el del bicarbonato (37%). Por medio del Diagrama de Schoeller Berkaloff (Figura 4), observamos que los valores de sodio analizados son cercanos a 37 mg/L, siendo el valor de los demás cationes de algunas unidades. En cuanto a los aniones, como ya hemos comentado, tienen cantidades muy similares. Destaca el bicarbonato con 43 mg/L, seguido de sulfatos y cloruros con 25 mg/L.

Si nos fijamos en la temperatura, estamos ante aguas mesotermales con temperaturas muy cercanas a los 40ºC, producto de una ascensión rápida por las fracturas graníticas asociadas al esquema hidrogeológico.

Su conductividad tiene unos valores bajos (200 µS/cm), puesto que es agua que circula por granitos y no se encuentra con minerales solubles (Garcóa Sanz, et al., 2007). Por su parte, el pH es alcalino y tienen un valor de 9,1, estando esta cifra, al igual que su composición, relacionada con la hidrólisis de los silicatos (Hernández García & Fernández Ruiz, 2002).

Por último, hay que apuntar un medio-alto contenido en sílice (40 mg/L), producto de nuevo de la disolución de los silicatos de los granodioritas.

4.4. BALNEARIO DE TRILLO

4.4.1. SITUACION GEOGRÁFICA E IMPORTANCIA SOCIECONÓMICA

El Balneario Carlos III se enmarca al este de la provincia de Guadalajara, en la localidad de Trillo, a escasos metros del curso del río Tajo, en plena Alcarria Alta

y a pocos kilómetros del inicio del Alto Tajo y la Serranía de Cuenca (Balneario Carlos III, 2010).

Sus aguas ya fueron utilizadas en edad romana, aunque su máximo apogeo llegó en el siglo XVIII cuando Carlos III se interesó y mandó investigar sobre las propiedades curativas de estas aguas (Balneario Carlos III, 2010).

A partir de ese momento el Balneario cambio de propietarios repetidas veces hasta que en 1937 fue nombrado Leprosería Nacional, siendo un centro de referencia para la cura de esta enfermedad. Por último, el Balneario pasó a ser titularidad del Ayuntamiento de Trillo, que lo reconstruyó totalmente en 2003 y lo acondicionó como un centro moderno y con múltiples técnicas terapéuticas (Saldaña, 2008).

4.4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y ORIGEN DE LAS AGUAS

Geológicamente, el manantial del Balneario Carlos III de Trillo se encuentra situado en la parte Oriental de la Cuenca del Tajo, también llamada Depresión Intermedia (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1989).

En esta Depresión Intermedia, de carácter endorreico y de origen alpino, abundan materiales detríticos, carbonáticos y evaporíticos terciarios, configurados en diferentes condiciones climáticas (Díaz & Mediavilla, 2011). El origen de estos materiales lo encontramos en los procesos de erosión de los sistemas montañosos colindantes (Torres, et al., 1983) .

Por ende, las aguas del Balneario de Trillo circulan subterráneamente por los materiales calizos del Paleógeno, generados en épocas semiáridas, entre los que aparecen algunos bancos de yeso creados en periodos áridos (Figura 9)(Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1989).

Así, la recarga se produce por el agua de precipitación, que desciende hasta una profundidad cercana a los 1500 metros. Por su parte, la descarga, en la zona con un menor potencial hidráulico, se ve favorecida por el anticlinal (Figura 9) que cruza el Balneario de Trillo con dirección N-S y que se encuentra condicionado por la falla que afecta a los materiales subyacentes (ENRESA, 1987).

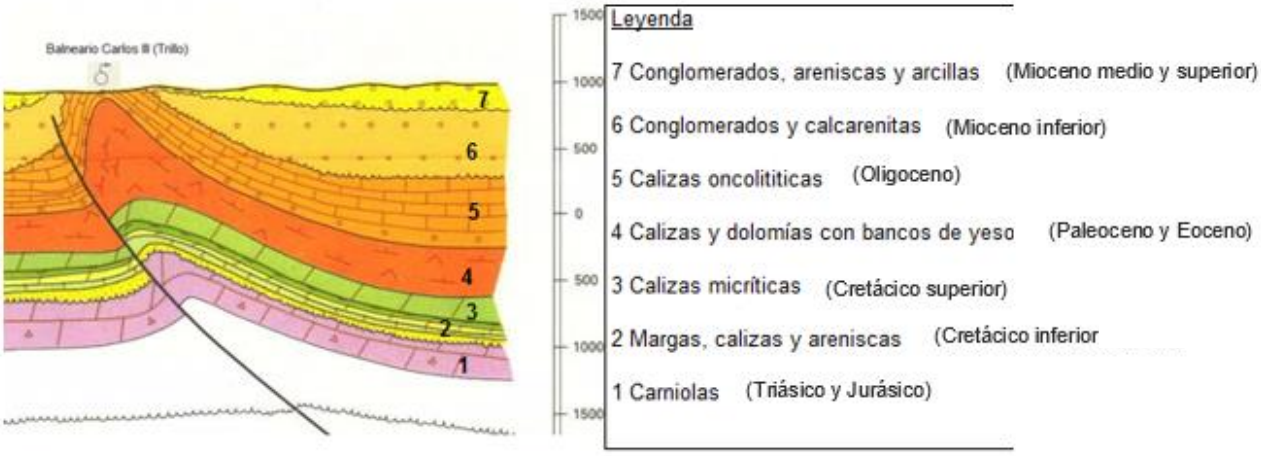

Figura 9: Corte geológico del entorno del Balneario de Trillo donde se muestra el antclinal responsable del surgimiento de las aguas. Modificado de: (Instituto Geológico y Minero de España, 1989).

4.4.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS

Por medio de los parámetros analíticos de las aguas del Balneario (Anexo 1 [Tabla 4]) podemos apuntar que, de acuerdo a la clasificación de Piper-Hill-Langelier (Figura 3), nos encontramos ante un agua sulfata cálcica. Si nos referimos a la clasificación legislativa (BOE, 2010), en cuanto a los componentes mayoritarios, estamos ante un agua cálcica, magnésica, sulfatada e hipotermal.

El reparto iónico, que puede verde en el Diagrama de Piper-Hill-Langelier (Figura 3), tiene unas características muy definidas, siendo el catión predominante el calcio (71%), seguido del magnesio (26%). En los aniones, destaca claramente el sulfato con un 82 %, quedando repartido el restante entre bicarbonato y cloruro en proporciones similares. Estas características iónicas, con altos porcentajes en calcio y sulfatos, son propias de acuíferos que contienen bancos de yeso y tienen un carácter carbonatado, como es el caso del material dispuesto en la Depresión Intermedia a la altura de Trillo. En efecto, por medio del Diagrama de Schoeller Berkaloff (Figura 4), encontramos al sulfato con cantidades de 1560 mg/L, seguido solo por el bicarbonato 282 mg/L. Si hablamos de los cationes, el calcio presenta valores de 540 mg/L y el magnesio 120 mg/L, siendo los demás cationes poco significativos.

La conductividad es de 2280 µS/cm, un valor alto relacionado con la gran capacidad de disolución que tienen los yesos por los que circula el agua de Trillo. La temperatura es hipotermal con valor de 28ªC. Por último, el pH es neutro (7,3), un valor normal para las aguas subterráneas.

5. PROPIEDADES TERAPEÚTICAS

A continuación se exponen las propiedades terapéuticas de cada establecimiento balneario en relación a las características físico-químicas de sus aguas.

5.1. BALNEARIO DE MONDARIZ

Nos centraremos en la acción del dióxido de carbono, por ser ésta la actividad balnearia principal, que se realiza por vía tópica e inhalatoria (Balneario de Mondariz, 2016). Se producen mejoras, sobre todo en:

- Aparato circulatorio (Balneario de Mondariz, 2016): si unimos la baja temperatura del agua de Mondariz y su carácter carbónico encontramos un agua que tiene efectos hipertensivos por acciones de vasodilatación y concentración de CO_2 en el corazón (Rodríguez Míguez, 2002). Esta vasodilatación por acción directa del gas provoca una mayor irrigación al aumentar el tiempo diastólico. Por este motivo es un agua muy indicada para los tratamientos de celulitis o varices (Lalli, 2009).
- Aparato respiratorio (Balneario de Mondariz, 2016): se experimenta una menor frecuencia de respiración con mayor amplitud en la inspiración y expiración. Por tanto se produce una mejora en la oxigenación del cuerpo (Lalli, 2009).
- Aparato urinario (Balneario de Mondariz, 2016): hay que destacar un potente efecto diurético ya que el gas produce la vasodilatación de las mucosas estomacales que conlleva una absorción rápida a continuación, que acaba en un mayor volumen de orina (Lalli, 2009).

Además de ello y, por su contenido en bicarbonato y sodio, son indicadas para tratar el reumatismo, los problemas respiratorios y el estrés (Balneario de Mondariz, 2016).

5.2. BALNEARIO DE ALICÚN DE LAS TORRES

Las acciones terapéuticas de estas aguas vienen de acuerdo a sus tratamientos y formas de administración, que se produce por vía tópica y en menor medida por vía oral. Hay que destacar en las aplicaciones curativas su composición química y la termalidad propia de las aguas (Francés, et al., 2009).

En cuanto a la vía tópica, las aguas de Alicún son recomendables para las afecciones del aparato locomotor y sobre todo las de tipo reumático. Además está muy indicada para pacientes con situaciones de estrés, depresión, minusvalías propias del envejecimiento o afecciones dermatológicas como dermatitis (Francés, et al., 2009).

Además de estos efectos terapéuticos asociados a los componentes químicos mayoritarios, hay que destacar las consecuencias que tiene la temperatura de surgencia, que es próxima a la temperatura interna del cuerpo humano. Por ello, esta termalidad se asocia con beneficios tales como:

- Activación de la circulación por la vasodilatación (Francés, et al., 2009).
- Acciones analgésicas y sedantes derivadas de la atenuación de los receptores nerviosos por el calor (Francés, et al., 2009).
- Relajación muscular (Rodríguez Míguez, 2002).

5.3. BALNEARIO DE CALDES DE BOI

Estas aguas han sido utilizadas a lo largo de la historia por vía tópica, inhalación y oral y sus propiedades terapéuticas residen en su alto grado de termalidad y, en menor medida, en su contenido en componentes minoritarios como la sílice (Pinuaga, et al., 1989). Por ello se utiliza para las siguientes patologías:

- Afecciones dermatológicas (Caldes de Boí Balneari, 2015): es posible el tratamiento gracias a su alto contenido en sílice que genera placas coloidales capaces de intervenir en estas enfermedades (Lalli, 2009).
- Sistema respiratorio (Caldes de Boí Balneari, 2015): se utilizan mediante baños e inhalación y tiene un efecto similar al suero fisiológico comercial. Esto provoca una relajación en las patologías respiratorias crónicas, una acción mucolítica y de descongestión, disminución de la tos y efectos expectorantes (Lalli, 2009).

A parte de estas características terapéuticas asociadas a la mineralización, también encontramos aplicaciones médicas de acuerdo a su elevada temperatura de surgencia. Ésta propicia una acción vasomotora, dilatando los vasos y aumentando la velocidad de la sangre por el aumento de la presión hidrostática del cuerpo. Además, se generan endorfinas que disminuyen la sensibilidad al dolor y se eliminan y disuelven distintas toxinas del cuerpo. Por último, la temperatura ayuda a la absorción de los tejidos, provocando una estimulación del metabolismo y mejorando la digestión (Lalli, 2009).

5.4. BALNEARIO DE TRILLO

Las aguas de Trillo, por su alto contenido en sulfatos y calcio, están recomendadas para afecciones reumatológicas, dermatológicas, del aparato respiratorio, y para el agotamiento físico y sicológico (TermaEuropa S.A., 2016).

Pero sin duda, si hablamos de la historia del Balneario de Trillo, debemos apuntar la utilización de este recinto y sus aguas como Leprosería Nacional. Esto ocurrió en el periodo desde 1937 hasta 1944, llegando a este recinto enfermos de toda España que fueron aislados y tratados casi con disciplina militar en su interior (Torres, 1999). Hoy en día, no podemos saber porque la gente mejoraba esta patología por el agua de Trillo, aunque podemos apuntar a que son aguas muy ricas en compuestos de azufre, al igual que la Sulfona, que hoy en día es la mejor terapia contra la lepra (Anexo 3).

6. DISCUSIÓN

Como ya hemos explicado, cada uno de los Balnearios elegidos se encuentra en una Unidad Geológica diferente, de las que dividen la Península Ibérica. Sin embargo, de acuerdo a las características de sus aguas, a su contexto geológico y a las propiedades terapéuticas asociadas, podemos establecer relación entre ellos.

Así, si observamos las Figuras 3, 4 y 10 vemos como los Balnearios de Trillo y Alicún de las Torres, aun ocupando Unidades Geológicas diferentes, tienen una composición iónica muy semejante, predominando los sulfatos (82% en Alicún y 82% en Trillo) y el calcio (60% en Alicún y 71% en Trillo). Este hecho es debido a que en ambos Balnearios, las aguas circulan por materiales calcáreos y bancos

de yeso que se disuelven por el paso del agua. Además de los dos iones predominantes, los Balnearios anteriores comparten valores semejantes en los demás iones y en sus propiedades físicas como la conductividad que es de 2280 µS/L para Trillo y de 2124 µS/cm para Alicún, siendo las dos aguas bastante mineralizadas. Por su parte, la temperatura de surgencia de las aguas también se encuentra relacionada, siendo de 28ºC para Trillo y de 32ºC para Alicún de las Torres, correspondiendo en ambos casos con aguas hipotermales.

Además de la relación entre estos dos Balnearios en cuanto a las características físico-químicas de las aguas y a la litología del entorno, también encontramos esta correspondencia, como es lógico, en las indicaciones terapéuticas que ofertan los Balnearios. Así, para los dos, encontramos beneficios para problemas en el aparato locomotor, afecciones dermatológicas, patologías psicológicas y síntomas de envejecimiento como el agotamiento muscular. Sin embargo, algunas de estas indicaciones terapéuticas (patologías psicológicas y agotamiento muscular) no están del todo relacionadas con las características de las aguas, según lo expuesto por Lalli en 2009, y se basan más en las tecnología terapéuticas de los Balnearios.

Por su parte, los Balnearios de Caldes de Boí y Mondariz no guardan prácticamente ninguna relación, ni en la composición de las aguas ni en sus propiedades terapéuticas, con los Balnearios de Alicún de las Torres y Trillo, de los que antes hablábamos. Sin embargo, entre ellos, podemos obtener algunas semejanzas, aunque menos pronunciadas que en el anterior caso. Primeramente hay que apuntar que las dos aguas son de origen granítico y presentan unas características asociadas a este fenómeno. Así, si observamos la Figura 10 vemos como el catión predominante en Caldes de Boí y Mondariz es el sodio con un 86% y 75% respectivamente. Por su parte, el anión más influyente es el bicarbonato con 37% y 90% .En cuanto a los demás parámetros, podemos decir que guardan poca relación, siendo muy significativa la diferencia de mineralización entre Caldes de Boí (200 µS/cm) y Mondariz (1455 µS/cm), apareciendo como causa de este fenómeno la diferencia de tiempo de residencia y distancia de flujo de las aguas en el acuífero, siendo mayor en los dos casos el de Mondariz. Además de ello, las temperaturas tampoco aparecen relacionadas por el mismo motivo. En cuanto al pH, también difieren en gran

cantidad por las razones explicadas en los apartados correspondientes a cada Balneario.

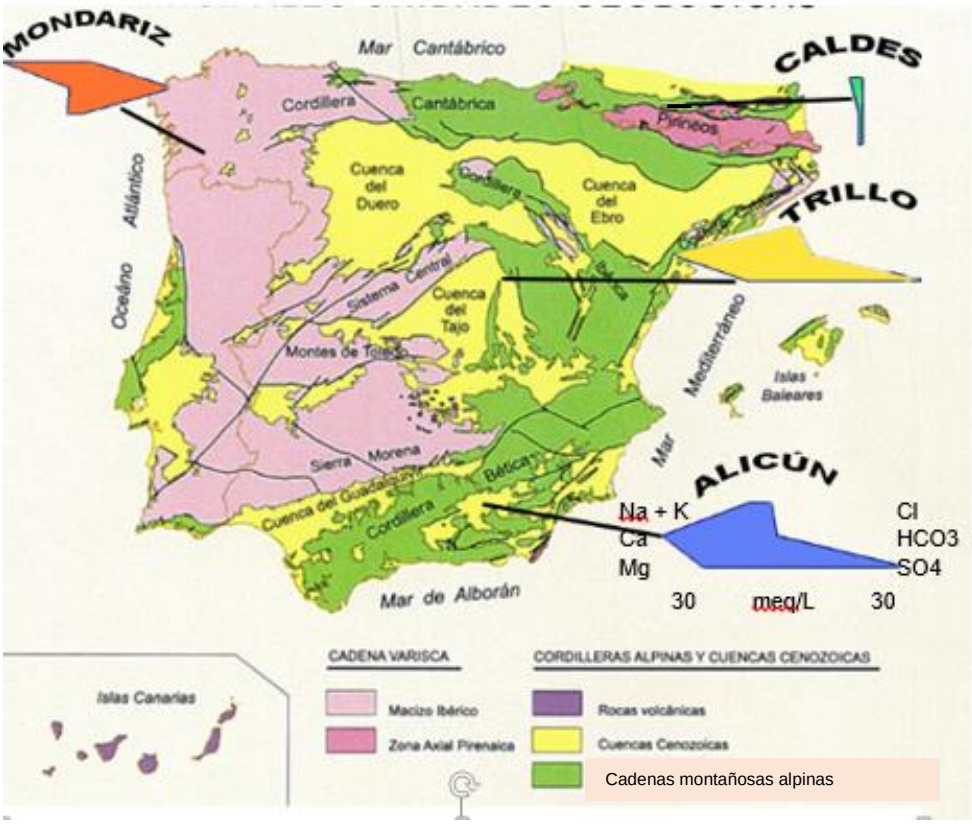

Figura 10: Representación de la carga iónica de las aguas de los Balnearios seleccionados mediante el Diagrama de Stiff, indicando la localización de cada Balneario dentro de las grandes Unidades Geológicas de la Península Ibérica. Modificado de: (investigaciónyciencia.es, 2014)

En cuanto a las propiedades terapéuticas de Caldes de Boí y Mondariz, al igual que pasa con la distribución iónica, no guardan mucha relación. Esto se debe a que en Caldes de Boí casi todas las propiedades están relacionadas con su alta temperatura de surgencia (tiene muy poca mineralización) y en Mondariz con su carácter carbónico y, en menor medida, por su alto contenido en bicarbonatos. Tal como pasaba con Trillo y Alicún de las Torres, las terapias que ofertan los balnearios no se corresponden en la totalidad con las propiedades terapéuticas generales de acuerdo a la carga iónica y se basan, en algunos casos, en la tecnología, la temperatura y en componentes minoritarios como la sílice, en el caso de Caldes de Boí.

7. CONCLUSIÓN

A partir de la información expuesta en este estudio, se pueden articular las siguientes conclusiones:

- Pueden obtenerse aguas termales minero-medicinales en materiales muy solubles como lo yesos y en materiales poco solubles como las rocas cristalinas si el modelo hidrogeológico es apto para ello, como en el caso de los Balnearios seleccionados para este estudio.
- Las características iónicas de las aguas de los Balnearios estudiados están íntimamente relacionadas con la litología y el modelo hidrogeológico responsable del afloramiento. Así podemos establecer dos tipos de facies para los cuatro balnearios estudiados:
    - Sulfatada cálcica: se incluyen Trillo y Alicún de las Torres por el recorrido de sus aguas por depósitos carbonatados con yeso.
    - Bicarbonatada sódica: se incluyen Caldes de Boí y Mondariz por el recorrido de sus aguas por depósitos graníticos.

  Con ello, se demuestra que es posible encontrar aguas con características físico-químicas semejantes, aun no compartiendo el mismo Dominio Geológico.
- El grado de termalidad de las aguas en su surgencia depende del gradiente geotérmico, de la profundidad hasta la que desciende el agua y de la celeridad con la que la misma ascienda hasta la superficie. Así, encontramos un amplio rango de temperaturas que van desde los 18ºC de Mondariz hasta los 38ºC de Caldes de Boí.
- Las indicaciones terapéuticas de los Balnearios estudiados guardan relación con las propiedades físico-químicas de las aguas. Sin embargo, es difícil establecer una clasificación general de las medidas terapéuticas dependientes de los iones debido al carácter particular de cada establecimiento Balneario.
- Los Balnearios ofertan medidas terapéuticas que, en ocasiones, no se pueden relacionar con las propiedades físico-químicas de sus aguas y sí con la tecnología empleada en el Balneario.

BIBLIOGRAFÍA

Aguas de Mondariz Fuente de Val S.L. (2009). "Historia del manantial". [En línea]
Available at: http://www.aguasdemondariz.com/historia-del-manantial
[Último acceso: 8 06 2016].

Armijo-Valenzuela, M., San Martín, J. (1994). "Clasificación de las aguas mineromedicinales". En Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia. Ed. Complutense. Madrid.

Baeza Rodríguez-Caro, J., Durán Valsero, J. J., Cuchí Oterino, J. A. (2001). "Las aguas minerales en España". Ed. Insituto Geológico y Minero de España. Madrid

Ballesteros Fiel, M., 1768. Examen physico-medico-chyrurgico de las aguas thermales de Buendia y de Sacedon. Madrid

Balneario Carlos III (2010). "Información general". [En línea]
Available at: https://www.balneariocarlostercero.com/informacion.php
[Último acceso: 10 05 2016].

Balneario de Alicún de las Torres (2010). "Historia del Balneario". [En línea]
Available at: http://www.balneariodealicun.com/es/historia
[Último acceso: 20 05 2016].

Balneario de Mondariz (2016). "Balneario". [En línea]
Available at:
http://www.balneariomondariz.es/index.php?V_dir=contents&V_mod=articulos&id=4&PHPSESSID=5nstqn6b92ehujagakejuohgs0&
[Último acceso: 28 06 2016].

BOE (1978). "Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería". Boletín Oficial del Estado. España.

BOE (2010). "Real Decreto 2857/1978, de 25 de agosto, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasada para consumo humano". Boletín Oficial del Estado. España.

Caldes de Boí Balneari (2015). "Historia". [En línea]
Available at: http://www.caldesdeboi.com/es/balneario-boi/historia-aguas
[Último acceso: 1 06 2016].

Caldes de Boí Balneari (2015). "Aguas termales". [En línea]
Available at: http://www.caldesdeboi.com/es/balneario-boi/aguas-termales
[Último acceso: 02 06 2016].

Castillo Campos, M. J. (1992). "Historia del Balneario de Mondariz hasta 1936". Tesis Doctoral Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

Corral LLedó, M. M. et al, (2006). "Estudio de la relación entre los componentes físico-químicos de las aguas minerales y las características geológicas de Galicia". Ed. Ministerio de Ciencia y Tecnología - IGME. Madrid.

Custodio, E., Llamas, M. R., (1983). "Hidrología Subterránea". Ed. Omega. Segunda ed. Barcelona.

Díaz, E., Mediavilla, A. (2011). "Nos vemos en el Terciario". En Memoria de la segunda jornada geológica de Cifuentes. Ed. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

ENRESA (1987). "Inventario Nacional de Formaciones Geológicas Favorables para el almacenamiento de RRAA: Cuenca del Tajo". (Informe interno). Madrid.

Francés, C., et al. (2009). "Memoria nº 30. Estudios sobre el Balneario de Alicún de las Torres (Granada)". Ed. Real Academia Nacional de Farmacia. Madrid.

Garcóa Sanz, S., et al. (2007). "Procesos geoquímicos que afectan a las soluciones termales de circulación profunda a través de materiales graniticos". Geología y termalismo, vol. 5, pp. 79-86.

Hernández García, M. E., Fernández Ruiz, L. (2002). "Presencia de arsénico de origen natural en las aguas subterráneas del acuífero detrítico del Terciario de Madrid". Ed. Boletín Geológico y Minero. Madrid.

Insituto Geológico y Minero de España (1989). "Mapa Geológico de España E. 1:50000 Cifuentes". Ed. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Instituto Geológico y Minero de España (1981). "Mapa Geológico de España E. 1:50000 Puenteareas". Ed. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Instituto Tecnológico GeoMinero de España (1989). "Informe sobre las posibilidades de captación de aguas subterráneas para el abastecimiento de agua potable a la población de Trillo". Ed. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.

investigacionyciencia.es (2014). "Unidades geológicas de la Península Ibérica". [En línea]
Available at: http://www.investigacionyciencia.es/files/16417.png
[Último acceso: 01 06 2016].

Junta de Andalucía (2005). "Cuenca de Guadix-Baza". Guía de Georrecursos de Andalucía. Ed. Junta de Andalucía. Sevilla.

Lalli, A. (2009). "Análisis de las propiedades curativas de las aguas termales de Chile". Ed. Fundación Empresarial Cominudada Europe - Chile. Santiago de Chile.

Ortega, A. R. (2008). "Aguas minero-medicinales de Galicia". Ed. Asociación de Personal Docente Jubilado de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

Ortega, C. (1778). "Tratado de las aguas thermales de Trillo". Madrid.

Pinuaga Espejel, J. I. (1998). "Infraestructura Hidrotermal". Jornadas de aguas minerales y minero medicinales en España. Ed. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Madrid.

Pinuaga, J., Rodríguez, W., Mena, J. (1989). "Reseña Geológica e Hidrogeológica del conjunto de aguas minerales". Monografía XV. Balneario de Caldas de Bohi. Ed. Real Academia Nacional de Farmacia. Madrid.

Porras Martín, J., López-Guerrero Nieto, P., Álvarez Fernández, C., Fernández Uría, A. (1985). "Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España". Ed. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Prado Pérez, A. J. (2011). "El sistema termal de Alicún de las Torres (Granada) como análogo natural del escape de CO2 en forma de DIC". Tesis Doctoral Universidad Cumplutense de Madrid. Madrid.

Rodríguez Míguez, L. (2002). "Water. Therapeutic effects of water according to its composition". Fisioterapia, 2(24), pp. 22-28.

Román Saldaña, J. R. (2006). "Comarca de La Ribagorza: La geología". Ed. Diputación General de Aragón. Departamento de Presidencia y Relaciones Institucionales. Zaragoza.

Saldaña, P., (2008). "Trillo quiere recuperar su balneario original". La Crónica de Guadalajara, 12 de abril, p. 12.

Sánchez San Román, J. (2012). "Evolución geoquímica de las aguas subterráneas". Apuntes teóricos de Hidrologia e Hidrogeología. Ed. Universidad de Salamanca. Salamanca.

Sanz de Galdeano, C., et al. (2012). "Main active faults in the Granada and Guadix-Baza Basins (Betic Cordillera)". Journal of Iberian Geology, Vol. 28. Madrid.

Saz Peiro, P. (2008). "Crenoterapia. Aguas minero-medicinales. Clasificación". Selección de recursos sobre Agua y salud. Ed. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.

TermaEuropa S.A. (2016). "Información general". [En línea]
Available at: https://www.balneariocarlostercero.com/informacion.php
[Último acceso: 13 06 2016].

Torres, R. (1999). "Los restos del naufragio". El País, 31 de enero. [En línea]
Available at:

http://elpais.com/diario/1999/01/31/sociedad/917737203_850215.html [Último acceso: 11 06 2016].

Torres, T., Zapata, J. L., Portero, J. M. (1983). "El terciario de la Depresión intermedia entre la Serranía de Cuenca y la Sierra de Altomira". En Libro Jubilar de D. José M. Ríos. Geología de España. Ed. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Torrijo, F., Melgulzco, C., Garijo, M., Bueso, J. (2001). "Estudio sismotécnico del entorno del macizo de la Maladeta, sector de Vielha (Lérida)". Geogaceta, Vol 29. Madrid.

Vera, J. A., 2004. "Geología de España". Ed. Insituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Zafra Moreno, I. (2013). "Aspectos legales de las aguas de bebida envasadas". En Panoramo actual de las Aguas Minerales y Minero-medicinales en España. Ed. ANEABE. Madrid.

ANEXOS

Anexo 1: Análisis físico-químicos de las aguas de los Balnearios elegidos para el estudio 32

Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario de Mondariz 32
Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario de Alicún de las Torres 33
Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario de Caldes de Boí 34
Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario de Trillo 35

Anexo 2: Anuncio de las Aguas minero-medicinales de Cifuentes 36

Anexo 3: Técnicas utilizadas en el balneario Carlos III de Trillo para la curación de la lepra 37

ANEXO 1

Tabla 1: Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario de Mondariz.

Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario de Mondariz			
Cedido por: Balneario de Mondariz			
Realizado por: Dr. Oliver Rodés			
Año de realización: 2014			
Comentarios: Análisis rutinario realizado en condiciones normales			
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS			
Iones			
Aniones	**mg/L**	**Cationes**	**mg/L**
Bicarbonato	1296	Sodio	400
Cloruro	85	Calcio	56
Sulfatos	2.8	Magnesio	42
Fluoruro	2.6	Potasio	38
Nitratos	1.0	Hierro	4.0
Carbonatos	0	Litio	0.3
Temperatura (ºC)		17.9	
Conductividad a 25ºC (µS/cm)		1455	
pH		6.3	

Tabla 2: Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario de Alicún de las Torres.

Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario de Alicún de las Torres			
Cedido por: Balneario de Alicún de las Torres			
Realizado por: Aquacontrol			
Año de realización: 2013			
Comentarios: Análisis rutinario realizado en condiciones normales			
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS			
Iones			
Aniones	**mg/L**	**Cationes**	**mg/L**
Bicarbonato	205	Sodio	48
Cloruro	88	Calcio	359
Sulfatos	1359	Magnesio	126
Fluoruro	1.7	Potasio	6.2
Nitratos	2.6	Hierro	-
Carbonatos	-	Litio	0.1
Temperatura (ºC)		32.2	
Conductividad a 25ºC (µS/cm)		2124	
pH		7.1	

Tabla 3: Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario de Caldes de Boí.

Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario de Caldes de Boí (Font de Bou)			
Cedido por: Balneario de Caldes de Boí			
Realizado por: Dr. Oliver Rodés			
Año de realización: 2015			
Comentarios: Análisis rutinario realizado en condiciones normales			
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS			
Iones			
Aniones	**mg/L**	**Cationes**	**mg/L**
Bicarbonato	42	Sodio	36
Cloruro	24	Calcio	5.6
Sulfatos	26	Magnesio	0.5
Fluoruro	2.0	Potasio	1.8
Nitratos	1.3	Hierro	0.1
Carbonatos	0	Litio	0.2
Temperatura (ºC)		38.0	
Conductividad a 25ºC (µS/cm)		200	
pH		9,1	

Tabla 4: Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario Carlos III de Trillo.

Análisis físico-químicos de las Aguas del Balneario Carlos III de Trillo			
Cedido por: Termaeuropa S.A. (Balneario Carlos III)			
Realizado por: Valero Analítica			
Año de realización: 2015			
Comentarios: Análisis rutinario realizado en condiciones normales			
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS			
Iones			
Aniones	**mg/L**	**Cationes**	**mg/L**
Bicarbonato	282	Sodio	19
Cloruro	251	Calcio	534
Sulfatos	1457	Magnesio	112
Fluoruro	-	Potasio	3.1
Nitratos	1,5	Hierro	-
Carbonatos	-	Litio	-
Temperatura (ºC)		28.0	
Conductividad a 25ºC (µS/cm)		2280	
pH		7.3	

ANEXO 2

Anuncio del periódico “El Imparcial” del jueves 14 de septiembre de 1905 donde se exponen los resultados de la analítica y las aplicaciones del agua minero-medicinal de Cifuentes (hoy en día desaparecida).

EL IMPARCIAL (4) Jueves 14 de Setiembre de 1905

COMPOSICIÓN DEL AGUA SEGÚN EL ANÁLISIS practicado por los Doctores Ilmo. Sr. D. José Pontes y D. Manuel Alvarez Ude, Farmacéuticos de Cámara de S. M. el Rey D. Alfonso XIII.

Temperatura media en el manantial 12° c.
Densidad del agua. 1.0001

Gases en un litro de agua

Acido sulfhídrico.		6,99 c. c.
Aire atmosférico 5,30 c. c., compuesto de	Nitrógeno . .	3,51 »
	Oxígeno . . .	1,63 »
	Anhídrido carbónico	0,15 »
Anhídrido carbónico combinado . .		70,22 »

Substancias sólidas de un litro de agua

Sulfuro cálcico	0,020110
Bicarbonato cálcico.. . . .	0,395801
— magnésico. . .	0,102594
Sulfato cálcico	0,031982
— magnésico. . .	0,036317
— sódico.. . . .	0,003551
Cloruro magnésico..	0,008906
— sódico..	0,008148
Silicato alumínico.	0,082154
Acido fosfórico.	indicios
Oxido de hierro..	»
Materia orgánica (Glairina) .	0,040121
Total. . . .	0,729684

Parecidas en su composicición á las de Arechavaleta, El Molar y Liérganes en en España, y Cuaterets y Enghien en Francia.

AGUAS sulfuradas-cálcico-sulfhídricas-bicarbonatadas de

POTERRE

CIFUENTES (Guadalajara)

Depósito general MARTIN Y DURAN

Tetuán, 3.—MADRID

Venta en todas las Droguerías y Farmacias

APLICACIONES

Hállase indicado el uso de estas aguas en las enfermedades crónicas de la piel, como herpes, efélides, disposiciones erisipelatosas, eczema, psoriasis y otras, así como en el catarro pulmonar crónico, asma y tisis incipiente. Producen efectos favorables en las afecciones escrofulosas, raquitismo ó infartos glandulares, inapetencia y acedías rebeldes procedentes de atonía del tubo digestivo, y en la anemia, clorosis y otras sostenidas por debilidad general.

DÓSIS.—Deberán emplearse, casi siempre, según indicación facultativa. Salvo ésta se comenzará bebiendo un vaso de 125 gramos en ayunas, aumentando la cantidad en los días sucesivos hasta 250 gramos, divididos en dos ó tres proporciones, que se tomarán con intervalos de media hora, haciendo ejercicio moderado durante los mismos.

Las botellas deben conservarse bien cerradas y en posición horizontal, tapándolas perfectamente después de usarlas.

Si se observara que durante el reposo se forma algún sedimento, agítense antes de abrilas para que se disuelva ó interponga.

Por toda botella que se devuelva se abona 0,15 pesetas.

ANEXO 3

TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL BALNEARIO CARLOS III DE TRILLO PARA LA CURACIÓN DE LA LEPRA

Tal como nos apunta Mercedes Fernández, Directora del Centro de Investigación de la Lepra de la Finca del Soto en Trillo, este balneario fue elegido como Leprosería Nacional por la historia curativa de sus aguas, la situación penosa de postguerra, la cercanía a todos los puntos de España y el aislamiento de los grandes núcleos de población que encontramos en Trillo. Del mismo modo, nos muestra el tratamiento que los leprosos tenían en este centro por horas:

- 6:00, 11:00 y 21:00: comida e ingesta de dos vasos de agua de Trillo.
- 8:00, 12:00 y 20:00: baño y posterior aplicación de aceite de Charmigra.

Sin embargo, pocos años después se descubrió que el aceite de Charmigra no tenía ningún beneficio en el tratamiento de la lepra, curándose los enfermos, por lo tanto, solo por los baños de agua de Trillo. Más tarde se descubrió la Sulfona, que ya sí curaba la lepra totalmente y que acabó con estos tratamientos intensivos en Trillo (Torres, 1999).