

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
COMISARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

**ESTUDIO DE LOS MATERIALES DE LA CUENCA
OCCIDENTAL DEL DUERO SUCEPTIBLES DE
CONSTITUIR ACUIFEROS PROFUNDOS
CAPACES DE SER SOPORTE DE ENERGIA
GEOTERMICA DE BAJA ENTALPIA**

MEMORIA



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

00664

ESTUDIO DE LOS MATERIALES DE LA CUENCA OCCIDENTAL
DEL DUERO SUCEPTIBLES DE CONSTITUIR ACUIFEROS PRO-
FUNDOS, CAPACES DE SER SOPORTE DE ENERGIA GEOTER-
MICA DE BAJA ENTALPIA

I N D I C E

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
1.1. Introducción	2
1.2. Objetivos del proyecto	5
2. GEOLOGIA	7
2.1. Introducción	8
2.2. La Zona Cantábrica	10
2.2.1. Introducción	10
2.2.2. Estratigrafía	11
2.2.2.1. Precámbrico	11
2.2.2.2. Cámbrico	12
2.2.2.3. Ordovícico	12
2.2.2.4. Silúrico	12
2.2.2.5. Devónico	13
2.2.2.6. Carbonífero	14
2.2.2.7. Cretácico	16
2.2.3. Tectónica	16
2.2.3.1. Región de pliegues y mantos	17
2.2.3.2. La región del Pisuerga-Carrión	17
2.2.3.3. Las estructuras en el Estefaniense	18
2.2.3.4. Edad de las estructuras del Paleozoico	18
2.3. Zona Asturoccidental Leonesa	19
2.3.1. Estratigrafía	19
2.3.1.1. La división paleogeográfica	19
2.3.1.2. Precámbrico	20
2.3.1.3. Paleozoico	21
2.3.2. Tectónica	26
2.4. La Zona Centroibérica	28
2.4.1. Estratigrafía	29
2.4.1.1. Cámbrico	29
2.4.1.2. Ordovícico	33
2.4.1.3. Silúrico	35
2.4.2. Tectónica	36
2.4.3. Rocas ígneas	38
2.4.4. Rocas metamórficas	39

	Pág.
2.5. Terciario	41
2.5.1. Estratigrafía	41
2.5.1.1. Introducción	41
2.5.1.2. Facies marginales del Terciario	42
2.5.1.3. Facies centrales del Terciario	44
2.6. Pliocuaternario	47
2.7. Cuaternario	48
2.7.1. Coluviales	48
2.7.2. Terrazas	49
2.7.3. Aluviales	49
2.7.4. Arenales	49
2.8. Tectónica	50
3. HIDROGEOLOGIA	51
3.1. Climatología e hidrología	52
3.1.1. Clima	52
3.1.2. Hidrología	53
3.1.2.1. Precipitación	53
3.1.2.2. Evapotranspiración	53
3.1.2.3. Escorrentía superficial	54
3.2. Hidrogeología	55
3.2.1. Introducción	55
3.2.2. Acuíferos y su geometría	56
3.2.2.1. Acuíferos superficiales	56
3.2.2.2. Acuíferos profundos	60
3.2.3. Parametros hidrogeológicos	62
3.2.3.1. Acuíferos superficiales	62
3.2.3.2. Acuíferos profundos	64
3.2.4. Funcionamiento hidráulico	67
3.2.4.1. Acuíferos superficiales	67
3.2.4.2. Acuíferos profundos	68
3.2.5. Calidad de las aguas	69
3.2.5.1. Terciario detrítico	69
3.2.5.2. Acuíferos superficiales	70

	Pág.
4. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	72
4.1. Introducción	73
5. ESTUDIOS DETALLADOS	78
5.1. Introducción	79
5.2. Geología	81
5.2.1. Paleozoico	81
5.2.1.1. Serie de los Cabos	82
5.2.1.2. Pizarras de Luarca	82
5.2.1.3. Formación Ageira	83
5.2.1.4. Ampelitas silúricas	84
5.2.1.5. Tectónica	84
5.2.2. Mioceno	85
5.2.2.1. Mioceno Inferior-Medio (Vindoboniense)	85
5.2.2.2. Pontiense	86
5.2.2.3. Plioceno	86
5.2.3. Cuaternario	87
5.2.3.1. Terrazas	87
5.2.3.2. Aluviales	88
5.2.4. Tectónica	88
5.3. Análisis isotópicos	90
5.3.1. Introducción	90
5.3.2. Tritio	91
5.3.3. Isótopos estables	93
5.4. Hidroquímica	96
5.4.1. Introducción	96
5.4.2. Resultados	96
5.5. Termometría hidroquímica	98
5.5.1. Introducción	98
5.5.2. Métodos de geotermómetros hidroquímicos	100
5.5.3. Conclusiones	103
6. RESTANTES ZONAS	105
6.1. Introducción	106

	Pág.
6.2. Alrededores de León	107
6.2.1. Introducción	107
6.2.2. Hidroquímica	108
6.2.3. Termometrias	108
6.3. Zona Norte de Zamora	111
6.3.1. Introducción	111
6.3.2. Hidroquímica	112
6.3.3. Análisis isotópicos	112
6.3.4. Termometrias	113
6.4. Borde de la Cordillera Cantábrica	115
6.4.1. Introducción	115
6.4.2. Hidroquímica	116
6.4.3. Análisis isotópicos	116
6.4.4. Termometrias	117
6.5. Borde Occidental	119
6.5.1. Introducción	119
6.5.2. Hidroquímica	120
6.5.3. Termometrias	120
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
7.1. Conclusiones	123
7.2. Recomendaciones	129
8. BIBLIOGRAFIA	131

1. INTRODUCCION

1.1. INTRODUCCION

La crisis energética y económica desencadenada por la crisis del petróleo en otoño de 1973 a escala mundial, ha obligado a los gobiernos y empresas particulares a reconsiderar sus políticas de consumo y aprovechamiento de los recursos naturales.

Actualmente, en muchísimas regiones y zonas del mundo, el consumo de materias primas tan preciadas y cada vez más costosas como el fuel y el carbón equivalen a un escandaloso despilfarro. La presente crisis ha hecho a los responsables de las políticas energéticas fijarse en regiones naturales capaces de proporcionar fuentes de energía de fácil explotación, cuales son la energía geotérmica y la energía solar, recursos que comienzan a ser investigados y aprovechados a ritmo acelerado.

Bien es verdad que la capacidad de energía geotérmica no es igual, ni existe siempre en todas las regiones del mundo. Ciertas circunstancias geológicas permiten, a veces, contar con la posibilidad de grandes temperaturas en profundidad: yacimientos geotérmicos de agua caliente o vapor a más de -

200° C, que posibilitan no sólo la instalación de centrales eléctricas sino también el aprovechamiento de la energía geotérmica "en cascada", para fines diversos, conforme se va degradando el valor de la temperatura, centrales eléctricas (200 grados centígrados), calefacción urbana y agua caliente sanitaria (75-90° C), calefacción agrícola, invernaderos, horticultura (54° C), piscinas y calefacción de suelos agrícolas (20° C) y finalmente irrigación y piscicultura.

Pero, aparte estos casos excepcionales, en los que el aprovechamiento del agua caliente para calefacción y otros fines vendría a ser una especie de subproducto de su aprovechamiento primario para la instalación de centrales térmicas, existen muchas otras regiones naturales, con circunstancias hidrogeológicas propicias, que permiten obtener, a profundidades del orden de 1.500 a 2.000 m agua caliente a temperaturas comprendidas entre 70 y 100° C.

Además de ser más abundante este último tipo de yacimientos geotérmicos de baja entalpía, su localización es más sencilla y segura, por serlo también su explicación científica: el gradiente geotérmico, esto es, el aumento normal de la temperatura del suelo, como media de 1 grado cada 30 metros de profundidad, permite encontrar aguas calientes a profundidades relativamente grandes. Basta la existencia de un acuífero o de una roca almacén capaz de contener el agua a estas profundidades.

Estas circunstancias se suelen dar, entre otros casos, en las cuencas terciarias del mundo con acumulaciones detríticas y margosas potentes (1.500-2.000 m), sobre una base permeable, propia o de otra formación más antigua, capaz de constituir un buen acuífero.

Entre las cuencas terciarias con posibilidades concretas de obtención de agua caliente subterránea para calefacción urbana esta la CUENCA OCCIDENTAL DEL DUERO de características hidrogeológicas muy semejantes a las de la Cuenca de París, donde la explotación de los recursos geotérmicos es un hecho en la actualidad.

La investigación de posibles campos de energía geotérmica de baja entalpía, en el dominio de la Cuenca Occidental - del Duero, queda plenamente justificada por el ahorro energético que puede suponer para el erario nacional y, especialmente, por la no dependencia de fuentes exteriores de suministro.

Asimismo la existencia de importantes núcleos urbanos, en esta área, pueden ser los consumidores inmediatos de esta energía. Estos núcleos, serían León, Zamora y Salamanca, así como otros núcleos de población adyacentes.

La existencia de campos de energía geotérmica podrían proporcionar en el caso más desfavorables, un considerable suministro para calefacción, y en caso de detectar campos con altas temperaturas sería posible su aprovechamiento, para producción de energía eléctrica.

Un aspecto que no debe olvidarse, es la posible obtención de productos de interés, especialmente para la industria química, a partir de las posibles salmueras, contenidas en los acuíferos profundos, estos productos serán de tipo Cl, B, Br, Mg, Li, F, As, Sb, Cs, etc.

Aspecto muy importante de la explotación de yacimientos geotérmicos, es su escaso impacto sobre el medio ambiente, - pues usualmente, los fluidos extraídos, después de pasar por intercambiadores de calor, son reinyectados al subsuelo.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El presente proyecto, pretende el estudio de los acuíferos profundos de la Cuenca Occidental del Duero.

Para ello se tratará de aportar los suficientes datos -estratigráficos, tectónicos, hidrogeológicos, hidroquímicos, etc, que permitan el conocimiento necesario para seleccionar las zonas más interesantes, al objeto de continuar con estudios más específicos (geoquímicos, geofísicos, sondeos, etc), que sirvan para poner en explotación los recursos geotérmicos.

En base al Inventario Nacional de Manifestaciones Geotérmicas, y al Archivo de Puntos Acuíferos, se seleccionaron los puntos de agua con un total de 60.

Durante el mes de Mayo, se muestrearon estos puntos acuíferos, para posteriores análisis hidroquímicos e isotópicos.

Con los análisis químicos se ha procedido a los cálculos geotermométricos, además de tener un conocimiento de la calidad de las aguas. Estos análisis hidroquímicos fueron realizados por el CENTRO DE ANALISIS DE AGUAS, S.A. de Murcia y los de sílice por ENADIMSA de Madrid.

Los análisis isotópicos (Tritio, Deuterio y Oxígeno-18) fueron hechos por el GABINETE DE APLICACIONES NUCLEARES A LAS OBRAS PUBLICAS de Madrid.

La ejecución del proyecto ha sido realizada por la empresa IBERICA DE ESPECIALIDADES GEOTECNICAS, S.A. (IBERGESA), de Madrid, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

José M^a Mena Inglés, Licenciado en Ciencias Geológicas.

Emilio Dorado Osorio, Ingeniero Técnico de Minas.

Francisco Ramirez de Mora, Ingeniero Técnico de Minas.

2. GEOLOGIA

2.1. INTRODUCCION

La cuenca del Duero forma parte de la orla oriental que el macizo herciniano ibérico formó a lo largo de todo el Mesozoico. Es una extensa plataforma deformada en grado variable. Corresponde la altiplanicie del Duero, aproximadamente, al ámbito de Castilla la Vieja y constituye una inmensa llanura en la que se marcan dos niveles: uno superior o páramo, y otro inferior, la tierra de Campos, regada por el río Duero y sus afluentes, que constituyen una red hidrográfica profundamente encajada.

La altiplanicie del Duero es de una gran uniformidad geológica, estando formada casi exclusivamente por terrenos Terciarios, sedimentos continentales, correspondientes en su mayor parte al Mioceno, preponderadamente arcilloso, con niveles yesíferos en el centro de la cuenca, mientras en los páramos se conservan los niveles calizos del Pontiense.

La estructura de la cuenca de Castilla la Vieja es sencilla. Los materiales neógenos tienen una disposición tabular, prácticamente inalterada en toda su extensión. En la parte oriental de la cuenca, donde afloran los terrenos mesozoicos

y paleógenos, puede advertirse la existencia de ligeras discordancias que atestiguan una débil deformación de dichos terrenos, la cual en su mayor parte debió ocurrir hacia el final del Oligoceno, al mismo tiempo que los plegamientos principales de la Cordillera Ibérica. Es, por lo demás, en la proximidad de ésta donde las deformaciones se acentúan, y puede así existir la transición gradual de uno a otro dominio.

Según SOLE (1958), se pueden reconocer dos penillanuras en la Meseta. Una de ellas, la llamada "penillanura fundamental", comienza a formarse sobre el Cretácico y prosigue hasta el Mioceno, en el que se produce una elevación en el Macizo de la Sierra Segundera-Montes de León. Los bloques elevados - han sido atacados a su vez por otra penillanura, formada en el Plioceno Inferior o "finipontiense", extendida por casi toda la meseta, con retoques debidos a la formación de las "rañas" durante el Villafranquiense. La penillanura fundamental presenta numerosos relieves residuales en los bordes del macizo Sierra Segundera-Montes de León, y los terrenos miocénicos fosilizan un terreno de tipo apalachense.

Los límites geológicos de los materiales Terciarios de la Cuenca del Duero son casi todos pertenecientes al macizo herciniano ibérico: al N la Zona Cantábrica; al O la Zona Asturoccidental Leonesa y la Zona Centro Ibérica; al S la Zona Centro Ibérica, y al E la Cordillera Ibérica y la Cuenca del Ebro.

Al hablar de la Geología de la Cuenca del Duero es preciso describir también los bordes Paleozoicos y Mesozoicos, - pues en definitiva es de donde proceden los sedimentos de la Cuenca. Esta descripción se va a hacer por las zonas reseñadas, y teniendo en cuenta que el presente estudio abarca la mitad occidental de la Meseta Castellana sólo se describirán (véase planos 1 y 2):

- La Zona Cantábrica
- La Zona Asturoccidental-Leonesa
- La Zona Centroibérica

2.2. LA ZONA CANTABRICA

2.2.1. INTRODUCCION

Se sitúa en la Cordillera Cantábrica, en la parte NO de la Península Ibérica, y cubre, un área formada por materiales paleozoicos y, en menor extensión, precámbricos, deformados por la orogenia hercíniana. El rasgo estructural más sobresaliente del hercíniano del NO de la Península es el arco que describen las estructuras y que se conoce con el nombre de Arco o Rodilla Asturiana. Transversalmente a las estructuras, de E a O se pasa de zonas más externas o más internas de la Cordillera Herciniana y de condiciones de deformación epidémicas a condiciones profundas. Como consecuencia, dibujando el arco se disponen concéntricamente una serie de unidades diferentes principalmente por un Devónico y un Carbonífero fosilíferos han sido llamada por LOTZE (1945) Zona Cantábrica. Los límites E y S de esta Zona Cantábrica lo constituyen respectivamente la cobertera mesozoica de Santander y la cobertera miocena de la Cuenca del Duero. El límite O lo for-

ma el Anticlinorio del Narcea (JULIVERT, 1962b) en cuyo núcleo aflora el Precámbrico formando un arco desde la Cuenca del Duero hasta el mar.

La Zona Cantábrica ha sido a su vez subdividida por JULIVERT (1962b) en varias unidades de orden menor, en la forma siguiente:

- 1) Región de Pliegues y Mantos
- 2) Cuenca Carbonífera Central
- 3) Región de Mantos
- 4) Picos de Europa
- 5) Región del Pisuegra-Carrión

La estratigrafía que se describe a continuación pertenece solo a la Región de Pliegues y Mantos y a la Región del Pisuegra-Carrión que son las que están en contacto directo con el terciario detrítico de la Meseta.

2.2.2. ESTRATIGRAFIA

2.2.2.1. PRECAMBRICO

Aflora en el núcleo del Anticlinorio del Narcea. Se trata principalmente de pizarras que fueron denominadas por LOTZE (1956) "Pizarras del Narcea" y, más al S Formación Mora (DE SITTER, 1962). Estas pizarras constituyen casi todo el afloramiento precámbrico, y si bien presentan alguna diferencia de una localidad a otra, pasa a grandes rasgos bastante homogéneas; tan sólo en el extremo N del Anticlinorio aparece en el Precámbrico otro tipo de roca, unos porfiroides de grano fino que alternan con capas esquistosas.

Por encima de estos materiales precámbricos se encuentran un potente nivel detrítico, principalmente de areniscas y cuarcitas (Arenisca de La Herreria o Cuarcita de Candana).

2.2.2.2. CAMBRICO

Empieza por una sucesión de areniscas y cuarcitas con intercalaciones de pizarras, con un espesor que puede sobrepasar los 1.000 metros (Areniscas de la Herreria, COMTE, 1938). Por encima se encuentra una sucesión carbonatada de 50 a 150 metros de espesor denominada por COMTE (1937a) Calizas de Láncara.

Superior a la Formación Láncara se encuentra la Formación Oville que empieza por pizarras verdes y se continua por una alternancia de pizarras y areniscas.

Atendiendo a la Formación Láncara pueden establecerse dos provincias con facies diferente: Facies de Barrios y facies de Beleño; la primera se caracteriza por los colores rojos de las calizas nodulosas. La facies Beleño se identifica por la abundancia de glauconita en las calizas nodulosas que le da tonos verdosos.

2.2.2.3. ORDOVICICO

Se encuentra representado exclusivamente por un potente nivel de cuarcita blanca masiva (200-400 metros). A esta cuarcita COMTE la denominó Cuarcita de Barrios, aunque se la llama también frecuentemente "armoricana". Este nivel de cuarcita se encuentra por toda la Zona Cantábrica, aunque con espesores algo variables.

En casi toda esta Zona faltan el Ordovícico Medio y Superior.

2.2.2.4. SILURICO

En todo el sector entre el Anticlinorio del Narcea y la Cuenca Carbonífera Central (Región de Pliegues y Mantos) se distinguen en el Silúrico dos unidades litoestratigráficas. La unidad inferior llamada por COMTE, Pizarras de Formigoso, esta

formada por pizarras negras, muy hojosas en su mitad inferior y más compactas en su mitad superior.

La unidad superior ha recibido en León el nombre de Arenisca de San Pedro y en Asturias de Arenisca de Furado. Se trata de un nivel de areniscas con intercalaciones de pizarras; las areniscas son generalmente ferruginosas y existen capas de hierro oolítico.

2.2.2.5. DEVONICO

BROWER (1964) distingue en el Devónico del ámbito cantábrico dos tipos faciales diferentes, que denomina:

1) Facies asturleonera, caracterizada por una alternancia de calizas frecuentemente arrecifales y sedimentos clásticos.

2) Faices palentina, caracterizada por una alternancia de carbonatos y pizarras.

La estratigrafía establecida por COMTE (1959), en el Devónico del área asturleonera, fué la siguiente:

1) Arenisca de San Pedro, con una potencia media de 100 metros.

2) Formación la Vid, con una potencia media de 300 metros. Se diferencian en ella dos partes: una inferior, constituida principalmente por dolomías, y una parte superior de pizarras pardas.

3) Calizas de Santa Lucia, con una potencia media de 180 metros, constituida por calizas grisáceas o azuladas.

4) Pizarras y Areniscas de Huergas, con una potencia media de 260 metros, constituida por una alternancia de areniscas y pizarras arenosas pardas.

5) Caliza de Portilla, con una potencia de 70 metros, constituida por calizas de colores claros.

6) Arenisca de Nocedo, con potencia de 300 metros, constituida por areniscas más o menos calcáreas.

7) Pizarras de Fueyo, con una potencia de 100 metros, constituida por pizarras negras con nódulos.

8) Arenisca de la Ermita, de potencia muy variable, oscilando entre 0-1.000 metros.

Al E del río Esla se sitúa la región de facies palentina. La serie devónica en dicha región es como sigue:

1) Formación Carazo, con una potencia visible de 100-320 metros, constituida por calizas arcillosas con pequeñas intercalaciones pizarrosas.

2) Formación Abadía, constituida por 150-220 metros de pizarras, con dos miembros calcáreos.

3) Formación Gustalapietra, con 60 metros de potencia media, constituida por pizarras grises y negras y calizas arcillosas negras.

4) Formación Cardaño, con 30 m de potencia media, constituida por calizas grises y marrones.

5) Formación Murcia, con potencias oscilando entre 60-200 metros, constituida por areniscas cuarcíticas.

6) Formación Vidrieros, con 20 metros de potencia, constituida por pizarras y lantejones de calizas intercaladas.

2.2.2.6. CARBONIFERO

Tournaisiense y Viseense

La parte más alta del Devónico se encuentra muy ligada al Tournaisiense. Los términos litoestratigráficos presentes son tres: 1) una arenisca de sólo unos metros de espesor; 2) - una caliza de tonos claros de 2 a 12 m de espesor; 3) unas pizarras negras y liditas (Pizarras de Vegamian).

La unidad estratigráfica inmediatamente superior esta formada por un conjunto de calizas nodulosas rojas, pizarras rojas y radiolaritas denominadas "caliza griotte" o simplemente Formación Alba.

El Namuriense-Westfaliense al S de la Cuenca Carbonífera Central (Región de Pliegues y Mantos)

Pueden distinguirse dos unidades: la unidad de La Sobia-Bodón al N y la de Somiedo-Correcilla al S.

En la primera de estas unidades el Carbonífero alcanza un cierto desarrollo. Se encuentra la Caliza de Montaña y sobre ella una sucesión de pizarras con intercalaciones de caliza y capas de carbón.

En la unidad de Somiedo-Correcilla se encuentran sólo niveles muy bajos dentro del Carbonífero, sólo se presenta la Caliza de Montaña.

El Namuriense-Westfaliense de la Región del Pisuerga-Carrión

La escuela de Leiden distingue en el Carbonífero ante-Estefaniense de la Región del Pisuerga-Carrión dos grupos, el inferior, denominado Grupo Ruesga, y el superior, Yuso, separados ambos por una discordancia.

El grupo Ruesga constaría de las Formaciones Vegamian y Alba y además de otras dos formaciones, una de ellas constituida por calizas y la otra por pizarras. La primera de estas últimas equivale a la Caliza de Montaña y la otra se denomina Formación Cervera.

El Grupo Yuso se apoya discordante, sobre el Grupo Ruesga en algunos puntos, o sobre rocas más antiguas (Devónico) en otros. Tiene facies molásica con abundantes conglomerados.

Por lo que se refiere a la edad, el Grupo Ruesga corresponde al Namuriense. El Grupo Yuso es Westfaliense.

El Estefaniense y Westfaliense D Superior

Hay que distinguir entre los materiales de edad Westfaliense D-Estefaniense A, con paquetes hulleros alternando con niveles marinos y por otra parte el Estefaniense B-C con ausencia de facies marina.

El Westfaliense D-Estefaniense A está formado por pizarras, areniscas, capas de carbón y conglomerados.

Por lo que respecta al Estefaniense B-C, esta formado por concesiones de conglomerados, pizarras, areniscas y carbón.

2.2.2.7. CRETACICO

Bordeando por el S el macizo paleozoico asturiano, se dispone una banda estrecha (a veces inferior a 1 km) de materiales cretáceos. Comprende una serie inferior detrítica, constituida por una pudinga poligénica, con margas rojas, areniscas y muy especialmente arenas blancas o rojizas con estratificación cruzada, que presenta espesores comprendidos entre 10 y 50 metros. Sobre esta serie inferior se encuentra una formación esencialmente calcomargosa, que CIRY distinguió en conjunto con el nombre de calizas de Boñar. Esta serie posee en la zona de Boñar edad Cenomanense, pero hacia el E aparecen términos más bajos.

2.2.3. TECTONICA

Dentro de la Zona Cantábrica pueden distinguirse varias unidades (JULIVERT, 1967b), Estas unidades, de O a E son: 1) Región de Pliegues y Mantos; 2) Cuenca Carbonífera Central; 3) Región de Mantos; 4) Picos de Europa; 5) Región del Pisuega-Carrión.

2.2.3.1. REGION DE PLIEGUES Y MANTOS

Es una unidad que hacia el SE se caracteriza por una estructura de mantos deformados por un plegamiento posterior y que pasa longitudinalmente hacia el NO a una estructura de pliegues.

Dentro de la Región de Pliegues y Mantos una falla orientada de NE a SO, la falla del Porma, separa dos zonas. Al E de la falla la unidad más importante es el Manto del Esla, que hacia el E queda oculta bajo materiales discordantes de edad Westfaliense D alto a Estefaniense A.

Al O de la falla del Porma se encuentra un conjunto de escamas que se pueden agrupar en dos unidades de orden mayor: La Unidad de Sobía-Bodón al N, y la Unidad de Somiedo-Correçilla al S.

Todas estas unidades cabalgantes se han emplazado gracias a un despegue generalizado en la base de la Formación Láncara. Por este motivo, salvo pocas excepciones, la Formación Láncara forma las partes más bajas de todas las unidades cabalgantes.

Con estas estructuras cabalgantes coexisten toda una serie de pliegues que esencialmente se formaron posteriormente. La dirección de los pliegues es groseramente longitudinal al trazado cartográfico de las superficies de cabalgamiento, pero además existe otra dirección cruzada.

La estructura general es de mantos y escamas deformadas por un conjunto de pliegues entrecruzados.

2.2.3.2. LA REGION DEL PISUERGA-CARRION

Se reconoce en esta Región, unas direcciones E-O bien marcadas; el Anticlinal de Casasuertes o el Sinclinal de Lechada-Curavacas son dos ejemplos de ello.

Una particularidad de la Región Pisuerga-Carrión es la existencia de una discordancia pre-Westfaliense B, discordancia asociada a los potentes conglomerados de Curavacas.

Finalmente, otro hecho a señalar es la existencia de esquistosidad y de un metamorfismo débil, que es el único sector de la Cordillera Cantábrica que se manifiesta con cierta extensión.

2.2.3.3. LAS ESTRUCTURAS EN EL ESTEFANIENSE

El Estefaniense se dispone con bastante independencia - de las grandes unidades y sus afloramientos están controlados por la red de fallas. Por este motivo, por una parte el Estefaniense (y el Westfaliense D Superior) no están afectados - por la tectónica de mantos y por otra parte presentan estructuras más suaves que los terrenos más antiguos.

2.2.3.4. EDAD DE LAS ESTRUCTURAS DEL PALEOZOICO

DE SITTER (1960) estableció las siguientes fases: 1) Fase post-Namuriense (o post-Westfaliense A Inferior), es decir, aproximadamente fase Sudética (igual fase Curavacas). 2) Fase Astúrica que en el E habría tenido lugar entre el Estefaniense A y B, pero que algo más al O se habría manifestado ya por movimientos precoces entre el Westfaliense D y el Estefaniense A, esto sería subfase de la fase Astúrica. 3) La fase que deformó el Estefaniense Superior antes del depósito del Trías, por tanto sería Sádica.

2.3. ZONA ASTUROCCIDENTAL LEONESA

Los límites de esta Zona están formados por dos antiformas en cuyo núcleo aflora el Precámbrico. La antiforma del Narcea al E, con un Precámbrico pizarroso en su núcleo, y al O la antiforma en cuyo núcleo aflora la formación porfiroide conocida con el nombre de "Ollo de Sapo". El Precámbrico pizarroso aflora, además dentro de la zona asturoccidental leonesa en el núcleo del gran pliegue tumbado de Mondoñedo.

Dejando aparte algunos manchones de materiales de edad Estefaniense B-C discordantes, la zona está casi exclusivamente formada (además del Precámbrico), por materiales Cámbricos, Ordovícicos y en menor proporción Silúricos. Tan sólo un Devónico Inferior que ocupa una extensión muy reducida y un Carbónífero pre-Estefaniense, igualmente reducido.

2.3.1. ESTRATIGRAFIA

2.3.1.1. LA DIVISION PALEOGEOGRAFICA

En la zona considerada hay que distinguir dos conjuntos diferentes y separados por una discordancia: de un lado el -

Precámbrico y de otro los materiales paleozoicos. Para describir la estratigrafía del Paleozoico hay que distinguir tres dominios:

- I.- Dominio de Navia y alto Sil.
- II.- Dominio del Manto de Mondoñedo-Peñalba.
- III.- Dominio de Truchas.

El Dominio del Navia y alto Sil está delimitado por el antiforme del Narcea, al E y NE, y por el cabalgamiento basal del Manto de Mondoñedo al O y SO. Constituye un surco en el que se acumulan los mayores espesores de materiales correspondientes al Paleozoico Inferior.

El Dominio del Manto de Mondoñedo-Peñalba tiene por límite E y N al anterior, por el O un cabalgamiento y por el SO se pasa al dominio más meridional de forma gradual y el límite puede situarse en el flanco S del sinclinal de Peñalba. El Paleozoico Inferior es menos potente y se presenta de forma incompleta.

El Dominio de Truchas abarca las regiones de la Cabrera y Barco de Valdeorras, siendo su límite O y SO el antiforme del "Ollo de Sapo".

2.3.1.2. PRECAMBRICO

En el NO de la Península Ibérica aparecen varios afloramientos de materiales precámbricos dispuestos en franjas siguiendo las direcciones hercínicas. Algunos de ellos se encuentran en los núcleos de antiformes más o menos completos, como son el antiforme del "Ollo de Sapo", el núcleo del pliegue acostado de Mondoñedo y el antiforme del Narcea.

Antiforma del Narcea

Se ha podido establecer para el Precámbrico de este área la siguiente sucesión, de abajo a arriba:

- 1) Serie con porfiroides, micaesquistos y areniscas.
- 2) Serie de grauvacas y pizarras.
- 3) Serie de pizarras.

- La serie con porfiroides aparece en una franja estrecha en posición antiformal, en las proximidades de Aguaspuestas. Junto con algunos niveles de porfiroides, se encuentran micaesquistos y niveles de areniscas.

- La serie de grauvacas y pizarras se caracteriza por una alternancia rítmica de grauvacas y pelitas. El espesor calculado para esta serie es de 1.500 a 1.700 m.

- La serie de pizarras se trata de una sucesión de pizarras muy monótonas y uniformes, con laminaciones e intercalaciones de areniscas.

Manto de Mondoñedo y del Antiforma del "Ollo de Sapo"

El Precámbrico del Manto de Mondoñedo (Precámbrico de Villalba-Lugo) consiste en una serie pelítica-arenosa muy similar a la serie con grauvacas y pizarras del antiforme del Narcea.

El otro afloramiento precámbrico constituye el límite S de la zona y en él aparece la formación "Ollo de Sapo". Se trata de una serie de conglomerados arcóscicos, arcosas, rocas tobáceas y algunos esquistos y cuarcitas.

2.3.1.3. PALEOZOICO

Dominio del Alto Sil

El dominio del Alto Sil presenta una sucesión continua desde el Cámbrico al Silúrico.

Las formaciones presentes en el dominio del alto Sil son, de abajo a arriba:

- Las areniscas de Cándana-Herrería. Se trata de una serie principalmente detrítica discordante sobre el Precámbrico.

La serie comienza por un conglomerado de base cuyos cantos, de diámetro no superior a los 5 cm, son fundamentalmente de cuarzo y turmalinita.

- La caliza de Vegadeo. Esta formación está constituida por 300 m de calizas y dolomias masivas.
- La serie de los Cabos. Está formada por una potente sucesión detrítica, predominantemente cuarcítica. Su espesor varía entre 4.500 y 10.000 metros.
- Las pizarras de Luarca. Esta formación la constituyen pizarras negras masivas, en las que es frecuente la presencia de pirita. Su potencia es de 800 a 1.000 metros.
- Formación Agueira. Por encima de las pizarras de Luarca se sitúa una formación arenoso-pelítica que presenta las características de una secuencia turbidítica. Mientras al N el espesor llega a los 1.500 metros, al S no supera los 300.
- Cuarcitas de Vega. Es un horizonte de cuarcitas blancas de 20 a 50 m de espesor.
- Las pizarras y ampelitas Silúricas. Por encima de las Cuarcitas de Vega aparecen ampelitas con numerosos graptolites, en las que a veces se localizan niveles nodulosos. Su espesor no es superior a los 25-50 m. Por encima aparecen niveles delgados de cuarcitas entre las ampelitas hasta constituir una alternancia rítmica y ascendiendo en la serie llegan a dominar las areniscas y cuarcitas sobre las ampelitas. El espesor total de esta parte con intercalaciones arenosas es de unos 600 metros.

Edad de las diferentes formaciones del Dominio del Alto Sil

- La Formación Cándana-Herrería se considera de edad Cámbrico Inferior.
- La edad de la Caliza de Vegadeo correspondería al Cámbrico Inferior y parte bajo del Cámbrico Medio.

- Respecto a la Serie de los Cabos se puede afirmar que el límite Cámbrico Medio-Superior se sitúa muy bajo en la serie estratigráfica y que aproximadamente la mitad superior de la formación debe corresponder al Ordovícico Inferior. El techo corresponde al límite Arenig-Llarviniense.
- La Formación Agueira debe corresponder al Ordovícico Superior.
- La mayor parte de las pizarras de Luarca corresponden al Llandeilo.
- Las Cuarcitas de Vega al Ordovícico Superior por la continuidad sedimentológica que presentan con la Formación Agueira.

Dominio de Peñalba

Las formaciones presentes en este dominio son, de abajo a arriba:

- Las areniscas de Cándana-Herrería. En esta formación pueden distinguirse varios miembros que, de abajo a arriba, son los siguientes:
 - 1.- 100 m basales de areniscas y pizarras.
 - 2.- 50 m de pizarras con laminaciones arenosas.
 - 3.- 70 m de calizas con niveles de dolomías y capas calcosilicatadas.
 - 4.- 250 m predominantemente formados por pizarras.
 - 5.- 25 m de pizarras negras ampelíticas.
 - 6.- 70 m de pizarras y calizas en alternancia de capas de 1 a 5 cm.
- La Caliza de Vegadeo. Aflora en el extremo O y se presenta en bancos muy espesos. Su potencia se puede estimar en 200 m.
- La Serie de los Cabos. Es muy similar a la del dominio del alto Sil, pero mucho más pizarrosa.

- Las Pizarras de Luarca. Su potencia varía alrededor de los 100 metros.
- Las Calizas de la Aguiana. Son calizas masivas. Su espesor varía de 300 metros a su inexistencia.
- Las Ampelitas Silúricas. Al Silúrico corresponden ampelitas y pizarras. Su potencia máxima es de 300 m.
- Las Calizas y Pizarras Devónicas. Se trata de calizas tableadas, conchíferas, con abundantes intercalaciones pizarroso-margosas.

Edad de las diferentes formaciones del Dominio de Pañalba

Las edades atribuidas a las distintas formaciones se basan, en gran parte, en la similitud que presentan con las de otros dominios. Así sucede con la Formación Cándana-Herrería, Serie de Cabos y Pizarras de Luarca.

Por lo que se refiere a la Caliza de Vegadeo, debe ser considerada en su mayor parte de edad Cámbrico Inferior; el miembro superior debe corresponder al Cámbrico Medio.

Las Calizas de Aguiana MATTE (1968) las atribuyó al Asghilliense.

Dominio de Truchas

De abajo a arriba, las formaciones presentes en este dominio son:

- La Serie de los Cabos. Aparece por encima del "Ollo de Sapo". Esta sucesión comienza por 150 m de pizarras negras o azuladas, a las que se superponen 40 m de cuarcitas y pizarras intercaladas. A continuación se sitúan 1.000 m de pizarras y areniscas, que culminan en unas cuarcitas masivas. Estas cuarcitas superiores tienen un espesor de 100 m en la parte S y 250 m en la parte N.
- Las Pizarras de Luarca. Pueden diferenciarse de abajo a arriba:

- . 200 m de pizarras oscuras.
 - . 150 m de pizarras con algún nódulo calcáreo.
 - . 150 m de pizarras masivas, fácilmente exfoliables.
 - . La serie culmina con 50 m de pizarras.
- La Formación Agueira. Es una serie de areniscas y pizarras. Se trata de niveles turbidíticos cuya distribución no es uniforme en este dominio y cuyo espesor máximo es de 150 m.
 - Las ampelitas Silúricas. La serie se compone de un miembro inferior de ampelitas y pizarras ampelíticas con cloritoides, de unos 300 m de potencia, y de un miembro superior de areniscas, cuarcitas y ampelitas en bancos delgados con otros 300 m de potencia.

Edad de las diferentes formaciones en el Dominio de Truchas

La serie de los Cabos pertenece al Ordovícico Inferior y probablemente al Arenig.

Las pizarras negras que se superponen a la serie de transición son con toda probabilidad del Ordovícico Medio.

La serie con areniscas y cuarcitas que se superponen a las ampelitas se les incluye dentro del Silúrico por presentar ampelitas.

Los materiales Estefanienses

Los materiales estefanienses aparecen únicamente en el dominio del alto Sil y en el antifirme del Narcea formando dos cuencas, la de Villablino y la del Bierzo.

El Estefaniense está representado por una sucesión detrítica. Existe un conglomerado de base y el resto de la sucesión consiste en una alternancia de conglomerados, areniscas, pizarras y capas de carbón.

El espesor total de los materiales estefanienses en la cuenca de Villablino es de 2.500 metros, y en la del Bierzo de 1.800 metros.

2.3.2. TECTONICA

A diferencia de la zona cantábrica, la zona asturoccidental-leonesa se caracteriza por el gran espesor que en la misma (por lo menos en parte de ella) alcanza el Cámbrico y el Ordovícico. El Cámbrico y el Ordovícico Inferior se presentan en general en facies detríticas de poco fondo (facies de Cruziana y de Skolithos), con un episodio carbonatado en la parte más alta del Cámbrico Inferior. No obstante respecto a la zona cantábrica, el espesor es considerablemente mayor, alcanzando el Cámbrico Medio y Superior y el Ordovícico Inferior los 4.000 m de espesor, en el flanco O del antiforme del Narcea. En el Ordovícico Medio y Superior hay también un gran acumulo de sedimentos (unos 6.000 m), aunque no afectando a toda la zona sino sólo a su parte más oriental. El Caradoc (y parte del Llandeilo?) se desarrolla incluso en facies turbidítica (MARCOS, 1970) lo que indica una inestabilidad y profundización de la cuenca. Esta evolución termina al final del Ordovícico, de modo que el Silúrico es bastante uniforme en espesor y en facies (pizarras negras con graptolites). El Silúrico es, por fuera del surco ordovícico, transgresivo sobre diferentes niveles del Ordovícico. Incluso sobre la cuarcita del Arenig (JULIVERT, MARCOS & TRUYOLS, 1972).

Desde el punto de vista tectónico, el primer hecho a señalar es que, a diferencia de la zona cantábrica, en la zona asturoccidental-leonesa la deformación se acompaña del desarrollo del metamorfismo y la esquistosidad. En líneas generales el metamorfismo aumenta en intensidad de E a O, coincidiendo su aparición aproximadamente con el límite entre las zonas cantábrica y asturoccidental-leonesa (CAPDEVILA, 1967, 1969). Este estilo tectónico es un estilo de pliegues, esencialmente similares, con superposición de varias fases de plegamiento. Al igual que en la zona cantábrica se desarrolló primera una tectónica tangencial seguida de una tectónica de plegamiento que deforma las primeras estructuras, dando pliegues con vergencias retro o con superficies axiales próximas a la vertical (MATTE, 1968; MARCOS, 1971a, 1973), aunque la correlación

de estos hechos en las dos zonas no es simple. La sucesión de acontecimientos tectónicos en la zona asturoccidental-leonesa es, según MARCOS (1971b, 1973) la siguiente: 1) formación de pliegues vergentes al E con esquistosidad de flujo asociada; estos pliegues, en la parte O de la zona son pliegues tumbados que pueden alcanzar grandes dimensiones como el gran pliegue tumbado de Mondoñedo (MATTE, 1967, 1968; WALTER, 1968); 2) formación de grandes cizallamientos, dando lugar a cabalgamientos con esquistosidades de "strain-slip" asociadas (MARCOS, 1971b); y 3) formación de pliegues de superficie axial - subvertical asociados a esquistosidad de crenulación (S_2 de MATTE, 1968; S_3 de MARCOS, 1971a).

Todos estos acontecimientos tuvieron lugar antes del depósito del Estefaniense B-C y antes del emplazamiento de los plutones, en cuyas aureolas pueden verse los minerales de metamorfismo de contacto (quiasolitas) englobando la primera esquistosidad, ya crenulada (MARCOS, 1973).

2.4. LA ZONA CENTROIBERICA

Esta zona limita al NE con la zona asturoccidental-leonesa. Como límite S puede tomarse en España el batolito de los Pedroches.

Desde el punto de vista estratigráfico, el rasgo más destacado es el carácter transgresivo de la cuarcita del Ordovícico Inferior, a diferencia de las zonas asturoccidental-leonesa y cantábrica, donde el Ordovícico sigue en continuidad estratigráfica al Cámbrico. Los materiales preordovícicos forman la mayor parte de la zona centroibérica, y en ellos están representados tanto el Cámbrico como el Precámbrico.

El Ordovícico, mejor conocido, presenta en la zona centroibérica unas características bastante uniformes y unos espesores moderados. El Ordovícico Inferior está representado por una cuarcita, de un espesor del orden de unos centenares de metros.

El Ordovícico Medio está representado en todas partes por pizarras oscuras, de unos centenares de metros de espesor, con fauna del Llanvirn y del Llandeilo. Las partes más altas del Llandeilo y el Caradoc están formadas por areniscas y pi-

zarras. El Ordovícico Superior presenta volcanismo en varios puntos.

El Silúrico es también uniforme en la zona centroibérica, y entre él y el Ordovícico se interpone, por lo general, una laguna estratigráfica de extensión variable; generalmente el Silúrico está formado por pizarras negras, aunque contiene también cuarcitas y, en algunas localidades, calizas y lilitas.

El Devónico se encuentra generalmente conservado sólo en determinados núcleos sinclinales, y en la mayor parte de las localidades su límite con el Silúrico no está bien precisado.

El grado de metamorfismo que afecta a estos terrenos es muy variable, desde prácticamente nulo o correspondiente a la parte alta de la epizona (zona de la clorita), hasta la zona de la sillimanita. El tipo de metamorfismo es de presión baja e intermedia. El máximo de metamorfismo se encuentra hacia el N de Portugal, mientras que en el resto de la zona centroibérica es de grado bajo.

2.4.1. ESTRATIGRAFIA

2.4.1.1. CAMBRICO

Se describen los terrenos Cámbricos, del borde Oeste de la Cuenca del Duero, pertenecientes a la zona Centro Ibérica comenzando por los más septentrionales, provincia de Zamora, y finalizando por los centro-meridionales en la provincia de Avila:

- Dominio del "Ollo de Sapo".
- Afloramientos aislados del Oeste.
- Formaciones análogas al "complejo esquisto grauváquico de las Beiras".
- Afloramiento de Muñicos.

Dominio del "Ollo de Sapo"

Este dominio comprende una franja relativamente ancha - que se extiende desde Galicia hasta las proximidades de Benavente, donde desaparece bajo el Terciario de la penillanura - castellana.

Comienza el Cámbrico por la gran formación de vulcanitas ácidas, epimetamórficas, que se extiende por el norte de la provincia de Zamora, desde Río Negra a Peña Trevinca, y cuyo metamorfismo creciente llega a dar una zona de migmatitas al NO de Puebla de Sanabria. La presencia de esta formación - porfiroide y sus analogías con otras existentes en la base - del Cámbrico en diferentes puntos de la Península, permiten - considerar a estos materiales piroclásticos -cuyas facies superiores, de aspecto más claramente detrítico, pasan a las pizarras con Cruzianas-, como los materiales más antiguos de la zona.

Al N, estos pórfidos -correspondientes a la Formación -porfiroide de LOTZE (1966) o a la facies Ollo de Sapo- constituyen una dorsal de rocas subvolcánicas y piroclásticas -pórfidos y tobas dacíticas y riódacíticas-, sobre la cual se apoyan los esquistos cloríticos y sericíticos que constituyen el tránsito a las cuarcitas armoricanas.

El Ollo de Sapo se presenta como un gneis glandular algo cataclástico, muy esquistoso, con fenocristales que pueden llegar a medir 10 centímetros.

La roca ha sido definida como una riolita alcalina. Sin embargo, su naturaleza mineralógica indica que la facies Ollo de Sapo corresponde más bien a una serie de tobas y pórfidos riódacíticos y dacíticos, ligeramente metamorfizados, que en la periferia pasan a una formación de grano más fino, con predominio de los caracteres sedimentarios, que está constituida por tobas riódacíticas y metagrauvas.

Afloramientos aislados del Oeste

Las formaciones azoicas, probablemente Cámbricas -ya - que su posición estratigráfica respecto a los materiales ordovicienses o silúricos parece indicarlo así-, de colores grises más o menos oscuros, a veces completamente negras, están constituidas fundamentalmente por bancos de lutitas, pizarras arcillosas, grauvacas, esquistos cloríticos y sericíticos, esquistos grafitosos, cuarcitas y conglomerados.

La situada al SE de Ledesma, entre Golpejas y Juzbado, esta formada esencialmente por pizarras. La esquistosidad suele ser paralela a los límites de las rocas graníticas encajantes.

Hay dos afloramientos, relativamente extensos, los de San Felices de los Gallegos y la Fregeneda, que hacia el O se adentran profundamente en Portugal, están constituidos por las mismas rocas alternantes, especialmente grauvacas y pizarras. Por ello, como su representación detallada resultaba difícil de realizar, todos estos materiales se han considerado en el mapa adjunto como Cámbrico indiferenciado.

Formaciones análogas al complejo esquistos grauváquico de las Beiras

Son dos grandes formaciones Cámbricas, una situada entre la Sierra de Francia y la Sierra de Gata, en las provincias de Zamora y Salamanca, y la otra denominada "pizarral paleozoico del Sur de Salamanca". Prácticamente son continuación la una de la otra separadas por los materiales ordovícicos y silúricos de la Sierra de Tamames.

Respecto a la primera, se puede decir que estas formaciones cámbricas fueron atribuidas a esta edad por SCHMIDT-TOME (1950). Entre ellas dominan las pizarras compactas de color verde grisáceo y brillo sedoso, llegando a destacar, hasta un metro sobre la superficie del suelo, los estratos más duros y resistentes.

Entre las pizarras, que a veces contienen "ritmitas" con estratificación fina y constante, como ocurre entre Tejeda y Segoyuela, existen intercaladas abundantes hiladas de conglomerados, grauvacas y cuarcitas.

Los sedimentos pelíticos cámbricos dominan ampliamente en el centro, donde tienen dirección variable entre 45° y 75° al NO, y muy pronunciada vergencia al N.

Por su parte, el pizarral complejo que se extiende al S de Salamanca puede ser atribuido al Cámbrico (SCHMIDT-THOME, 1945 y LOTZE y SZDUY, 1961) o al llamado en Portugal (TEXEIRA, 1955) complejo esquistograuváquico.

La formación anteordoviciense está formada por el amplio pizarral que se extiende desde Salamanca hasta la Sierra de Tamames. Aquí comienza la serie por una banda caliza sin fósiles que, hacia arriba, pasa directamente o por intermedio de un conglomerado, a las cuarcitas ordovicienses con Cruziana. Debajo de las calizas, y hacia el norte, continua el extenso pizarral plegado en régimen isoclinal.

Las pizarras dominantes son de color gris o verdoso, con una esquistosidad marcada al NO, lo que da lugar a corridas de materiales duros y disyunción astillosa que destacan sobre la superficie meteorizada de la penillanura.

Intercalados entre ellas hay bancos de conglomerados, grauvacas y cuarcitas.

Afloramiento de Muñicos

Según R. CAPOTE (1972), el preordovícico de Muñicos, "capas del Río Almiar" está formado por dos unidades diferentes:

Unidad Inferior: Esta formada por micacitas de dos micas, grisáceas, con intercalaciones de capas de metaarcosas y metacuarcitas, así como algún lentejón de anfibolita.

Unidad Superior: Se encuentra constituida por una sucesión de esquistos verdosos, niveles delgados de metagrauvacas cuarzosas, anfibolitas cuarzosas y epidotas paraderivadas, con varias capas de caliza de color oscura claro hacia el techo.

La potencia total de las "Capas del Río Almiar, llega , probablemente, a 1.500 metros.

2.4.1.2. ORDOVICICO

Siguiendo el mismo orden utilizado para describir el - Cámbrico, se va a describir el Ordovícico:

- Ordovícico del "Dominio del Olo de Sapo".
- Ordovícico de las Sierras de Tamames y de la Peña de Francia.
- Ordovícico de Muñicos.

"Dominio del Olo de Sapo"

Con dirección dominante al NO se extiende desde el Cámbrico de la formación porfiroide "Olo de Sapo" hasta el N - del batolito de Sayago.

Se puede establecer la siguiente sucesión estratigráfica general pro orden de antigüedad decreciente:

- 1.- Pizarras del Cámbrico Superior y del Ordoviciense Inferior, que dan lugar a cuatro afloramientos principales. El más importante se extiende hacia el sur de la línea Codesal-Villardeciervos-Otero de Bodas, desde el borde del Olo de Sapo hasta la base de la Sierra de la Culebra y continúa por el este hasta la Sierra de Las Cavernas.
- 2.- Las cuarcitas armoricanas que constituyen la Sierra de la Culebra y su prolongación meridional, la Sierra de Campanario.
- 3.- Los materiales del Ordoviciense Superior y del Silúrico - dan lugar al resto de las formaciones situadas al sur de la Sierra de la Culebra.

Los materiales más frecuentes en el Ordoviciense Superior son esquistos grises y pizarras arcillosas.

Sierras de Tamames y de la Peña de Francia

Pertenecen a este sistema los potentes bancos de cuarcitas armóricanas de color claro, ocasionalmente amarillentas o rojizas, y las hiladas de pizarras arcillosas, arcillas y areniscas en ellas intercaladas.

Todos estos materiales forman la base de los dos grandes sinclinales de las Sierras de Tamames y de la Peña de Francia, prolongándose este último bajo el manto de sedimentos terciarios y cuaternarios de la fosa de Ciudad Rodrigo hasta la Sierra de San Giraldo.

La edad de estas cuarcitas, que llegan a alcanzar 250 m de potencia, se atribuye al Skidawense (= Arenigense).

Sobre las cuarcitas arenigienses viene una serie de pizarras y grauvacas que contiene intercalados delgados bancos de cuarcitas y restos indefinibles de braquiópodos y pistas de gusanos, SCHMIDT-THOME (1950) las atribuyó al Ordoviciense Superior, Llandeilo y Caradoc, pudiendo alcanzar localmente hasta 200 m de potencia.

Muñicos

Está constituido por:

Cuarcitas de San Miguel: Formación cuarcítica con dos tramos, uno inferior, con conglomerado de base de gruesos cantos de cuarcita al que siguen esquistos, cuarcitas y conglomerados finos alternantes, y otro superior formado casi exclusivamente por cuarcitas blancas y crema, con facies de "cuarcita armóricana". El conjunto alcanza los 400 m.

Esquistos de Valtuerto, gris aculados, cloríticos y sericíticos, de 300 m de potencia. El tránsito de las cuarcitas de San Miguel a estos esquistos se realiza mediante un pequeño paquete de capas de cuarcita de espesor decimétrico alternantes con esquistos.

2.4.1.3. SILURICO

En el borde paleozoico, del límite occidental de la cuenca del Duero, los afloramientos silúricos se localizan aisladamente y normalmente con poca extensión. Se describen, como anteriormente, comenzando por las más septentrionales:

Silúrico del Dominio del "Ollo de Sapo"

Sus materiales se reparten en tres afloramientos principales. El mayor -los llamados Campos de Aliste- está comprendido dentro de una línea que pasa por Villarino de Manzanas, Mahide, Palazuelo de las Cuevas, Gallegos del Río y San Vitero. Los otros dos, más reducidos y también de dirección NO, se encuentran entre Ribas y San Blas.

Los materiales más frecuentes en el Silúrico son esquistos grises, negros y azulados de sericita y clorita; pizarras arcillosas, arenosas y ferruginosas; liditas; riolitas y tobas riolíticas; barita; cuarcitas negras; ampelitas y grauwacas de grano fino. Finalmente, algunos pequeños afloramientos de calizas.

Villares de Yeltes

Al Silúrico sólo se pueden atribuir las pizarras arcillosas grises, más o menos metamorfizadas por contacto, que acompañan a las cuarcitas ordovicienses de la Sierra de San Giraldo o de Villares de Yeltes.

Sinclinal de Tamames

Los esquistos ampelíticos con graptolites, sólo aparecen conservados en el centro del sinclinal de Tamames, donde los encontraron ROLZ, entre los arroyos de las Quilanas y la Palla, y SAAVEDRA (1970), entre las Sierras de El Zarzoso y las Quilamas.

También al Silúrico podrían atribuirse las pizarras am-
pelíticas que, rodeadas por las cuarcitas de San Giraldo, que
dan al norte de la carretera de Salamanca a Ciudad Rodrigo.

2.4.2. TECTONICA

Desde el punto de vista estructural, la parte N de la -
zona Centro-Ibérica presenta las siguientes características:

- 1.- Presencia de un zócalo cámbrico de rocas porfiroides, so-
bre el cual se apoyan más o menos concordantes las forma-
ciones paleozoicas.
- 2.- Existencia de una potente serie formada por el Ordovicien-
se y el Silúrico, fuertemente plegada y con dirección do-
minante al NO.
- 3.- Existencia en el Hercíniano de dos fases principales de -
plegamiento.
- 4.- Emplazamiento de grandes masas de granito, especialmente
en la zona sur, durante las últimas fases de la orogenia
herciniana.

La presencia de un conglomerado en la base del Arenig,
indica la existencia de movimientos pre-Hercínicos entre el -
Cámbrico Superior y el Arenig. Ellos deben corresponder a la
fase sárdica.

Por lo que respecta a las dos fases de plegamiento her-
ciniano, la primera es la más importante. Afecta a todas las
rocas comprendidas desde el Cámbrico al Silúrico. El estilo -
de la deformación es relativamente profundo, con pliegues bas-
tante apretados, isoclinales, de eje NO-SE, vergentes hacia =
el NE.

En cuanto a la segunda fase, ésta es mucho menos inten-
sa que la primera, de pliegues menos cerrados, simétricos, ver-
gentes hacia el NE y con crenulación frecuente. A ella se de-
be normalmente la esquistosidad secundaria, que afecta fre-
cuentemente a las rocas paleozoicas, y la formación de la -
dorsal del Olló de Sapo.

De todas formas, el hecho geológico más importante rela-
cionado con esta fase es el emplazamiento de los granitos her-

cinianos, de los cuales el de Sayago es inmediatamente anterior o contemporáneo de la segunda fase.

Respecto al límite sur-occidental de la meseta castellana se puede decir:

Los movimientos orogénicos correspondientes a la orogéⁿia herciniana fueron los que dejaron huella más profunda sobre los sedimentos del Cámbrico, Ordoviciense y Silúrico, y quizá, del Precámbrico Superior, que constituyen la Meseta en el borde centro-occidental de la Península Ibérica.

Durante las fases sudética y astúrica, se plegaron juntas las formaciones paleozoicas según pliegues isoclinales cuyos planos tienen dirección dominante al NO y vergencia al norte.

El diaclasamiento de los granitos antiguos es extraordinariamente intenso. El origen de esta fracturación se debe, según SCHMIDT-THOME, a un levantamiento cupuliforme que agrietó la bóveda granítica según tres planos principales: iso-estratiformes, longitudinales y transversales, debiéndose a estos últimos el emplazamiento de la mayor parte de los diques de cuarzo, aplitas y pegmatitas.

Posteriormente, los plegamientos alpinos, actuaron sobre materiales paleozoicos ya consolidados y dieron lugar a la formación de grandes líneas de fractura que fueron seguidas de hundimientos. El más importante dio lugar a la formación de la fosa de Ciudad Rodrigo.

Finalmente, los plegamientos pirenaicos o sávicos produjeron una débil inclinación hacia el norte de los depósitos del Eoceno que ocupaban las márgenes meridionales de la fosa de Ciudad Rodrigo y, sobre todo, dieron lugar al basculamiento, según enormes líneas de fractura dirigidas más o menos al NE, de grandes bloques del zócalo paleozoico.

Consecuencia de estos movimientos póstumos ha sido el rejuvenecimiento de la red fluvial cuaternaria y el espectacular encajamiento de los meandros al SE del sinclinal de Tames.

2.4.3. ROCAS IGNEAS

Dentro de los escasos datos que se poseen, respecto a las rocas igneas, se van a describir comenzando por el No, bor de centro-occidental de la cuenca del Duero y finalizando en los granitos de la provincia de Avila.

En contacto directo con los materiales paleozoicos, de la parte S del Dominio del "Ollo de Sapo", se encuentra el ba tolito de Sayago.

Las rocas plutónicas de Sayago son granodioritas de dos micas. Tienen grano grueso, muy frecuentemente porfídico, y con frecuencia intercalaciones ácidas o neísicas de tipo aplí tico y migmatítico.

Hacia el S pasa a un granito adamellítico de dos micas orientado.

En cualquier caso, la cartografía detallada de este tipo de rocas -entre las que se incluyen granitos de dos micas, porfiroides o no, granitos orientados y los granitos moscovíticos de Villar de Peralonso y Aldea del Obispo- es muy complicada, por lo que los límites del mapa indican sólo zonas dominantes.

Aunque en manchas reducidas, pero de gran interés por las implicaciones económicas que sus mineralizaciones estanníferas tienen, han de citarse las masas de granitos aplí ticos de grano fino a medio, generalmente orientados y predominantemente moscovíticos, que aparecen en algunos puntos, especialmente en los alrededores de Golpejas. Estos apuntamientos gra níticos aparecen intruidos en las ortopizarras cámbricas, cuar cit as y esquistos sericíticos que, con dirección NO, constituyen el zócalo paleozoico en dicha zona.

Las rocas igneas al S y O del pasillo de Ciudad Rodrigo son muy similares a las que se acaban de describir, al N.

Corresponden en su totalidad a granitos adamellíticos, de composición mineralógica bastante uniforme, pero de textura variada. Se trata, en general, de granodioritas y cuarzo--monzonitas leucocratas, frecuentemente porfiroides, de tonos azules cuando son frescas y con abundantes gabarros.

En el borde S y SE aflora el granito de dos micas.

Forma extensos berrocales desde Cabezas del Villar hasta el extremo SE de la zona. El tipo dominante es el de grano medio a grueso, pero son frecuentes en él los pasajes porfídicos, aplíticos y pegmatíticos, y la turmalina es muy abundante, especialmente en las zonas de contacto.

Las aplitas son muy frecuentes. Los diques de cuarzo - también son muy abundantes.

El granito de Martinamor, es también un granito de dos micas y aspecto lacolítico, es decir, una masa estratiforme y más o menos concordante con las rocas metamórficas encajantes. Este granito es de grano fino a grueso y tiene mucha turmalina.

2.4.4. ROCAS METAMORFICAS

Sólo se describen los neises y micacitas biotíticos y moscovíticos intercalados entre las rocas graníticas o dispuestos en la periferia de los batolitos y que, en algún caso, presentan los efectos de un intenso metamorfismo de contacto con abundante desarrollo de andalucita y cordierita.

Estos neises y micacitas, se encuentran sobre todo a lo largo del Duero.

Los neises tienen textura granolepidoblástica.

Las micacitas son de dos micas formadas por metamorfismo regional de sedimentos pelíticos y que, junto al granito, pasan a neises ortoclásticos.

Por lo que se refiere a los afloramientos de la parte S, se puede decir que las rocas claramente metamórficas se pueden dividir en dos grupos principales: de contacto y de metamorfismo regional.

Por lo que se refiere a las primeras, los afloramientos más importantes rodean al apuntamiento granítico de Martinamor. Estas pizarras de contacto corresponden a cornubianitas con diferente desarrollo de andalucita y cordierita.

En cuanto a las rocas afectadas por metamorfismo regional, los afloramientos más importantes son los de San Miguel de Serrezuela, Cardenosa y Mingorría'

Las rocas más abundantes en dichas formaciones son: micacitas y cuarcitas, y neises de dos micas, atravesados por diques de aplitas, pegmatitas y cuarzo.

2.5. Terciario

La Cuenca del Duero es, en síntesis, una cubeta rellena de materiales terciarios y cuaternarios en un medio continental. Los materiales depositados son de carácter detrítico en unos casos, mientras que en otros están formados por depósitos químicos (carbonatos y yesos). La superficie de los depósitos terciarios es de unos 50.000 km² recubierta por 5.000 - km² de cuaternario.

2.5.1. Estratigrafía

2.5.1.1. Introducción

Se estudia la estratigrafía desde los bordes al centro de la cuenca en sus diversas facies.

Con el fin de hacer más clara esta síntesis, se agrupan las facies en: Marginales o de Borde y Centrales.

Las facies Marginales tienen un carácter conglomerático y se adosan a los relieves paleozoicos y mesozoicos.

Las facies Centrales pueden ser detríticas, margosas o calcáreas y se superponen unas a otras ocupando la mayor parte de la cuenca.

2.5.1.2. FACIES MARGINALES DEL TERCIARIO

Se consideran como facies marginales, todas las formaciones definidas por su carácter detrítico grosero y que afloran casi exclusivamente hacia los bordes de la cuenca y en contacto con los materiales preterciarios (Paleozoico, Mesozoico, Granitos s.l. y Metamórficos).

Facies Marginales: Borde O

Son conglomerados compactos con cemento carbonatado y frecuentes intercalaciones de areniscas de grano fino de color amarillento. Hacia el techo disminuyen los conglomerados y predominan las areniscas de grano fino y los limos arenosos.

En el entorno de Fuentesauco los conglomerados tienen coloración grisácea y las areniscas blanco-amarillentas. La potencia es de 300 metros.

Al N de Castronuño afloran limos arenosos, conglomerados y areniscas. La coloración es pardorajiza o amarillenta.

Al NO de Castronuño predominan las capas limo arenosas y en el meandro del Duero las areniscas masivas de color amarillento o rojizo.

Al E de Manganeses de la Lampreana, en los valles de los ríos Valderaduy y Salado, afloran limos arenosos amarillentos y verdoso compactos.

La edad de todos estos terrenos se dá como Oligoceno.

Facies Marginales: Borde O-SO

Muestran su máximo desarrollo en las zonas de Salamanca, Zamora y Toro. Es la denominada "Facies Montamarta".

Son conglomerados de cuarzo y cuarcita con cantos subangulosos, su matriz es arenosa y presentan intercalaciones de areniscas silíceas dentro de las cuales se observan algunos - cantos de cuarzo. Las areniscas aumentan hacia el techo llegando a predominar en la parte superior.

Afloran extensamente en Manganeses de la Lampreana y alrededores de Breto.

Lateralmente, hacia el S, pasa a conglomerados y areniscas con un mayor grado de cementación, aflorando extensamente al E y S de Zamora y N de Salamanca, así como pequeños retazos al N de Mirueña y Cardeñosa (Avila).

La potencia de la "Facies Montamarta" puede alcanzar como máximo 150 metros.

Como edad se le atribuye la base del Paleoceno.

Pasillo de Ciudad Rodrigo

Se diferencia un tramo basal, constituido por arenas arcillosas de tonos grisáceos, con frecuentes intercalaciones - de arenas gruesas e incluso conglomerados, y un tramo superior de arcillas arenosas con abundantes niveles de arenas y areniscas con cemento carbonático, especialmente en la base. Los materiales que constituyen el conjunto son arcosas elaboradas. Su potencia puede superar los 150 metros.

Facies marginales: Borde N-NO

Son conglomerados heterométricos de cuarcita, areniscas y caliza. Tienen matriz arenosa y cemento carbonatado, hacia el S muestran un buzamiento de unos 30°. Constituyen la facies "Pardavé-Lugan".

Se localizan entre los ríos Porma y Bernesga, y afloran en La Robla, Vegas del Condado y al SO de Cistierna. Tienen - una potencia superior a los 150 m y se les atribuye edad Oligocena.

2.5.1.3. FACIES CENTRALES DEL TERCIARIO

En discordancia neta, con los materiales descritos, afloran diferentes formaciones de edad miocena.

Se han incluido en estas facies tres tipos de materiales:

- Facies Centrales detríticas, denominadas "Facies Tierra de Campos s.l."
- Facies Centrales margosas, que se denomina "Facies - Cuesta"
- Facies Centrales calcáreas, que se denominan "Facies Páramo"

Facies Centrales Detríticas del S

En el borde Sur, al N de Mirueña y Cardeñosa, afloran gravas, bolos y arenas muy heterométricas inmersos en una matriz limo-arenosa. Cronológicamente deben corresponder al Mioceno Superior. Su potencia llega a 80 m.

Facies Centrales Detríticas del O

Facies Aspariegos: Son conglomerados, arenas, areniscas, arcillas y margas de tonos versicolores. Aflora al S de Manganeses de la Lampreana y constituyen la base del Mioceno. Su potencia se estima en 50 metros.

Pueden asimilarse a esta facies los materiales de la base del Mioceno que afloran al SO de Alaejos, O de Castronuño, Aspariegos y Coreses a ambos márgenes del Duero, antes de llegar a Zamora. Son conglomerados con película arcilloso-carbonatada, alternando con areniscas rojizas y algunos lechos limosos.

Facies Centrales Detríticas del N

"Facies Relea". En el borde N, aflora una extensa formación, a la que se atribuye edad pontiense dada su posición es

tratigráfica sobre la facies "Tierra de Campos".

Se toma como serie representativa la aflorante entre los ríos Porma y Esla. Se inicia con 2 m de calizas blandas, sobre las que yace una alternancia de arcillas rojas plásticas, arcillas arenosas y margas amarillentas con intercalaciones lentejonares de conglomerados y areniscas cementadas por carbonatos. Hacia el N aumentan los conglomerados, confundándose con los del Oligoceno de borde.

Se extienden estos materiales desde el E y NE de León hasta el río Valderaduey.

Facies Centrales Detríticas s.s.

"Facies Tierra de Campos": Constituye un conjunto definido por su carácter arcillo-limo-arenoso, que muestra una amplia distribución en toda la cuenca.

Está formada por una alternancia irregular de arcillas limosas, en tonos pardo-rojizos, con intercalaciones de areniscas de grano fino con o sin cemento carbonático. En las zonas centrales predominan los niveles arcillosos rojizos, que hacia el techo presentan diseminaciones de yesos, marcando el paso gradual a la "Facies Cuesta".

La potencia es variable pero se va acentuando hacia la zona Centro-Oriental donde llega a superar los 600 metros.

Pueden hacerse numerosas diferenciaciones basadas en los cambios laterales de facies.

Facies Centrales Margosas

Sobre la facies centrales detríticas, y concordante con ellas, se deposita una facies margosa que se ha denominado "Facies Cuesta".

Se trata de una alternancia de margas y calizas margosas, margas yesíferas y yesos. Su potencia oscila entre 80 y 150 metros.

Las margas son blancas y a veces arcillosas. Los niveles calizos presentan un aspecto vacuolar y oqueroso. Las margas yesíferas incluyen niveles de yesos que no superan 1 metro. La mayor abundancia de yesos coincide con las zonas de mayor espesor de la facies, y queda restringida al centro de la cuenca, alrededores de Palencia, Baltañás y Esquevillas de Esgueva.

Se les atribuye a estas facies una edad Vindoboniense - Superior-Pontiense.

Ocupa la mitad centro-sur-oriental de la provincia de Valladolid, la parte sur-oriental de Palencia, el límite sur-occidental de Burgos y el límite nor-occidental de Segovia.

Facies Centrales Calcáreas ("Facies Páramo")

Formando las superficies estructurales de las "mesas" o "páramos", existen unos niveles calizos que regionalmente se han denominado "Facies Páramo". Ocupan las zonas más elevadas dentro del área de la "Facies Cuesta", con potencias que oscilan entre 1 y 70 metros.

Esta constituida, esta facies, por una caliza de pasta fina compacta, en bancos de hasta 2 m separados por juntas e interbancos margosos. Estan frecuentemente karstificadas.

La "Facies Páramo" ha sido datada como Pontiense s.s.

En el Páramo de Torozos alcanza 30 m de potencia en una extensión de 1.000 km². Se localiza al NO de la ciudad de Valladolid.

2.6. PLIOCUATERNARIO

Se atribuyen al Pliocuaternario los depósitos de rañas, que alcanzan considerable extensión y potencia, en el sector NO de la cuenca, así como al N de la Sierra de Pradales y en el Pasillo de Ciudad Rodrigo.

Las rañas están constituidas por cantos y bolos, casi exclusivamente de cuarcita, con una matriz arcillo-arenosa de color rojizo.

Alcanzan el máximo desarrollo en el sector norte y nor-este, donde llegan a superar los 40 m, e incluso rebasar los 100 al NO de León.

En el pasillo de Ciudad Rodrigo presentan gran extensión, con una potencia de 20 metros.

2.7. CUATERNARIO

Muestra amplia distribución geográfica y notables variaciones genéticas. El máximo desarrollo se alcanza en los valles de los ríos Duero, Pisuerga y Esla, así como en el sector sur de la cuenca, entre los ríos Duraton y Guareña, donde existen extensos arenales.

Dependiendo de su origen pueden definirse distintos tipos de depósitos: coluviales, terrazas, aluviales y arenas eólicas.

2.7.1. COLUVIALES

Solo en el borde NO de la Cuenca tienen alguna significación. Son formaciones del pie de ladera con potencias de hasta 10 m y extensión de varios km², Litológicamente son bolos, gravas y arenas muy heterométricas.

2.7.2. TERRAZAS

Alcanzan su máxima representación en los ríos de la margen derecha del Duero y en el mismo Duero. Pueden diferenciarse hasta siete niveles. Estan constituidas por gravas con predominio cuarcítico. La potencia no suele rebasar los 5 metros.

2.7.3. ALUVIALES

Existen en todos los grandes ríos de la cuenca. En general su potencia no suele rebasar los 10 a 12 metros. Estan - constituidos por gravas cuarcíticas y arenas. El carácter limoso predomina en los ríos desarrollados exclusivamente sobre los materiales de las facies "Tierra de Campos".

2.7.4. ARENALES

En la mitad S de la cuenca, en el sector comprendido entre Toro, Cuéllar, Nava de Arévalo y Peñaranda de Bracamonte, afloran extensas formaciones arenosas, cuyo espesor medio es de 5 metros, aunque puede superar los 20 metros. Su extensión es variable superando en ocasiones el centenar de km^2 . Se presume que en gran parte, si no en su totalidad, son de origen eólico.

2.8. TECTONICA

La Cuenca del Duero esta rellena por materiales continentales y lacustres terciarios, que hacia el E y SE se apoyan sobre el Mesozoico de la orla oriental del macizo ibérico, mientras que hacia el O rebasan el límite occidental del Mesozoico y pasan a apoyarse directamente sobre el zócalo.

La estructura es sencilla. Los materiales neógenos tienen una disposición tabular, prácticamente inalterada en toda su extensión. En la parte oriental de la cuenca, donde afloran los terrenos mesozoicos y paleógenos, puede advertirse la existencia de ligeras discordancias que atestiguan una débil deformación de dichos terrenos, la cual en su mayor parte debió ocurrir hacia el final del Oligoceno, al mismo tiempo que los plegamientos principales de la Cordillera Ibérica. Es, por lo demás, en la proximidad de ésta donde las deformaciones se acentúan y puede así existir una transición gradual de uno a otro dominio.

3. HIDROGEOLOGIA

3.1. CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA

3.1.1. CLIMA

El clima de la meseta septentrional se caracteriza por sus inviernos largos y fríos, por la irregularidad de las precipitaciones y por su aridez estival. Todo ello es debido al efecto combinado de dos factores: el aislamiento orográfico y la elevada altitud de la meseta.

La temperatura media anual disminuye progresivamente - desde 12° C a lo largo del valle del Duero a 11° C en su borde meridional. En el ángulo montañoso las temperaturas medias anuales son más bajas que en la meseta descendiendo hasta 9° C en el Sistema Central y hasta 7° C en la Cordillera Cantábrica.

El rigor térmico se manifiesta por la diferencia existente entre las temperaturas máximas y mínimas absolutas. Las primeras llegan a 45° C y las segundas a -15° C.

3.1.2. HIDROLOGIA

3.1.2.1. PRECIPITACION

La precipitación media anual sobre la cuenca es de 620 mm pero con grandes diferencias de unos puntos a otros (véase plano n° 4).

La distribución estacional de las precipitaciones muestra dos máximos y dos mínimos relativos. Durante el verano, la meseta, se encuentra bajo la influencia del anticiclón de las Azores y durante el invierno bajo el anticiclón continental, siendo por consiguiente dos estaciones secas. Durante la primavera y el otoño, tienen entrada los vientos húmedos procedentes del Atlántico, que originan la mayor parte de las precipitaciones.

En la Cordillera Cantábrica se registran los valores más altos de pluviometría, 1.500 mm/año; en el borde occidental son más bajos, de 1.300 mm/año, en la región de León a 900 mm/año en la de Salamanca y de 1.100 mm/año al S, en el Sistema Central. La pluviometría disminuye hacia el centro de la cuenca, observándose dos mínimos, uno al N de la provincia de Zamora, en la confluencia de los ríos Esla, Orbigo y Cea, y el otro en la unión de las provincias de Valladolid, Zamora, Salamanca y Avila, con valores de unos 400 mm/año. La precipitación media anual en el Terciario es de 510 mm.

3.1.2.2. EVAPOTRANSPIRACION

La evapotranspiración potencial media varia entre 575 y 740 mm/año, con un valor promedio de 680 mm/año (Thornhwaite). El mes de mayor evapotranspiración potencial es el de julio con un promedio de 125 mm produciéndose el mínimo en enero con 8,5 mm.

En la zona oriental se comprueba que, debido al clima, para disponer de excedentes de humedad es preciso que la precipitación media supere los 300 mm/año, su capacidad de re-

tención de agua en el suelo es de 50 mm, teniendo que superar los 650 mm/año si las capacidades de retención suben a 250 mm.

3.1.2.3. ESCORRENTIA SUPERFICIAL

El agua superficial procede fundamentalmente de los sistemas montañosos circundantes. La escorrentía superficial que en ella, se origina es alta debido a las características del terreno y a la abundante precipitación. Cuando los ríos entran en la meseta tienen ya un caudal importante.

Se observa que los afluentes de la derecha del Duero - son más caudalosos que los de la izquierda debido a la mayor precipitación en la Cordillera Cantábrica que en el Sistema Central y a que sus cuencas de cabecera están más desarrolladas.

Puesto que la mayor parte de las aportaciones de los ríos proceden de escorrentía superficial, sus caudales naturales están muy poco regulados y ha sido preciso construir embalses para su regulación.

3.2. HIDROGEOLOGIA

3.2.1. INTRODUCCION

Dentro del estudio hidrogeológico de esta zona hay que diferenciar dos tipos de materiales: los que forman el relleno de la Cuenca del Duero y los bordes Paleozoicos y graníticos del Oeste.

En el punto siguiente se describen los distintos tipos de acuíferos, formados por los sedimentos de la Cuenca, separando los superficiales, hasta unos 20 m de profundidad y que se comportan como acuíferos libres y los profundos, a más de 20 metros, constituidos por los materiales del Terciario detrítico y que se comportan como confinados o semiconfinados.

Respecto al conjunto Paleozoico se puede decir que tiene un carácter de impermeabilidad acusado. La escorrentía es predominantemente superficial, aprovechando las aguas subterráneas, zonas de falla o de intenso diaclasado. Los materiales, en general, están muy litificados, con escasos niveles alveolares y de difícil circulación del agua. Los manantiales

de escaso caudal, generalmente por drenaje de suelos vegetales, a veces muy desarrollados en las zonas de bosque, en los que se instalan freáticos de ladera.

Los granitos son impermeables, el agua aprovecha el diaclasado y da manantiales de escaso a medio caudal. También, como estos granitos han experimentado fenómenos de alteración secundarios, que han afectado a los feldespatos, hay zonas en que esta alteración llega a los 20 o 30 metros y los granitos se comportan como arenas o arenas arcillosas dando caudales de 1 a 4 l/s.

3.2.2. ACUIFEROS Y SU GEOMETRIA

De acuerdo con la litología, situación estratigráfica y su funcionamiento hidrogeológico se han considerado como formaciones acuíferas a los Aluviales, Terrazas y Rañas, Arenales, Páramos Calcáreos y Terciario Detrítico.

Hay que destacar el distinto comportamiento hidráulico de cada uno de ellos, lo que hace que se les diferencie en dos tipos de acuíferos bien definidos: Acuíferos superficiales (libres) y Acuíferos profundos.

Los acuíferos superficiales (libres) serían los constituidos por los Aluviales, Terrazas y Rañas, Arenales, Páramos Calcáreos y lentejones arenosos del Terciario Detrítico próximos a la superficie.

Los acuíferos profundos están formados por los lentejones arenosos del Terciario Detrítico situados a más de 20-30 metros de profundidad.

3.2.2.1. ACUIFEROS SUPERFICIALES

Entre los acuíferos superficiales se incluyen:

- El páramo calcáreo de Torozos.
- Los páramos de rañas de León.

- Los arenales del Sur del Duero (Avila, Segovia, Valladolid).
- Los aluviales de los ríos.

Son acuíferos que se encuentran muy próximos a la superficie del terreno y aflorante en la generalidad de los casos.

Se recargan fácilmente por la infiltración del agua de lluvia que directamente reciben, reaccionando los niveles freáticos de un modo casi instantáneo.

Generalmente el espesor saturado es pequeño sobrepasando rara vez los 10 metros, excepto en el caso de las calizas pontienses del páramo de Cuellar, cuyo espesor saturado medio es de unos 20 metros. Debido a esta circunstancia, la transmisividad es con frecuencia de media a baja, aun cuando la permeabilidad de los materiales sea alta o media.

Páramos calcáreos

Las calizas pontienses, que coronan los páramos, constituyen una formación permeable potencialmente acuífera. Sin embargo, su interés hidrogeológico se vé muy a menudo disminuido por la reducida dimensión o por su pequeños espesor. Solamente el Páramo de Torozos, tiene interés hidrogeológico.

El páramo de Torozos se extiende en dirección NE-SO desde las cercanías de Palencia hasta Tordesillas. Tiene una extensión de 975 km².

Geológicamente esta constituido por una formación tabular de calizas compactas, apoyadas sobre las margas de la Facies Cuesta, más difícilmente erosionables que las formaciones contiguas. Las calizas se encuentran normalmente karstificadas.

Hidrogeológicamente el páramo de Torozos constituye un acuífero libre, de naturaleza calcárea, con porosidad matricial nula, en los que el agua circula a favor de grietas, juntas de estratificación, etc, habiéndose desarrollado un carst que ocupa gran parte de la masa calcárea. Ambos acuíferos estan colgados y desconectados de los restantes de la región -

por el paquete impermeable de margas que le sirven de base. - Constituye un acuífero "isla", es decir drenados en todo su perímetro por una serie de manantiales que pueden dar caudales de varias decenas de litros por segundo.

El funcionamiento hidrogeológico del páramo es relativamente simple, no recibe más aporte de agua que la de lluvia directamente caída sobre él.

El flujo es bidimensional horizontal y está dirigido hacia los manantiales de la periferia, no existiendo flujos verticales puesto que las margas del muro son a efecto prácticamente impermeables.

Depósitos de Rañas

En la parte norte de la Cuenca se localizan extensos depósitos de rañas que han dado origen a relieves en cierto modo similares a los de los parámos calcáreos. Los afloramientos más extensos de rañas se sitúan en el interfluvio Orbigo-Esla (950 km²) entre el Esla y el Cea (545 km²), siendo el primero más interesante por su extensión y por su continuidad.

Estos depósitos están constituidos por cantos y bolos - casi exclusivamente de cuarcita, con una matriz arcilloarenosa de color rojizo, apoyándose sobre un mioceno detrítico. - Constituyen un acuífero libre de escasas posibilidades hidrogeológicas en cuanto a una explotación a escala regional.

Sus espesores varían de Norte a Sur. Al Norte del paralelo de León pueden encontrarse espesores de hasta 30 m; hacia el Sur los espesores medios oscilan entre 5 y 8 m llegando a cifras menores en las zonas más meridionales. Al Norte del citado paralelo la orografía es bastante accidentada debido a los numerosos barrancos excavados en las propias rañas, no existiendo tierras de labor; al Sur las rañas se presentan con una morfología plana ligeramente inclinada, estando ampliamente cultivadas.

La permeabilidad del acuífero es pequeña, siendo la transmisibilidad probablemente inferior a 10 m²/día. Los pozos -

existentes suelen agotarse a las 4-8 horas bombeando caudales de 1 a 2 l/s y tardan 24 horas en recuperarse, lo que dá una idea de la pobreza del acuífero.

Arenales de la Moraña y tierra de Pinares

Al Sur de Valladolid; entre el Duero y la Cordillera Central se encuentran extensos depósitos de arenas cuaternarias que recubren parcialmente a las formaciones arcillo-arenosas del Mioceno.

Las arenas, junto a los lentejones arenosos del Mioceno próximos a la superficie, constituyen (contemplados a nivel regional) un acuífero libre, heterogéneo, de gran extensión y pequeño espesor, que desempeña un importante papel en el funcionamiento hidrogeológico general de la cuenca del Duero.

La superficie total afectada por los arenales es de 6.000 km² aproximadamente.

Se trata de arenas medias a finas que a veces son homogranulares, generalmente limpias y con potencias que oscilan entre 2 y 20 metros. Su distribución superficial es arbitraria y se superponen indistintamente sobre las arcillas o arcillas arenosas en forma lentejonar.

La porosidad puede estimarse que oscila entre el 10 y 20%.

Aluviales

En todos los grandes ríos de la Cuenca del Duero, especialmente en los afluentes de la derecha y en el propio Duero, existen amplios aluviales que por su extensión y por estar conectados a los ríos tienen interés hidrogeológico. Constituyen acuíferos libres susceptibles de ser explotados mediante pozos excavados de poca profundidad.

La naturaleza litológica de los aluviales es función de la litología de las áreas fuentes y de la distancia a las mis

mas. En la parte central y sur de la Cuenca disminuye el porcentaje de gravas aumentando considerablemente los limos y las arenas. En las proximidades de los bordes NE, E y SE predominan las gravas y arenas de naturaleza calcárea.

Los espesores del conjunto son en general pequeños, estimándose que el espesor medio debe ser próximo a los 5 metros y que en raras ocasiones sobrepasa los 10 metros.

3.2.2.2. ACUIFEROS PROFUNDOS

Los acuíferos profundos están constituidos por los lentejones arenosos del Terciario Detrítico y se comportan como confinados o semiconfinados.

Esta formación acuífera es la de mayor extensión superficial y de una potencia máxima que oscila entre los 0 y 1.500 metros (véase gráfico isobetas muro del Terciario).

Es este acuífero un conjunto arcillo-arenoso con lentejones y bancos de fracción arenosa.

Estos lentejones de arena y arenisca no sobrepasan los 10 m de potencia y su continuidad lateral es reducida.

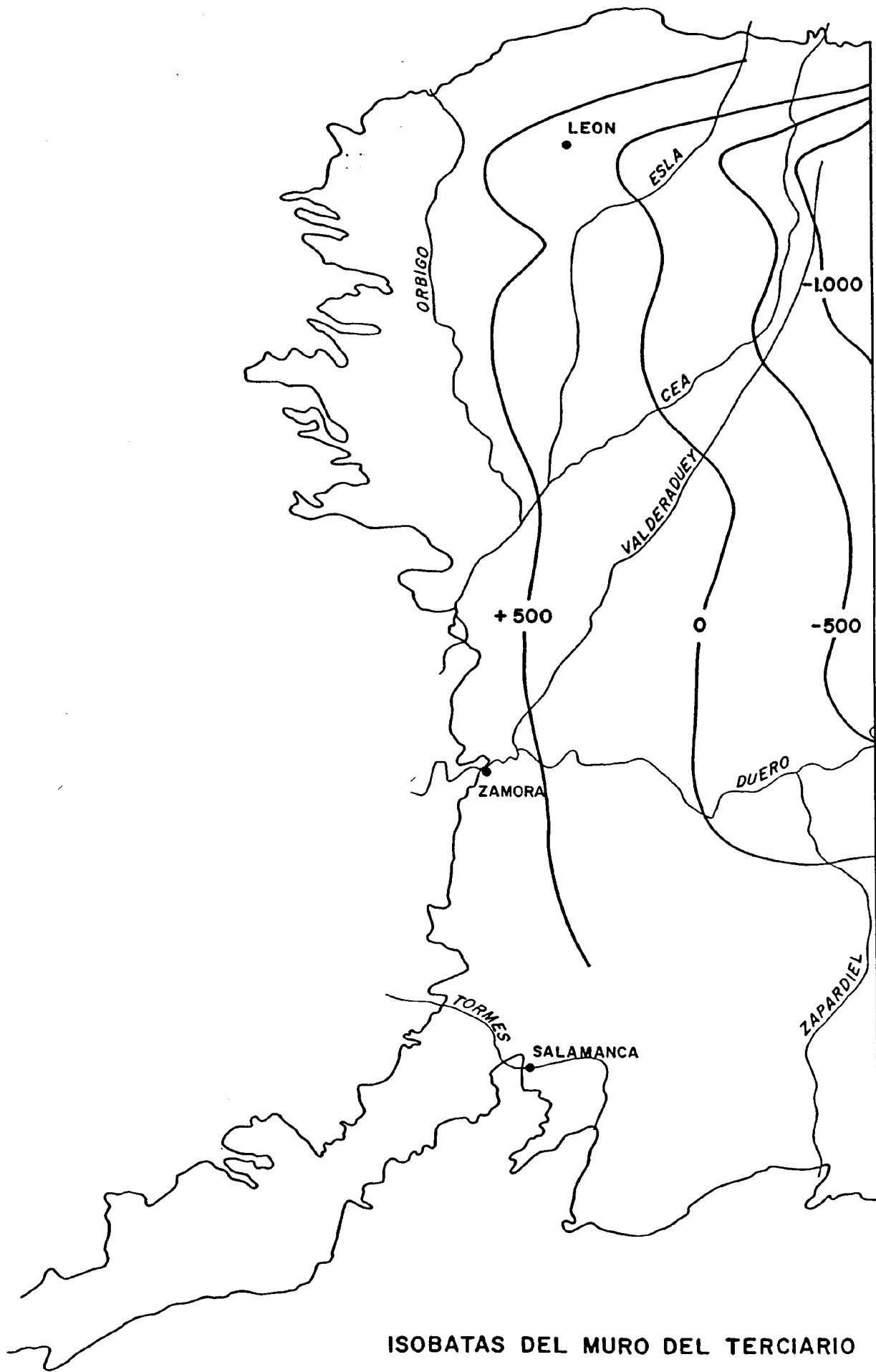
La extensión total del acuífero coincide con la del estudio y se ha subdividido en tres regiones homogéneas desde el punto de vista del flujo subterráneo (véase esquema división zonas hidrogeológicas).

Región Sur o de los Arenales

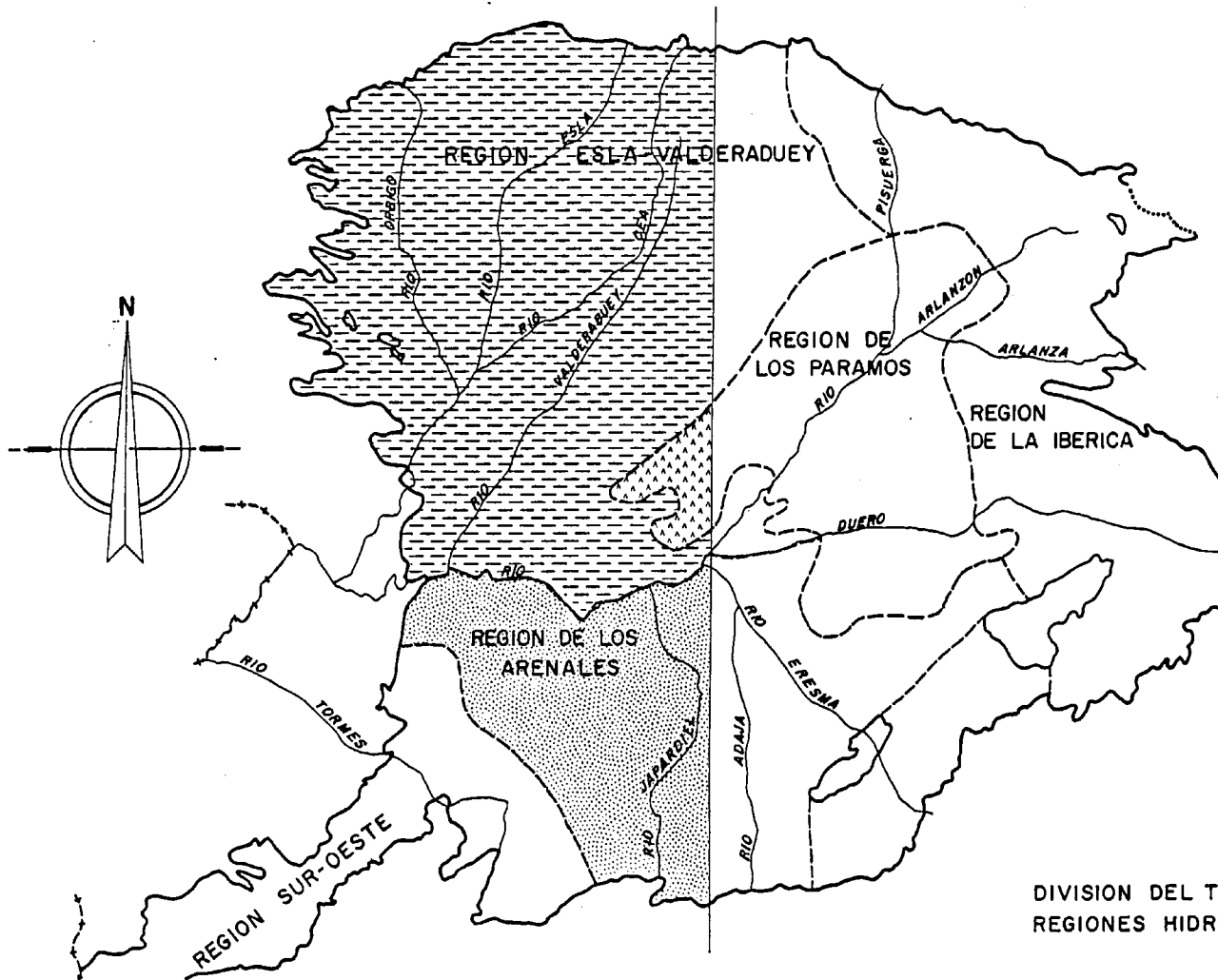
Se extiende al Sur del Duero entre este río y el sistema Central.

El espesor del Terciario crece rápidamente dado los bordes hacia el centro, estimándose en más de 1.000 metros en las proximidades del río Duero.

Sus recursos están explotados por numerosos sondeos de profundidades variables entre 50 y 250 metros, aunque en algún caso se lleguen a los 500 m de profundidad.



ISOBATAS DEL MURO DEL TERCIARIO



DIVISION DEL Terciario en
REGIONES HIDROGEOLOGICAS

Prácticamente toda la recarga procede de la infiltración del agua de lluvia. Esta es retenida temporalmente por los acuíferos superficiales libres (arenales) que la ceden lentamente por goteo a los acuífero profundos.

Región Sur-Oeste del Tormes

La zona Suroeste corresponde a la parte del Terciario detrítico que es drenada por el río Tormes. Su extensión es de 4.373 km^2 , sus límites son:

Al N y E, la divisoria hidrogeológica existente entre el Duero y el Tormes. Al S el Sistema Central. Al O afloramientos graníticos y paleozoicos.

Todos estos límites son impermeables excepto el Paleozoico del límite Sur, que por estar a menudo muy fracturado puede aportar apreciables cantidades de agua al Terciario Detrítico.

El río Tormes divide a la región en dos partes de distintas características hidrogeológicas. La situada sobre su margen derecha pertenece a la Meseta y es similar a la que se ha denominado Región Sur o de los arenales. La situada sobre la margen izquierda constituye una especie de corredor o pasillo Terciario cuyo funcionamiento es mal conocido a causa de la escasez de datos.

En la subzona situada en la margen derecha del Tormes (2.160 km^2) se estima que la infiltración oscila entre un 6% y un 10% de la de la precipitación media anual, lo que representa unos $70 \text{ hm}^3/\text{año}$, adoptando una infiltración media del 8%. La extracción solo supone $17 \text{ hm}^3/\text{año}$ mediante pozos y sondeos.

Región Norte o del Esla-Valderaduey

Coincide a grandes rasgos con las cuencas del Esla y del Valderaduey.

En una extensa zona (6.740 km²) los acuíferos son surgentes. La recarga se produce por la infiltración del agua de lluvia en las áreas no surgentes que coinciden con los interfluvios de los ríos y con una extensa franja adosada con los interfluvios de los ríos y con una extensa franja adosada al borde N. Además existe una notable recarga subterránea por las calizas y cuarcitas fracturadas de los bordes.

El flujo subterráneo se dirige hacia los principales ríos que cruzan la región (Orbigo, Esla, Cea-Valderaduey) y sólo una pequeña parte es drenada por el Duero.

Los mayores caudales se localizan en la zona de Villalpando-San Pedro de Latarce-Toro-Tordesillas y al S de León en Santa María del Páramo y Mansilla de las Mulas (más de 1 l/s por m como media).

3.2.3. PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS

Se describen primeramente las características hidrogeológicas de los acuíferos superficiales, en el orden anteriormente establecido para estos. Para el Terciario detrítico no se sigue el orden, se describe cada parámetro referido al conjunto de la cuenca.

Estos parámetros son:

- Caudal específico
- Transmisibilidad
- Permeabilidad
- Coeficiente de almacenamiento

3.2.3.1. ACUIFEROS SUPERFICIALES

Páramos

Del páramo de Torozos no se tienen datos de caudales específicos ni de ensayos de bombeo. Sin embargo el pequeño es-

pesor saturado de las calizas y los exiguos caudales de los pozos, hacen suponer que se trata de un acuífero pobre de baja transmisibilidad.

Depósitos de rañas

Los pozos, que explotan únicamente las rañas, se utilizan con pequeños caudales que no alcanzan los 2 l/s. La mayor parte se agotan transcurridas 4 ó 6 horas de riego, tardando en recuperarse 24 horas.

Aunque no se tienen datos prácticos reales, se puede considerar que el acuífero libre formado por los depósitos de rañas tiene, en general, transmisividades inferiores a los 10 m²/día.

Arenales de la Moraña y Tierra de Pinares

Los caudales conocidos varían entre 22,2 y 0,5 l/s con un valor medio de 5,6 l/s.

No se ha podido calcular las transmisividades de la zona, pero se puede tener un orden de magnitud que oscila entre 300 m²/día y 10 m²/día. Teniendo en cuenta el tipo de materiales que constituyen este acuífero, parece aceptable una transmisividad media comprendida entre 50 y 100 m²/día.

Aluviales

Los aluviales constituyen acuíferos libres y como tales tienen un coeficiente de almacenamiento alto, que se estima comprendido entre el 10% y el 20% en función de su naturaleza litológica.

La transmisividad, y por tanto el caudal de los pozos, es muy variable de unos a otros e incluso dentro de un mismo aluvial.

En el curso medio y bajo del Esla es frecuente encontrar pozos con caudales comprendidos entre 10 y 20 l/s, mientras - que otros pozos próximos se agotan a las 2-3 horas de bombeo y necesitan otras tantas para recuperarse.

En el Torio y el Bernesga los pozos suelen dar caudales del orden de 1 a 2 l/s, con un caudal específico de 0,3 l/s - por m como media, lo que equivale a una transmisividad del orden de 30 m²/día y una permeabilidad aproximada de 5 m/día.

De un ensayo de bombeo realizado por el IGME en un pozo próximo a Zamora se deduce una transmisividad de 360 m²/día y una permeabilidad de 240 m/día.

De esta información se deduce la gran heterogeneidad de los aluviales.

3.2.3.2. ACUIFEROS PROFUNDOS

Este ^{apartado} ~~acuífero~~ tiene por objeto estudiar y analizar las características hidrogeológicas de los acuíferos profundos de la Cuenca Terciaria del Duero, entendiéndose por tales a los - acuíferos del Terciario detrítico que, por encontrarse a más de 30-40 m de profundidad, se comportan como acuíferos confinados o semiconfinados.

Prácticamente la totalidad de la información se refiere a los 300-400 metros superiores del Terciario, permaneciendo virtualmente desconocidas las características hidrogeológicas de las capas situadas a mayores profundidades.

Caudales específicos

Los valores generalmente oscilan entre 0,1 l/s por m y 4 l/s por m y sólo en casos excepcionales se supera esta última cifra. El valor medio es de 0,92 l/s por m (véase plano nº 7).

Los mayores caudales específicos se localizan en las zonas de:

- León-Santa María del Páramo-Mansilla de las Mulas.
- Villalpando-San Pedro de Latarce-Toro-Tordesillas-Zamora-Castronuño.

En líneas muy generales, los caudales específicos de los sondeos aumentan desde los bordes hacia el centro de la Cuenca, lo que está de acuerdo con el modelo sedimentológico de la misma.

Transmisividades

De los resultados de los ensayos de bombeo se deduce que la transmisividad del terciario detrítico es de media a baja. En el 90% de los casos está comprendida entre 3 y 270 $\text{m}^2/\text{día}$, siendo la media de 75 $\text{m}^2/\text{día}$ y la mediana 50 $\text{m}^2/\text{día}$.

En un gran porcentaje de los ensayos no se aprecia tendencia alguna a la estabilización del nivel, pese a la larga duración de algunos de ellos, indicando que en una zona relativamente amplia el acuífero se comporta como confinado. En otros casos existe una tendencia a la estabilización aunque esta no se alcance por completo y sólo en algunos casos el nivel piezométrico se estabiliza totalmente durante la realización del ensayo.

Cuando los ensayos se han realizado con caudales relativamente pequeños y el descenso producido en el pozo es importante, se producen anomalías en la primera parte de la curva descensos-log tiempos debido a que el agua almacenada en el pozo representa una parte importante del volumen extraído durante los primeros momentos de bombeo.

Finalmente, en algunos casos se aprecian irregularidades en la gráfica descensos-tiempo del mismo tipo que las producidas por la existencia de barreras impermeables. Se atribuye a un efecto producido por la estructura lenticular del acuífero ensayado y su gran heterogeneidad.

Permeabilidades

Las permeabilidades individuales de las capas de arenas atravesadas por los sondeos son mal conocidas ya que no se han ensayado por separado cada uno de los horizontes acuífe--

ros atravesados por un mismo sondeo. No obstante se ha estimado un valor de la permeabilidad media del conjunto de las capas arenosas atravesadas por un mismo sondeo dividiendo la transmisividad deducida de los ensayos de bombeo por el espesor acumulado en las capas arenosas atravesadas por dicho sondeo.

Las permeabilidades así obtenidas oscilan entre 0,1 y 30 m/día.

Los valores medios de las permeabilidades por zonas son:

- Cuenca del Esla, media de 1,9 m/día.
- Centro, media de 5,9 m/día.
- Zona Sur, media 1,5 m/día.

No se ha medido en ningún caso la permeabilidad de la matriz limosa o arcillo-arenosa que engloba los lentejones acuíferos. Para la zona sur del Duero, se deduce que debe estar comprendida entre 0,01 y 0,001 m/día, es decir de 100 a 1.000 veces más pequeñas que la permeabilidad media de las capas arenosas. La permeabilidad de estos materiales es importante, puesto que es la que va a definir la permeabilidad vertical del conjunto del Terciario

Coeficiente de Almacenamiento

A partir de los ensayos de bombeo con medidas de nivel en sondeos próximos se han obtenido los siguientes valores del coeficiente de almacenamiento:

- Entorno de León $3 \cdot 10^{-4}$; $5,5 \cdot 10^{-4}$ y $1,62 \cdot 10^{-3}$
- NO de Peñaranda de Bracamonte $4,68 \cdot 10^{-3}$

En todos los casos el valor de S corresponde a acuíferos confinados o semiconfinados, lo que está de acuerdo con el modelo conceptual sobre el funcionamiento hidrogeológico de la cuenca.

3.2.4. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

El funcionamiento hidráulico de los acuíferos superficiales y profundos presentan comportamientos completamente distintos. A continuación se analiza el funcionamiento de cada uno de ellos.

3.2.4.1. ACUIFEROS SUPERFICIALES

Dentro de los acuíferos superficiales cabe distinguir los siguientes:

- Páramo de Torozos
- Páramo de Rañas
- Arenales
- Aluviales

Páramo de Torozos

Su funcionamiento es simple. El único aporte de agua que recibe es la lluvia directamente caída sobre él. El flujo es bidimensional horizontal y está dirigido a los manantiales de la periferia, no existiendo flujos verticales puesto que las margas del muro son a efecto prácticamente impermeables.

Rañas

El funcionamiento es similar al anterior. El flujo es bidimensional y dirigido de N a S y hacia los bordes. La única recarga es el agua de lluvia.

Arenales

También semejante al anterior. La recarga se produce por el agua de lluvia, caída directamente sobre ellos, y la descarga por percolación hacia los acuíferos profundos, sien-

do despreciable el drenaje hacia los ríos que los atraviesan.

Aluviales

Es relativamente simple, La recarga procede de la infiltración del agua de lluvia, fugas de canales y acequias, excedentes de riegos y del Mioceno detrítico subyacente, en las zonas donde este es surgente. La descarga se produce por el drenaje de los ríos.

2.3.4.2. ACUIFEROS PROFUNDOS

Se puede dividir estos acuíferos en varias zonas (véase esquema distribución zonas hidrogeológicas):

- Región de los arenales
- Región Esla-Valderaduey
- Región del Tormes

Región de los arenales

La recarga prácticamente procede del agua de lluvia, - que es retenida temporalmente en los acuíferos superficiales libres (arenales) que la ceden lentamente por goteo a los - acuíferos profundos. Cerca del Sistema Central el agua sigue una trayectoria descendente y, después de un recorrido horizontal más o menos largo, se inicia una trayectoria ascendente hasta alcanzar el río Duero directamente o por medio de los aluviales.

Región Esla-Valderaduey

La recarga se produce por infiltración de agua de lluvia en los interfluvios de los ríos y lateralmente en los bordes de la Cordillera Cantábrica, siendo el flujo descendente en estas zonas. La descarga se produce en los ríos Esla, Or-

bigo, Valderaduey y Cea, donde los flujos son ascendentes y - dan lugar a zonas de surgencia.

Región del Tormes

En esta se pueden distinguir dos zonas, una situada en la margen derecha, con un funcionamiento similar a la Región de los arenales, dirigiéndose el flujo subterráneo hacia el río Tormes, y la otra, el pasillo de Ciudad Rodrigo, cuyo funcionamiento es desconocido aunque parece ser, que está muy influenciado por la tectónica y estructura del zócalo y los bordes paleozoicos.

3.2.5. CALIDAD DEL AGUA

3.2.5.1. Terciario Detritico

En términos muy generales se puede considerar la Cuenca terciaria del Duero dividida en tres partes en cuanto a la calidad del agua.

- Areas de recarga, que coinciden en líneas generales con una extensa franja periférica incluyendo los interfluvios de los ríos.
- Zona margo-yesífera, situada en la parte centro-oriental de la Cuenca.
- Zona de descarga que coincide con una extensa franja central, con eje el río Duero, desde Valladolid hasta Zamora.

En la primera de estas zonas las aguas son, en general, bicarbonatadas calcico-magnésicas. La conductividad suele ser inferior a 500 μ mhos/cm (e incluso inferior a 150 μ mhos/m - en el borde Norte). Los cloruros permanecen por debajo de 50 ppm, y los sulfatos inferiores a 100 ppm. Se trata por consiguiente de aguas poco cargadas en sales.

En la zona margo-yesífera las conductividades suelen estar comprendidas entre 1.000 y 3.000 μ mhos/m, pero en algún caso se alcanzan valores de 6.000 μ mhos/m. El anión más abundante es el sulfato, cuyas concentraciones suelen estar comprendidas entre 1.000 y 2.000 ppm, el contenido en cloruros suele oscilar alrededor de 500 ppm. En general predominan las aguas sulfatadas cálcico magnésicas, excepto en la parte más occidental donde se clasifican como sulfatadas sódicas.

En la zona centro-occidental de la Cuenca, comprendida entre Olmedo-Valladolid-Valderas-Villafáfila y Zamora, por ser una zona de descarga donde confluye el flujo subterráneo procedente de una gran parte de la Cuenca y con un gran recorrido por el terreno, se encuentran aguas relativamente cargadas en sales. La conductividad es en general superior a 1.000 μ mhos/cm, alcanzándose los máximos valores (entre 3.000 y 6.000 μ mhos/cm) en las zonas de Olmedo, Valladolid-Tordesillas y Villafáfila. En Villafáfila las aguas son cloruradas, con concentraciones en cloruros de hasta 2.000 ppm. En el resto predominan las aguas sulfatadas.

3.2.5.2. ACUIFEROS SUPERFICIALES

La calidad química de las aguas contenidas en los acuíferos superficiales ofrecen, como es obvio, una gran variedad.

En los páramos calcáreos son muy carbonatados pero apenas tienen cloruros y el contenido en sulfatos es también bajo. En múltiples ocasiones el contenido en nitratos es superior a 30 ppm. El total de sólidos disueltos es inferior a 700 ppm.

En los páramos de rañas, el agua es de bajo contenido en sales (generalmente menos de 500 ppm de sólidos disueltos). Sus dos características más notables son el elevado contenido en nitratos (más de 50 ppm) y que la salinidad aumenta de norte a sur, lo que podría estar relacionado con una mayor intensidad y abonado de los cultivos.

En los arenales el agua tiene también un bajo contenido iónico, pero no es potable debido a su alto contenido en nitratos (a veces más de 100 ppm) que proceden sin duda de los abonos agrícolas. Es interesante señalar que el agua contenida en los arenales es siempre de mejor calidad química que la de los acuíferos terciarios subyacentes.

4. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

4.1. INTRODUCCION

Para realizar el inventario de puntos de agua se ha utilizado por una parte, el Inventario Nacional de Manifestaciones Geotérmicas y por otra, los datos que se encuentran en el Archivo Nacional de Puntos Acuíferos. Del primero se recogieron 18 puntos repartidos de la siguiente manera: 11 corresponden a sondeos de carácter hidrogeológico que explotan los niveles arenosos surgentes del Terciario detrítico (DOC-11, 12, 13, 19, 27, 28, 29, 30, 34, 49 y 50), 2 son manantiales que emergen del contacto Paleozoico-Facies Utrillas en el borde de la Cordillera Cantábrica con el Terciario de la Cuenca del Duero (DOC-58 y 59), y los 5 restantes también son manantiales, que surgen a través de fracturas en los afloramientos graníticos del oeste de la cuenca terciaria en la provincia de Salamanca (DOC-53, 54, 55, 56 y 57).

Los restantes puntos, 42, fueron seleccionados del Archivo de Puntos Acuíferos, teniendo en cuenta que fuesen sondeos surgentes, ya que estos captan los flujos subterráneos más profundos, y por lo tanto con mayores posibilidades de tener temperaturas más altas. También se procuró, que la dis-

tribución de los puntos de agua estuviesen repartidos por todas las zonas de surgencia, con el fin de detectar todas las posibles anomalías térmicas que se pudieran presentar.

De todos estos puntos acuíferos además de medir la temperatura de surgencia, se recogieron muestras de agua para su posterior análisis hidroquímico. De 15 de ellos también se tomaron muestras duplicadas para la determinación de los isótopos estables del agua.

A continuación se dá un listado con todos los puntos censados y sus características más notables.

Dentro de la zona de estudio existen dos sondeos petrolíferos León 1 y León 1bis, situados a 1 km al NO de Valencia de Don Juan.

El sondeo León 1 tiene las siguientes coordenadas geográficas:

$$\begin{aligned}x &= 1^{\circ} 50' 57'' \text{ (meridiano de Madrid)} \\y &= 42^{\circ} 17' 30'' \\z &= 751 \text{ m}\end{aligned}$$

La profundidad de este sondeo es de 925 m, abandonándose por dificultades mecánicas. La potencia del Terciario es de 520 m y se encontró varios niveles acuíferos artesianos.

El segundo sondeo León 1bis, está situado a pocos metros del anterior, y sus coordenadas son:

$$\begin{aligned}x &= 1^{\circ} 51' 00'' \\y &= 42^{\circ} 17' 51''\end{aligned}$$

La profundidad total es de 2.543 m. Aquí el Terciario tiene una potencia de 534 m encontrándose el Paleozoico directamente debajo de él. Al igual que en el anterior, se encontraron diversos lentejones de arenas y gravas, que dan agua artesiana a temperaturas que oscilan entre 22° y 26°. La presión del agua osciló entre 3 y 6 kg/cm² y los caudales artesianos oscilaron entre 15 y 45 l/seg.

DENOMINACION	HOJA E. 1:50.000	T° MUNICIPAL	COORDENADAS	COTA m	NATURA LEZA	PROFUND. OBRA m	PROFUNDIDAD AGUA m	CAUDAL 1/s	TEMP. °C	OBSERVACION
DOC-1 (1410-5-011)	195 Mansilla de las Mulass	Cordobillos de los Oteros	x= 1° 46' 20" y=42° 24' 29"	790	Sondeo	390	+ 6 (surg.)	1,5	23	Abastecim.
DOC-2 (1411-8-008)	233 Valencia de D. Juan	Izagre	x= 1° 34' 47" y=42° 13' 46"	790	Sondeo	407	+ 9,4 (surg)	1	21	
DOC-3 (1308-8-004)	129 La Robla	S. Feliz de Torio	x= 1° 51' 04" y=42° 40' 33"	870	Sondeo	305	+ 9,4 (surg)	0,8	18	Abastecim.
DOC-5 (1309-7-002)	161 León	Quintana Ranero	x= 1° 57' 03" y=42° 32' 27"	857	Sondeo	381	+ 4 (surg.)	3	23	
DOC-6 (1309-8-026)	161 León	León	x= 1° 53' 40" y=42° 34' 45"	815	Sondeo	450	Surgente	53,1	22	
DOC-7 (1409-2-012)	162 Gradefes	Castrillo de Porma	x= 1° 41' 57" y=42° 36' 31"	830	Sondeo	310	+ 1,9 (surg)	0,25	17	
DOC-8 (1509-6-001)	163 Villamiraz	Villaceran	x= 1° 20' 48" y=42° 34' 05"	863	Sondeo	390	+44 (surg.)	17	16,2	
DOC-9 (1509-6-002)	163 Villamiraz	Villaceran	x= 1° 20' 25" y=42° 31' 42"	845	Sondeo	455	+46 (surg.)	17	15	
DOC-10 (1310-4-002)	194 S ^a M ^a del Páramo	Ardon	x= 1° 52' 20" y=42° 26' 30"	798	Sondeo	437	+ Surgente	13	27	Abastecim.
DOC-11 (1310-6-001)	194 S ^a M ^a del Páramo	S ^a M ^a del Páramo	x= 2° 03' 40" y=42° 21' 23"	810	Sondeo	500	+ Surgente	0,4	26	Fuente Pública
DOC-12 (1310-7-001)	194 S ^a M ^a del Páramo	Villoce	x= 1° 55' 15" y=42° 20' 10"	785	Sondeo	449			20	
DOC-13 (1310-7-002)	194 S ^a M ^a del Páramo	Villavañe	x= 1° 56' 36" y=42° 22' 52"	800	Sondeo	335			26	Abastecim.
DOC-14 (1310-8-042)	194 S ^a M ^a del Páramo	Beñazolve	x= 1° 53' 33" y=42° 24' 55"	790	Sondeo	353	+ Surgente	10	25	Abastecim.
DOC-15 (1410-2-001)	195 Mansilla de las Mulass	Valdearcos	x= 1° 41' 57" y=42° 27' 33"	810	Sondeo	350	+ Surgente	6	24	
DOC-16 (1410-1-001)	195 Mansilla de las Mulass	Villacelana	x= 1° 46' 04" y=42° 28' 55"	810	Sondeo	345	+ Surgente	0,3	22	Abastecim.
DOC-17 (1410-2-004)	195 Mansilla de las Mulass	Mansilla de las Mulass	x= 1° 43' 50" y=42° 29' 55"	795	Sondeo	412	+ Surgente		25	Abastecim.
DOC-19 (1410-7-001)	195 Mansilla de las Mulass	Grazalejo	x= 1° 39' 23" y=42° 24' 06"	820	Sondeo	400	Surgente		23	Abastecim.
DOC-20 (1410-5-010)	195 Mansilla de las Mulass	Fresno de la Vega	x= 1° 49' 43" y=42° 20' 24"	760	Sondeo	475	Surgente	10	27	Abastecim.

DENOMINACION	HOJA E. 1:50.000	T° MUNICIPAL	COORDENADAS	COTA m	NATURA LEZA	PROFUND. OBRA m	PROFUNDIDAD AGUA m	CAUDAL l/s	TEMP. °C	OBSERVACION
DOC-21 (1510-3-002)	196 Sahagún	Cea	x= 1° 19' 50" y=42° 27' 35"	820	Sondeo	550	+ Surgente	15	27	Abastecim.
DOC-22 (1510-5-001)	196 Sahagún	Gordauza del Pino	x= 1° 28' 58" y=42° 20' 16"	820	Sondeo	650	+ 40		28	Abastecim.
DOC-23 (1510-6-001)	196 Sahagún	Codornillos	x= 1° 22' 12" y=42° 24' 22"	822	Sondeo	630	Surgente	8	25	
DOC-24 (1510-6-090)	196 Sahagún	Sahagún	x= 1° 20' 26" y=42° 22' 34"	812	Sondeo	500	Suregente	0,5	21	Abastecim.
DOC-25 (1311-3-003)	232 Villamañan	Villamañan	x= 1° 56' 15" y=42° 19' 51"	800	Sondeo	488,75	-2,03		22	
DOC-26 (1311-8-002)	232 Villamañan	Castroponte	x= 1° 50' 49" y=42° 12' 40"	743	Sondeo	306	Surgente		24,2	Abastecim.
DOC-27 (1411-1-001)	233 Valencia de D. Juan	Pajares de los Oteros	x= 1° 47' 24" y=42° 19' 03"	800	Sondeo	510	Surgente		30	Abastecim.
DOC-28 (1411-1-002)	233 Valencia de D. Juan	Valencia de D. Juan	x= 1° 49' 50" y=42° 17' 35"	765	Sondeo	476	Surgente		28	Abastecim.
DOC-29 (1411-3-001)	233 Valencia de D. Juan	Valverde-Enrique	x= 1° 36' 45" y=42° 18' 05"	830	Sondeo	400	Surgente		25	Abastecim.
DOC-30 (1411-4-001)	233 Valencia de D. Juan	Albires	x= 1° 34' 58" y=42° 15' 10"	800	Sondeo	350	Surgente		28	Abastecim.
DOC-31 (1411-6-002)	233 Valencia de D. Juan	Matauza	x= 1° 41' 28" y=42° 14' 28"	800	Sondeo	500	Surgente		30	Abastecim.
DOC-32 (1411-8-002)	233 Valencia de D. Juan	Mayorga	x= 1° 34' 20" y=42° 10' 20"	775	Sondeo	500	+	30	32	Abastecim.
DOC-33 (1212-3-013)	269 Arrabalde	Rosinos de Vidriales	x= 2° 17' 08" y=42° 05' 10"	737	Sondeo	97	Surgente	0,03	17	
DOC-34 (1412-2-001)	271 Valderas	Gordoncillo	x= 1° 42' 45" y=42° 08' 02"	740	Sondeo	400	+		30	Abastecim.
DOC-35 (1412-2-002)	271 Valderas	Valderas	x= 1° 44' 20" y=42° 06' 20"	740	Sondeo	400	Surgente		22	Abastecim.
DOC-36 (1412-4-001)	271 Valderas	Mayorga de Campos	x= 1° 34' 30" y=42° 10' 00"	774	Sondeo	500	Surgente		27	Abastecim.
DOC-37 (1512-1-001)	272 Villalon de Campos	Villagomez la Nueva	x= 1° 28' 25" y=42° 08' 40"	739	Sondeo	300	Surgente		22	

DENOMINACION	HOJA E. 1:50.000	T° MUNICIPAL	COORDENADAS	COTA m	NATURA LEZA	PROFUND. OBRA m	PROFUNDIDAD AGUA m	CAUDAL l/s	TEMP. °C	OBSERVACION
DOC-38 (1413-2-004)	309 Villalpando	Prado	x= 1° 42' 50" y=42° 53' 00"	708	Sondeo	470	Surgente	0,03	22	CO ₂ libre
DOC-39 (1314-3-011)	340 Manganeses Lampreana	Villarín de Campos	x= 1° 57' 30" y=41° 47' 55"	690	Sondeo	350	Surgente		16	
DOC-40 (1414-5-001)	341 S. Pedro de la Torre	Castro nuevo	x= 1° 49' 50" y=41° 42' 47"	680	Sondeo	170	Surgente		22	
DOC-41 (1414-1-006)	341 S. Pedro de la Torre	Villardiga	x= 1° 46' 30" y=41° 49' 05"	682	Sondeo	121	Surgente		18	Abastecim.
DOC-42 (1315-3-010)	369 Coreses	Benagiles	x= 1° 56' 07" y=41° 38' 05"	645	Sondeo	360	Surgente		16	
DOC-43 (1415-6-004)	370 Toro	Toro	x= 1° 44' 55" y=41° 30' 32"	655	Sondeo	183			22	
DOC-45 (1316-4-046)	397 Zamora	Madridanos	x= 1° 54' 33" y=41° 28' 47"	650	Sondeo	228,5	Surgente	2	20	Abastecim.
DOC-46 (1309-4-019)	161 León	Villaobispo de la Regisera	x= 1° 51' 38" y=40° 36' 51"	830	Sondeo	345			20	
DOC-47 (1308-8-014)	129 La Robla	Villaverde de Arriba	x= 1° 50' 19" y=42° 41' 34"	877	Sondeo	320	+ 13,5	3,8	18	
DOC-48 (1409-6-003)	162 Gradafes	Mansilla	x= 1° 43' 25" y=42° 30' 10"	800	Sondeo	355	+ 14	6	18	
DOC-49 (1311-2-003)	232 Villamañan	Laguna Dalga	x= 2° 03' 40" y=42° 19' 54"	800	Sondeo	370			24	Abastecim.
DOC-50 (1311-3-001)	232 Villamañan	Pobladura Pe- layo Garcia	x= 1° 59' 43" y=42° 18' 28"	797	Sondeo	398			25	Abastecim.
DOC-53	424 Almeida	Baños de Almei da	x= 2° 25' 30" y=41° 15' 48"	780	Manant.			1	19	Balneario abandonado
DOC-54	451 Ledesma	Baños de Cal zadilla	x= 2° 22' 35" y=41° 03' 38"	865	Manant.			1	29	Balneario abandonado
DOC-55	451 Ledesma	Baños de Le- desma	x= 2° 12' 50" y=41° 04' 15"	752	Manant.			2,21	48	Balneario activo
DOC-56	501 La Fuente S. Esteban	Baños del Re- tortillo	x= 2° 43' 38" y=40° 47' 40"	700	Manant.			2	48	Balneario activo
DOC-57	526 Serradilla de la Ribe ra	S. Miguel de Caldillas	x= 2° 45' 17" y=40° 35' 22"	720	Manant.			35	27	Balneario inactivo

DENOMINACION	HOJA E. 1:50.000	T° MUNICIPAL	COORDENADAS	COTA m	NATURA LEZA	PROFUND. OBRA m	PROFUNDIDAD AGUA m	CAUDAL l/s	TEMP. °C	OBSERVACION
DOC-58	104 Boñar	Caldas de Boñar	x= 1° 37' 50" y=42° 52' 30"	975	Manant.			3	22	Balneario inactivo
DOC-59	104 Boñar	Caldas de S. Abrian	x= 1° 37' 05" y=42° 50' 30"	962	Manant.			10	29	Balneario inactivo
DOC-60	231 La Bañeza	Herreros de Jamliz	x= 2° 18' 42" y=42° 15' 00"		Manant.			2	15	Abastecim.
DOC-61 (1315-6-040)	369 Coreses	Monfarradinos	x= 2° 01' 00" y=43° 33' 01"	640	Sondeo	80			20	
DOC-62 (1309-4-029)	161 León	Trobajo del Cerecedo	x= 1° 53' 18" y=42° 33' 55"	809	Sondeo	350			21	Abastecim.
DOC-63 (1310-5-003)	194 S ^a M ^a del Páramo	Matalobos del Páramo	x= 2° 07' 40" y=42° 25' 00"	819	Sondeo	380			24	Abastecim.
DOC-64 (1410-2-005)	195 Mansilla de las Mulas	Mansilla de las Mulas	x= 1° 42' 25" y=42° 29' 17"	800	Sondeo	400	Surgente	9,3	23	
DOC-65 (1410-1-001)	195 Mansilla de las Mulas	Palanquinos	x= 1° 49' 23" y=42° 27' 40"	780	Sondeo	345	Surgente		18	Abastecim.

5. ESTUDIOS DETALLADOS

5.1. INTRODUCCION

Se ha seleccionado esta zona, por ser la que engloba la mayoría de los puntos de agua, que tienen las temperaturas más altas dentro del Terciario de la Cuenca Occidental del Duero. Estos puntos corresponden a una serie de sondeos de carácter hidrogeológico, que explotan los niveles arenosos surgentes del Mioceno (véase plano nº 6).

Las temperaturas oscilan entre los 20° y 30° C (véase plano nº 13), siendo 34 los sondeos en los que se han medido aquellas, tomándose muestras de todos ellos para realizar análisis químicos y los cálculos geotermométricos.

El área de estudio se encuentra situado en el ángulo noroccidental de la Cuenca del Duero. Atravesada de N a S por los ríos Orbigo, Esla, Cea y Valderaduey, confluyendo los tres primeros al S de la zona.

Desde el punto de vista geológico, los materiales que afloran corresponden al Terciario detrítico de la Cuenca del Duero, que se encuentran apoyados sobre un zócalo paleozóico, que sólo aflora en el ángulo suroccidental.

El área de estudio engloba en ámbito de las siguientes -
hojas 1/50.000 del MTN: 194 (Santa María del Páramo), 195 (Man-
silla de las Mulas), 196 (Sahagún), 232 (Villamañán), 233 (Va-
lencia de Don Juan), 234 (Villada), 270 (Benavente), 271 (Val-
deras) y 272 (Villalón).

5.2. GEOLOGIA

Como ya se ha indicado en el párrafo anterior, los materiales que afloran corresponden al paleozoico y mioceno, teniendo amplia representación los depósitos más modernos de origen fluvial (véase planos n° 9, 10, 11 y 12).

5.2.1. PALEOZOICO

Sólo aflora en el ángulo suroeste, y sus materiales, corresponden al llamado dominio de Truchas (MARCOS, 1973). Este dominio abarca las regiones de La Cabrera y Barco de Valdeorras, situadas más al occidente.

Se apoya el paleozoico discordantemente sobre el antiforme del "Ollo de Sapo". El Paleozoico Inferior no está completamente representado, ya que los materiales de edad Ordovícico Inferior se apoyan sobre otros precámbricos a lo largo de todo el borde del antiforme del "Ollo de Sapo".

Cuatro son las unidades litoestratigráficas presentes en este dominio: Serie de los Cabos, Pizarras de Luarca, Formación Agueira y Ampelitas Silúricas.

5.2.1.1. SERIE DE LOS CABOS

Por encima del "Olló de Sapo" y en contacto muy neto, - aparece una sucesión detrítica (Serie de los Cabos). Esta sucesión comienza por 150 m de pizarras negras o azuladas con escasas intercalaciones de areniscas, a las que se superponen 40 m de cuarcitas y pizarras intercaladas. En los niveles de cuarcitas se encuentran restos de *Cruziana furcifera* D'ORBIGNY.

A continuación se sitúan 1.000 m de pizarras y areniscas, que culminan en unas cuarcitas masivas. Estas cuarcitas superiores, tienen un espesor de unos 100 m en la parte S del sinclinorio de Truchas y 250 m en la parte N, y son en general menos espesas y masivas que en los dominios del Alto Sil y Mondoñedo situados más al N. En estas cuarcitas se encuentra abundante fauna representado por *Cruziana furcifera* D'ORB, *Cruziana goldfussi* y *Cruziana rugosa* D'ORB.

Por encima de estos materiales se sitúan pizarras y areniscas, que constituyen una transición a las Pizarras de Luarca. El espesor de esta serie de transición es de unos 75 m, y se encuentra en ella *Didymograptus deflexus*, *D. extensus* y *D. nitidus*.

La fauna encontrada en la serie de Cabos indica que pertenece al Arenig.

5.2.1.2. PIZARRAS DE LUARCA

Se trata de pizarras similares a las que existen en el Ordovícico Medio de toda la Península. No obstante, dentro del dominio de Truchas existen algunas diferencias que permiten establecer una sucesión para la parte oriental y otra para la occidental.

Así al E, en los alrededores de Truchas, después de unos 100 m de Pizarras de Luarca con su aspecto normal (pizarras negras masivas, con presencia muy frecuente de piritita), aparece una sucesión vulcano detrítica consistente fundamen--

talmente en tobas intercaladas en pizarras, con un espesor de 300 m. En la base de esta formación se ha encontrado *Redonia* sp., que indica una edad Ordovícica. El vulcanismo desaparece gradualmente hacia el N y O del dominio de Truchas. A partir de las rocas vulcano detríticas resulta difícil diferenciar las rocas volcánicas de las que proceden. Diversos autores las han atribuido desde diabasas, hasta riolitas y rocas afines. En conjunto, las series vulcanodetríticas del dominio de Truchas podrían considerarse como una serie volcánica diferenciada, que vá desde términos ácidos hasta términos moderadamente básicos, sin que se pueda precisar por el momento el tipo de rocas de que se trata.

En la parte occidental del dominio de Truchas, la sucesión es ligeramente distinta de la anteriormente descrita y el cambio de una a la otra sucede lateralmente de forma gradual. Pueden diferenciarse, de abajo a arriba:

- 200 m de pizarras oscuras. Pueden aparecer algunos niveles de areniscas.
- 150 m de pizarras, en las que esporádicamente aparecen nódulos calcáreos.
- 150 m de pizarras masivas, fácilmente exfoliables, que se explotan industrialmente.
- 50 m de pizarras no explotables.

Estas unidades pertenecen al Ordovícico Medio.

5.2.1.3. FORMACION AGUEIRA

Por encima de las Pizarras de Luarca aparece una serie de areniscas y pizarras. Se trata de niveles turbidíticos cuya distribución no es uniforme en este dominio y cuyo espesor máximo es de 150 m.

El contacto entre la formación Agueira y las Pizarras de Luarca se realiza sin tránsito gradual. Comienza siendo una turbidita proximal en los 50 m basales con capas de hasta un metro de espesor, que presentan granoselección y amalgama-

ción de capas. Entre las marcas en los muros de las capas se han localizado ripples longitudinales de flute casts. La dirección de las paleocorrientes forma un pequeño ángulo con la dirección de las estructuras tectónicas. Por encima de estos niveles proximales se pasa gradual y rápidamente hasta una turbidita muy distal, caracterizada por la gran abundancia de pizarras con delgadas intercalaciones de areniscas.

5.2.1.4. AMPELITAS SILURICAS

Sobre los materiales reseñados anteriormente o sobre las Pizarras de Luarca, se sitúan las ampelitas silúricas. Se compone esta formación de dos miembros. El inferior son 300 m de ampelitas y pizarras ampelíticas con cloritoide y el superior, otros 300 m de areniscas, cuarcitas y ampelitas en bancos delgados.

En las ampelitas de la base es muy frecuente la presencia de *Monograptus deubeli* y *M dubius*, y que corresponden a la parte baja del Ludlow.

El miembro superior se incluye dentro del Silúrico por presentar ampelitas.

5.2.1.5. TECTONICA

El dominio de Truchas es un sinclinorio intensamente replegado. Estos pliegues corresponden a la primera fase de deformación, se trata de pliegues tumbados o vergentes al N de dirección ONO-ESE.

Presentan esquistosidad de flujo paralela, en general, a sus planos axiales. La disposición de dichos planos cambia de E a O, presentando en la parte occidental planos axiales subhorizontales o débilmente inclinados al S ; en la parte oriental, los planos están subverticales o fuertemente inclinados. Este hecho queda puesto de manifiesto por la variación de la posición de la esquistosidad de flujo en toda la región. Estos cambios en la disposición de la misma no son originales,

sino que se deben a la existencia de pliegues posteriores de dirección ligeramente oblicua a la de los de la primera fase. Los segundos pliegues son vergentes al S y de grandes dimensiones, ya que en todo el dominio de Truchas se desarrollan únicamente un sinclinal y un anticlinal muy amplios, que se detectan por la posición de la esquistosidad a la que se ha hecho referencia. Estos pliegues van acompañados, de estructuras menores, como crenulaciones y kink-bands.

5.2.2. MIOCENO

En discordancia neta sobre los materiales paleozóicos - que constituyen el borde noroccidental de la Cuenca del Duero, afloran una serie de depósitos de edad premiocena y miocena. Estos depósitos evolucionan desde las formaciones premiocenas que se adosan a los relieves paleozoicos, con marcado carácter conglomerático (Facies Marginal), hasta los depósitos de tipo areno-limo-arcilloso que constituyen la transición a las facies centrales de carácter margoso y carbonatado, que culminan la sedimentación neógena.

Estos depósitos de tipo areno-limo-arcilloso, presentan una distribución horizontal bastante amplia dentro de la zona, evolucionando hacia el norte y oeste a contenidos más frecuentes en arenas y conglomerados, y hacia el este y sureste a depósitos con un aumento paulatino de los niveles arcillosos, siendo difícil matizar cartográficamente el paso de una facies a otra sin caer en imprecisiones.

5.2.2.1. MIOCENO INFERIOR-MEDIO (VINDOBONIENSE)

Estos depósitos ocupan una gran extensión superficial. Estan constituidos por una alternancia irregular de arcillas limosas de tonos pardo-rojizos, con intercalaciones de areniscas de grano medio a fino que en ocasiones aparecen sin cemento carbonático. Su distribución en la vertical, muestra un

marcado carácter lentejonar en los episodios terrígenos. Hacia los bordes de la cuenca aumenta el carácter detrítico grueso y disminuye gradualmente hacia el centro de la misma.

Esporádicamente aparecen, dentro de la alternancia areno-limo-arcillosa, intercalaciones margosas e incluso calcáreas, que cambian lateralmente de potencia y desaparecen. Con igual carácter esporádico, aparecen lentejones conglomeráticos de escasa potencia.

Todos estos materiales definidos por su carácter areno-limo-arcilloso, constituyen la denominada "Facies Tierra de Campos", que muestra una amplia distribución no sólo en esta zona de estudio, sino en todo el dominio de la Cuenca Terciaria del Duero. Su potencia llega a superar los 70 metros en la zona de estudio (véase gráfico isobatas del muro del Terciario).

5.2.2.2. PONTIENSE

En el sector nororiental de la zona, aflora, en discordancia o en concordancia con los depósitos Vindobonienses, un conjunto de materiales, "Facies Relea", constituidos por secuencias de niveles de arenisca amarillenta, arcillas rojas y a veces violáceas intercaladas con margas, margocalizas y calizas arcillo-arenosas. Su potencia visible se estima entre 40 y 50 metros.

5.2.2.3. PLIOCENO

Se atribuyen al Plioceno los depósitos de Ranas, que, en considerable extensión, aparecen representados en esta zona. Estos depósitos descansan discordantemente sobre las formaciones terciarias, y en ocasiones, aparecen con morfología de terraza cuaternaria de diferenciación problemática.

Las Rañas, están constituidas por conglomerados de cantos de cuarcita, cantos y bolos de cuarzo y cuarcita, arenis-

cas y arcillas de matriz arcillo-arenosa de tonalidades rojizas. Su potencia media es del orden de los 4 metros.

5.2.3. CUATERNARIO

Estas formaciones se encuentran ampliamente desarrolladas y muestran una generosa distribución superficial. Su máximo desarrollo se alcanza en los valles de los ríos Orbigo, Esla, Cea, Valderaduey y Sequillo.

Se han diferenciado dos tipos de depósitos, atendiendo a su origen y dentro de la complejidad de dichos depósitos, Terrazas y Aluviales.

5.2.3.1. TERRAZAS

Alcanzan su máxima representación en los valles de los ríos antes mencionados. Se han podido diferenciar hasta siete niveles de terraza, observándose que cada río o arroyo presenta un sistema o sistemas más o menos complejos de terrazas.

Las Terrazas altas están constituidas fundamentalmente por material detrítico de grano medio a grueso y cierta cantidad de elementos finos, arenas, limos y arcillas. Ocasionalmente estos niveles superiores de terraza están compactados, pudiéndose llegar a confundir con los depósitos Plioceno (Rañas) con los que se encuentran en estrecho contacto.

El resto de los niveles más inferiores de terrazas, lo constituyen una serie de materiales finos, arcillo-limosos, en ocasiones con lentejones de arenas gruesas y limos.

La potencia de estas terrazas no suele rebasar, generalmente, los 6 metros.

La primera terraza y en llanura de inundación, suelen estar conectadas con el aluvial, y están formadas por materiales finos, limos y arcillas con cierta cantidad de arenas. Su potencia media es de 4 a 7 metros, llegándose en ocasiones a los 10 metros.

5.2.3.2. ALUVIALES

El aluvial actual, en ocasiones llanura de inundación, aparece muy bien desarrollado en los ríos anteriormente señalados. Lo constituyen una serie de depósitos detríticos, cantos rodados de cuarcita, arenisca y caliza, con cierta cantidad de niveles arenosos y arcillosos, en el lecho actual. En la llanura de inundación, los detríticos groseros desaparecen, aumentando progresivamente los elementos finos, arenas, limos y arcillas.

En los aluviales de los ríos y arroyos de menor entidad, predominan los materiales arcillosos con cierta cantidad de arenas y escasos cantos de tamaño medio a fino.

Cartográficamente es difícil de separar los depósitos aluviales, llanura de inundación y primera terraza, por lo que aparecen incluidos en una misma formación. Su potencia suele ser muy variable, pero no suele rebasar los 10 metros.

5.2.4. TECTONICA

El área de sedimentación terciaria, de la cuenca del Duero, quedón definida, en sus límites generales, a final del Cretácico. Los primeros depósitos terciarios, de edad Eocena y Oligocena, reposan en discordancia angular y erosiva sobre los sedimentos preterciarios y presentan buzamientos muy acusados, detectables únicamente en los bordes de la cuenca.

Sobre estos depósitos y discordantemente se encuentran los depósitos Miocenos, Pliocenos y Cuaternarios, que configuran la casi totalidad de la cuenca terciaria del Duero. Su disposición es horizontal. Las fases Sálica y Estaírica, pertenecientes a la orogania Alpina (dirección NE-SO), de edad post-oligocena y antemiocena, son las que producen una fuerte elevación de los bordes de la cuenca, y la consiguiente etapa erosiva y sedimentaria, llegándose a colmar con esta, la cuenca del Duero. El drenaje general de la cuenca en esta época era hacia el mar Mediterráneo.

La fase Rodánica , de edad postmiocena, desarrolla un - nuevo ciclo erosivo de intensidad menor que las anteriores, pero que llega a crear una superficie de erosión. Sobre esta superficie actuaría la actual red fluvial, configurando su distribución, al mismo tiempo que, debido a un abombamiento y - basculamiento general de la cuenca terciaria hacia el oeste, cambia la dirección de la red fluvial, drenando hacia el mar Atlántico.

5.3. ANALISIS ISOTOPICOS

5.3.1. INTRODUCCION

Conjuntamente con el muestreo hidroquímico se ha procedido a la recogida de muestras para realizar un estudio isotópico de los componentes naturales de la molécula de agua, tanto en lo que respecta a los isótopos estables (deuterio y oxígeno-18) como al susceptible de desintegración (tritio).

Para estos fines se han recogido 15 muestras en toda la Cuenca Occidental del Duero, de las cuales 12 (DOC-11, 12, 13, 19, 22, 27, 28, 29, 34, 36, 49 y 50), pertenecen a la zona S de León que es la que presenta un mayor interés desde el punto de vista geotérmico.

Las determinaciones de estos tres isótopos han sido efectuadas por el Departamento de Radioisótopos del Gabinete de Aplicaciones Nucleares de las Obras Públicas del MOPU.

5.3.2. TRITIO

El tritio (H^3) es el isótopo más pesado del hidrógeno y se caracteriza por poseer un período de semidesintegración de 12,26 años, por lo que resulta idóneo para el trazado natural de las aguas de lluvia, y su datación.

El tritio se forma naturalmente en las altas capas de la atmósfera, y a un ritmo de producción constante en los últimos cientos de años, aunque con pequeñas oscilaciones, en función de la actividad solar. A través de mecanismos más o menos complicados el tritio generado es transportado de la estratosfera a la troposfera, donde se incorpora a la humedad atmosférica y llega al suelo en forma de precipitación.

La concentración natural media de tritio para nuestra latitud, antes de la primera explosión termónuclear de 1952 - que comenzó a generar tritio artificial era de 15 U.T. (OLIVE, 1970). Partiendo de esta base, en 1980, la concentración residual de estas aguas es de:

$$C_t = C_0 \exp \left(\frac{-0,693}{T} t \right)$$

$$C_{1980} = 15 \exp \left(\frac{-0,693 \times 28}{12,26} \right) = 3,08 \text{ U.T.}$$

Por lo tanto aguas con un contenido menor de 3,08 U.T. serán anteriores a 1952.

Como ya se ha dicho anteriormente se han recogido 12 - muestras para la determinación del contenido en tritio, con el fin de conocer si las aguas muestreadas son antiguas, y no han sufrido mezcla con aguas recientes de circulación somera.

Los resultados de los análisis son:

<u>DENOMINACION</u>	<u>U.T.</u>
DOC-11	3,2 ± 2,9
DOC-12	16,5 ± 3,1
DOC-13	3,7 ± 2,9
DOC-19	2,6 ± 1,9
DOC-22	3,2 ± 1,5

<u>DENOMINACION</u>	<u>U.T.</u>
DOC-27	1,4 ± 1,5
DOC-28	2,8 ± 2,9
DOC-29	1,0 ± 1,5
DOC-34	1,2 ± 1,5
DOC-36	1,5 ± 1,5
DOC-49	1,5 ± 1,6
DOC-50	2,9 ± 2,8

La mayoría de las muestras analizadas tienen contenidos de tritio muy bajos, menores de 3,08 U.T., lo que significa - que son aguas anteriores a 1952.

Tres muestras (DOC-11, 13 y 22), presentan contenidos - menores de 4 U.T., lo que significa que tienen una antigüedad de unos 25 años, o son mezcla de aguas más antiguas, con otras recientes. Esta segunda hipótesis parece la más correcta, y posiblemente se deba a que los sondeos de donde proceden, exploten acuíferos superficiales conjuntamente con los profundos, o el sondeo esté mal terminado y se pongan en comunicación - acuíferos muy superficiales, con profundos.

Por último hay una muestra, DOC-12, que tiene un contenido en tritio de 16,5 U.T., que puede interpretarse de la - misma manera que los anteriores tres casos, pero con una proporción mucho mayor de aguas recientes.

Concluyendo, se puede afirmar que en la mayoría de los casos, las aguas son antiguas y no presentan mezclas con otras más modernas, salvo en los cuatro casos comentados. A título de ejemplo, considerando que las aguas actuales deben de tener un contenido de 40 U.T. y las antiguas 1,5 U.T., la proporción de aguas modernas, en el caso de la muestra DOC-12, sería:

$$16,5 = 40 x + 1,5 (1-x) \quad x = 0,39$$

Por tanto en esta muestra habría 39% de aguas actuales, y 61% de aguas prenucleares.

5.3.3. ISOTOPOS ESTABLES

En el agua existen diferentes especies moleculares (PLATA, 1972). La molécula más abundante es $H_2^{16}O$, junto a ésta - existen otras en las que intervienen los restantes isótopos - de ambos elementos, principalmente, moléculas de tipo $DH^{16}O$ y $H_2^{18}O$. Las moléculas que contienen D y ^{18}O son algo más pesadas que las de $H_2^{16}O$ y, debido a ello, su desplazamiento a través del ciclo hidrológico es ligeramente distinto, produciéndose el fraccionamiento de los tres tipos de moléculas. - Las concentraciones de D y ^{18}O en una muestra de agua dependen de su historia anterior desde que salió del océano. Estas circunstancias convierten al D y ^{18}O en excelentes trazadores naturales.

Las concentraciones de D y ^{18}O en el agua se suelen expresar como desviación (δ) de la relación isotópica en tanto por mil con respecto a un agua-patrón, basada en una serie de muestras tomadas en distintos ríos.

Las nubes formadas sobre el océano tienen siempre un valor negativo. Como las moléculas pesadas se condensan, el valor de esta nube se hace más negativo a medida que va viajando a través de los continentes. Por tanto, las concentraciones de D y ^{18}O en las precipitaciones depende de la historia anterior de la nube, relacionada, a su vez, con la distancia al océano y de una serie de factores que influyen en la temperatura a que se produce la condensación, altitud, latitud, climatología local y estación del año, como más importantes.

Todos los factores reseñados anteriormente hacen que - las aguas subterráneas de diferentes zonas, de diferentes origenes o de diferentes mecanismos de recarga, tengan composiciones isotópicas diferentes.

Cuando el agua se somete a procesos de evaporación y - condensación en condiciones de equilibrio el fraccionamiento para los dos isótopos estables D y ^{18}O tiene lugar de una - forma paralela. DANSGAARD ha llevado a cabo un estudio muy -

completo sobre la variación de la composición isotópica de las precipitaciones colectadas en numerosas estaciones de la red mundial OIEA-OMN. Para el hemisferio Norte las desviaciones relativas de D y ^{18}O , determinan una línea cuya ecuación es:

$$\delta D = (8,1 \pm 0,1) \delta^{18}\text{O} + (11 \quad 1)$$

Con el aumento de la temperatura el contenido en ^{18}O aumenta, por intercambio isotópico con los materiales sólidos del acuífero y por vaporización. En cambio el contenido en deuterio apenas es alterado.

Si la relación D/ ^{18}O de una muestra se aparta de la relación dada por DANSGAARD para las aguas meteóricas, puede ser que haya un fraccionamiento isotópico por existencia de fase vapor o bien por intercambio de oxígeno con las rocas que sean susceptibles de constituir los potenciales almacenes geotérmicos.

Con este fin se ha realizado el muestreo y análisis de D y ^{18}O . Los resultados obtenidos son los siguientes:

<u>DENOMINACION</u>	<u>OXIGENO-18</u>	<u>DEUTERIO</u>
DOC-11	-11,3	-75,5
DOC-12	-10,4	-65,6
DOC-13	-11,6	-76,4
DOC-19	-10,8	-80,6
DOC-22	-10,6	-77,0
DOC-27	-11,1	-79,3
DOC-28	-11,6	-72,4
DOC-29	-11,8	-79,0
DOC-34	-11,4	-87,9
DOC-36	-11,6	-80,4
DOC-49	-11,5	-70,5
DOC-50	-11,3	-88,0

Si comparamos estos resultados, con la relación de aguas meteóricas establecida por DANSGAARD (veáse gráfico adjunto) - se observa que todos los puntos se ajustan a una recta definida por la ecuación $\delta D = 7\delta^{18}\text{O} + 2,3$, que es muy semejante a la recta de aguas meteóricas. Se deduce por tanto que son aguas de

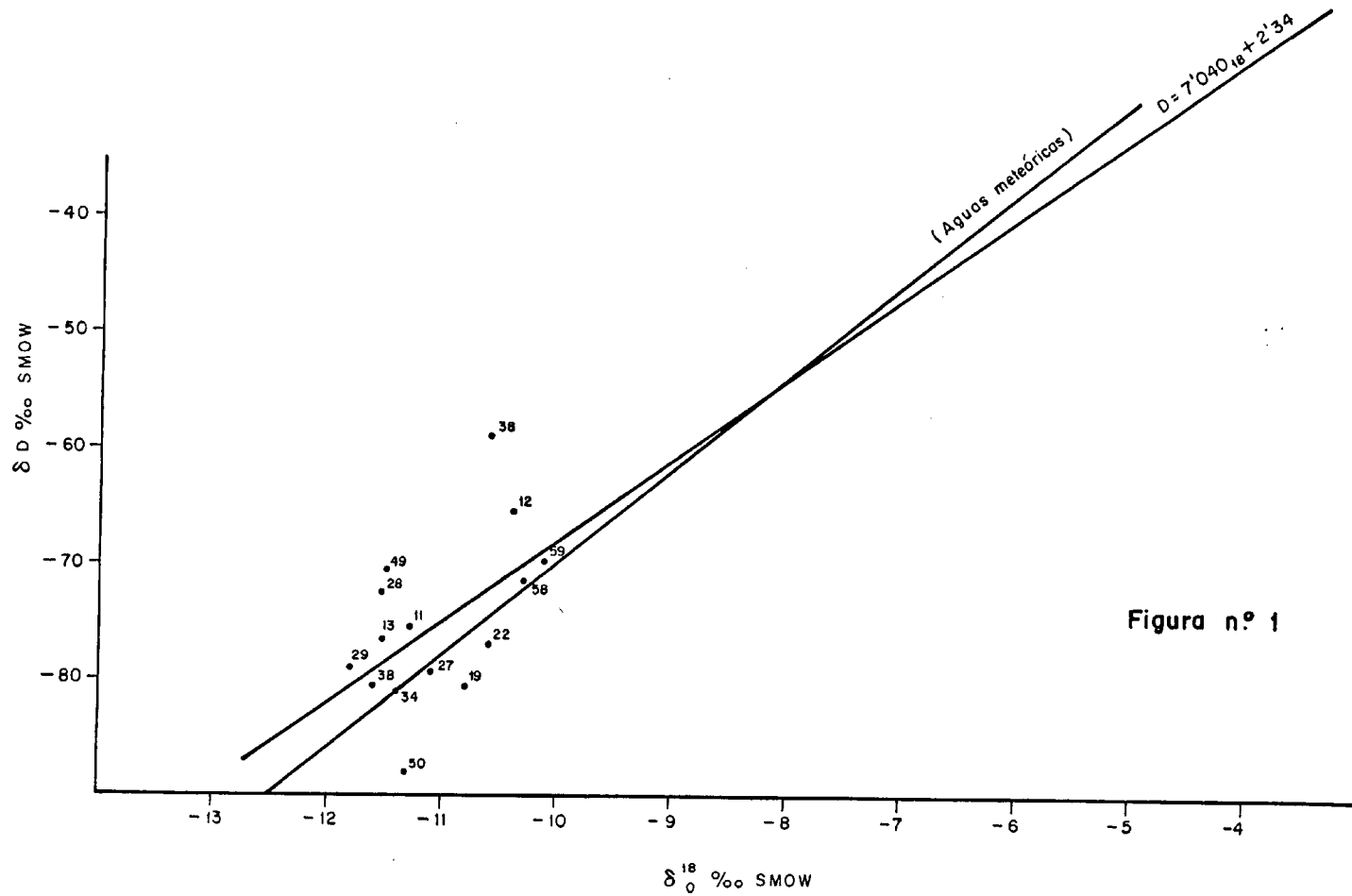


Figura nº 1

lluvia, y que no han sufrido enriquecimiento de O^{18} , bien por vaporización o por intercambio isotópico con la roca almacén.

Ahora bien, los valores de δO_{18} son muy negativos si los comparamos con otros conocidos en distintas zonas de la Meseta. En efecto, los valores lógicos de la zona de estudio deberían de ser del orden de $-8,5$ a $-9,5$. La única explicación es que estas aguas se infiltraron en épocas antiguas, con temperaturas más bajas que las actuales. Se admite de modo general, que existe una relación lineal entre el valor de δO^{18} de la precipitación media anual y la temperatura media anual del aire:

$$\delta O^{18} = 0,695 T - 13,6$$

Para valores de δO^{18} del orden de $-8,5$ la temperatura sería de unos $7^\circ C$. (Al aplicar esta ecuación hay que tener en cuenta, que en la zona considerada solamente se infiltran las aguas del periodo otoño-invierno, ya que el resto del año la evapotranspiración es superior a la precipitación). Esta temperatura, $7^\circ C$, corresponde al periodo otoño-invierno de la zona. Para valores de δO^{18} de $-11,6$, la temperatura sería de unos $3^\circ C$, es decir unos $4^\circ C$ menos que la temperatura media anual actual. Por tanto se puede asegurar que las aguas muestreadas se infiltraron en periodos climáticos más fríos que los actuales. Durante el último periodo pluvio-glacial del Wurm, la temperatura fué unos 6° a $8^\circ C$ más baja que la actual, por tanto las aguas muestreadas podrían corresponder a esta época, unos 12.000 de antigüedad, lo que no sería de extrañar, pues dataciones realizadas mediante C_{14} de aguas subterráneas en esta cuenca dan dataciones similares.

5.4. HIDROQUIMICA

5.4.1. INTRODUCCION

Al objeto de conocer la calidad de las aguas subterráneas calientes de la zona de estudio, se procedió a la recogida y análisis de muestras de agua pertenecientes a los puntos acuíferos inventariados.

Los análisis han sido realizados por el CENTRO DE ANALISIS DE AGUA DE MURCIA, y los de sílice por ENADIMSA, de Madrid.

En el anexo que acompaña a la memoria se incluyen los datos de estos análisis químicos.

5.4.2. RESULTADOS

La zona de estudio presenta características hidroquímicas semejantes cualitativa y cuantitativamente.

En el diagrama triangular de Piper (véase gráfico adjunto), se aprecia una gran homogeneidad aniónica y catiónica, - excepto, en las muestras DOC-34 y 35.

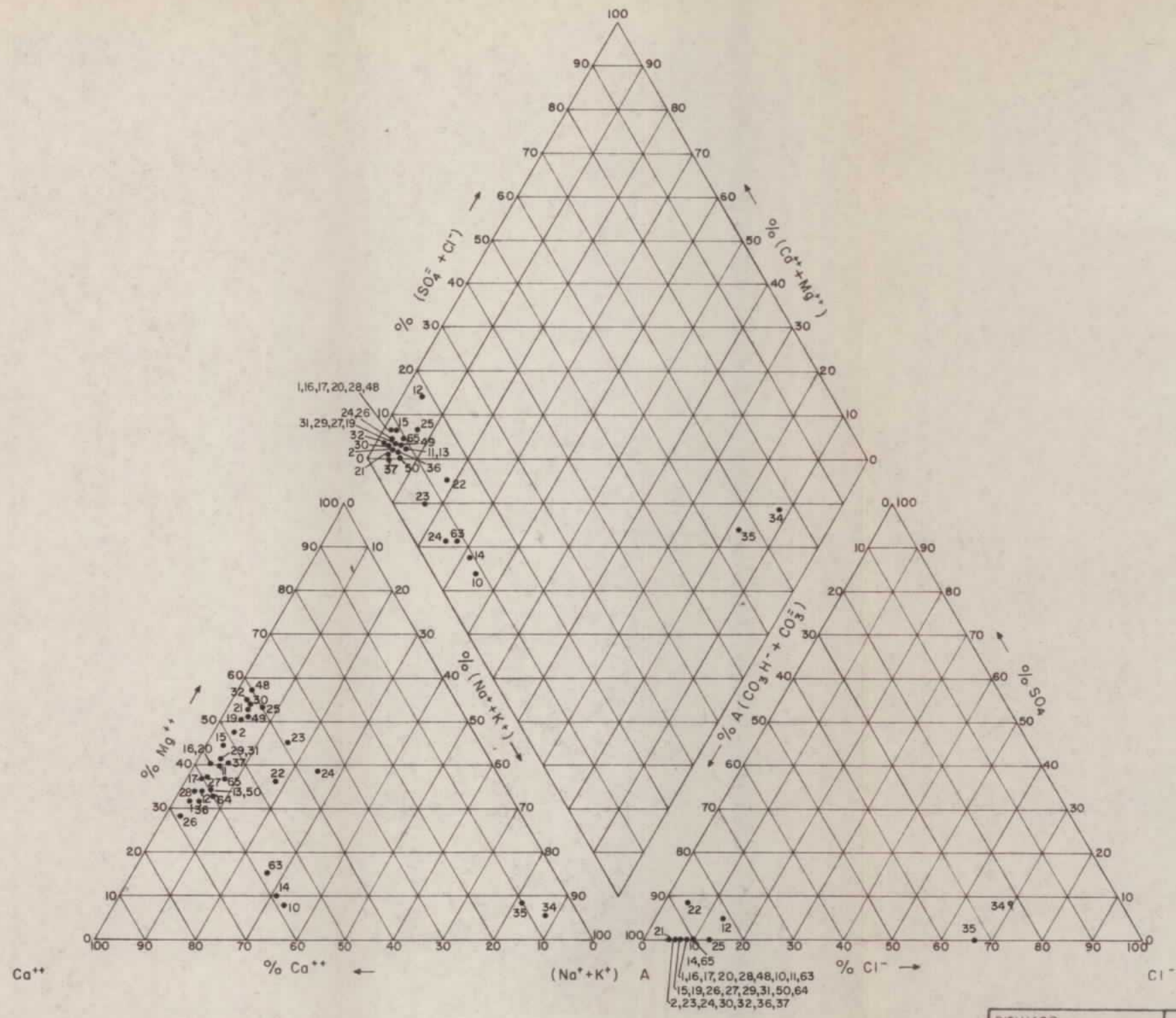
Son aguas bicarbonatadas cálcicas o magnésicas excepto las dos comentadas, que son cloruradas sódicas.


Las aguas bicarbonatadas cálcicas corresponden a las - muestras: DOC-1 , 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20, 27, 28, 29, 31, 36, 37, 50, 64, 65, 10, 14 y 63. Estas tres últimas tienen un mayor contenido en $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ que las restantes.

Las muestras que pertenecen a las bicarbonatadas magné- sicas son: DOC-2, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 30, 32 y 48.

Las bicarbonatadas cálcicas geográficamente correspon-- den en su gran mayoría a la cuenca del río Esla, mientras que las bicarbonatadas magnésicas están presentes en la cuenca - del río Cea, hacia sectores más orientales, y posiblemente - están influenciadas por algunos flujos profundos que hallan - atravesado facies algo evaporíticas. Las cloruradas sódicas - se sitúan al S de la zona de estudio y corresponden a flujos profundos y por tanto con largos recorridos, mientras que las bicarbonatadas parecen ser aguas relativamente "jóvenes".

De todas formas las proporciones cuantitativas son muy similares en todas las muestras de agua.



DIBUJADO J. GOMEZ	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA	
FECHA 12-80		
COMPROBADO J.M. MENA	PROYECTO ESTUDIO GEOTERMICO DE LA CUENCA DEL DUERO SECTOR OCCIDENTAL	CLAVE
AUTOR E. DORADO		
ESCALA	DIAGRAMA DE PIPER DE LAS AGUAS SECTOR: SUR DE LEON	PLANO N°
CONSULTOR IBERGESA		

5.5. TERMOMETRIA HIDROQUIMICA

5.5.1. INTRODUCCION

Mediante la utilización de parámetros hidroquímicos resulta factible el conocer con bastante exactitud, la temperatura a la que se encuentra o se ha encontrado un fluido termal en profundidad.

Según ALBERT BELTRAN (1979), lo que se mide es la temperatura del último equilibrio termodinámico entre el agua y la roca en caso de que éste se halla producido, y este equilibrio suele tener lugar en el tramo distal del acuífero que actúa como almacén geotérmico. En consecuencia, estas técnicas permiten conocer, a efectos prácticos, la temperatura a la que se halla el acuífero en profundidad y del que, el manantial termal en cuestión que se muestrea, no es sino un escape que llega a la superficie.

Todos los métodos de termometrías hidroquímicas estriban en el mismo principio: se trata de aplicar una reacción entre el agua y una o varias fases minerales que sean sólo -

función de la temperatura y cuya termodinámica sea perfectamente conocida hasta la temperatura en la que el agua alcanza su punto crítico. En este caso, la solubilidad o la relación de solubilidades entre las referidas fases minerales reflejadas en el análisis de agua, permitirá determinar las condiciones térmicas en las que se ha producido la reacción de equilibrio.

Para la utilización de cualquier método de termometría hidroquímica, es necesario que se verifiquen una serie de supuestos previos que son según FOURNIER, WHITE y TRUESDELL (1974):

- 1.- Las reacciones entre el agua y la fase mineral que se investiga deben de ser función de la temperatura. Evidentemente todas las reacciones termodinámicas en las que se basan los cálculos geotermométricos verifican esta condición.
- 2.- Todos los elementos reaccionantes han de ser lo suficientemente abundantes, de manera que no exista limitación cuantitativa entre soluto y disolvente. En un acuífero homogéneo y extenso no debe de existir pues, tal limitación.
- 3.- Se ha de alcanzar el equilibrio entre el agua y la fase mineral considerada en la temperatura interna en cuestión y que es lo que se pretende averiguar. De aquí la importancia de la determinación del tiempo de residencia mediante el tritio, pues el tiempo es factor fundamental en la reacción termodinámica de equilibrio.
- 4.- Los cambios de composición química durante el ascenso a la superficie han de ser mínimas. Debe cuidarse de que no exista, por ejemplo, desprendimientos de CO_2 que pueda dar lugar a cambios de pH o precipitaciones; que la litología del circuito de salida sea homogéneo o, cuanto menos, rápida la ascensión del agua.

5.- No ha de existir mezcla del agua termal ascendente con otras meteóricas de infiltración reciente. La dilución o mezcla falsearía el resultado del equilibrio. Vuelve a ponerse de manifiesto, por tanto, la importancia de la determinación del contenido en tritio. Las aguas desprovistas de tritio o con escasa concentración son las más aptas para calcular geotermómetros.

5.5.2. METODOS DE GEOTERMOMETROS HIDROQUIMICOS

Los geotermómetros más usados son los que se basan en el contenido de SiO_2 , en la relación Na/K y Na-K-Ca.

De todos ellos el más utilizado es el de la sílice en sus distintas modalidades como indicador de temperatura. Se basa en que el equilibrio con el cuarzo se alcanza generalmente a alta temperatura del almacén geotérmico. Para sistemas de baja entalpía, algunos autores señalan, que el equilibrio se realiza con la calcedonia. Ahora bien, la concentración de equilibrio se alcanza con la temperatura y esta concentración no suele variar en el ascenso, debido a que la precipitación de sílice es muy lenta durante el enfriamiento del agua.

El método más usado para estimar la temperatura en función del contenido de sílice es el propuesto por FOURNIER y TRUESDELL (1970). Estos autores consideran dos tipos de curvas según que el enfriamiento se realice por conducción o por vaporización. En el primer caso, tanto el aumento del contenido en sílice como la disminución por precipitación se suponen despreciables; de esta manera el contenido en sílice del agua en superficie coincide con el adquirido en profundidad, lo que significa que será función de la temperatura a la que se ha establecido el equilibrio entre el agua y la roca. La curva de vaporización es aplicable a los casos en los que el enfriamiento va acompañado de una vaporización a medida que desciende la presión, de modo que el contenido en sílice iría aumentando de forma progresiva hasta la superficie.

SIEVER (1962) estableció también una curva de solubilidad del cuarzo en función de la temperatura.

Otros métodos se basan en que la relación existente entre los contenidos de sodio y potasio en el agua termal son función de las temperaturas. El equilibrio realizado en el almacén geotérmico, se mantiene durante el ascenso del agua hasta la superficie, ya que la relación Na/K sólo se modifica lentamente al disminuir la temperatura.

Son numerosos los autores que han propuesto distintas gráficas para la variación de la relación Na/K en función de la temperatura; existiendo entre ellas notables diferencias. La gráfica de ELLIS (1970) es la más utilizada, y da un valor promedio de las propuestas por otros autores. Otra gráfica utilizada para esta misma relación es la propuesta por FOURNIER y TRUESDELL (1973).

El método de relación Na/K plantea una serie de problemas, y para soslayarlo FOURNIER y TRUESDELL propusieron un nuevo método empírico en el que se considera el contenido en calcio. Se basa éste en admitir que el calcio interviene junto con el sodio y potasio, en las reacciones de equilibrio que son función de la temperatura. Este método es adecuado para circulaciones de aguas en rocas silicatadas.

Finalmente otro método es el aplicado por ALBERT (1975, 1976) a las aguas termales catalanas, y que es específico para materiales graníticos. El método se basa en calcular los valores de la constante de equilibrio (K), correspondiente a las reacciones de equilibrio albíta-anortita a diferentes temperaturas.

Los resultados de la termometría hidroquímica se indican en el cuadro adjunto.

CUADRO RESUMEN DE LAS TERMOMETRIAS (S. DE LEON)

Nº MUESTRA	SILICE				Na/K		Na-K-Ca $\beta = 1/3$	TEMP. SURG.	
	ADIABATICO	CONDUCCION	SIEVER	SILICE AMOF.	CALCEDONIA	ELLIS			FOUR.Y TRUES.
DOC-1	45g	36g	20g	-68g	1g	895g	1.078g	275g	23g
DOC-2	56g	48g	32g	-58g	14g	1.264g	1.674g	296g	21g
DOC-10	56g	48g	32g	-58g	14g	662g	752g	314g	27g
DOC-11	56g	48g	32g	-58g	14g	579g	645g	234g	26g
DOC-12	58g	51g	34g	-56g	16g	640g	163g	125g	20g
DOC-13	56g	48g	32g	-58g	14g	250g	252g	160g	26g
DOC-14	58g	51g	34g	-56g	16g	90g	80g	112g	25g
DOC-15	51g	43g	26g	-63g	8g	724g	836g	244g	24g
DOC-16	56g	48g	32g	-58g	16g	724g	668g	225g	22g
DOC-17	54g	46g	29g	-61g	11g	724g	836g	243g	25g
DOC-19	54g	46g	29g	-61g	11g	797g	937g	268g	23g
DOC-20	54g	46g	29g	-61g	11g	597g	668g	225g	27g
DOC-21	58g	51g	34g	-56g	16g	668g	761g	254g	27g
DOC-22	61g	53g	37g	-55g	19g	231g	231g	180g	28g
DOC-23	61g	53g	37g	-55g	19g	239g	240g	355g	25g
DOC-24	51g	43g	26g	-63g	8g	172g	167g	158g	21g
DOC-25	58g	51g	34g	-56g	16g	205g	203g	150g	22g
DOC-26	58g	51g	34g	-56g	16g	852g	1.015g	256g	24g
DOC-27	61g	53g	37g	-55g	19g	982g	1.209g	273g	30g
DOC-28	63g	56g	39g	-53g	21g	872g	1.045g	244g	28g
DOC-29	56g	48g	32g	-58g	14g	1.119g	1.427g	285g	25g
DOC-30	54g	46g	29g	-61g	11g	1.105g	1.404g	286g	28g
DOC-31	58g	51g	34g	-56g	16g	1.105g	1.404g	284g	30g
DOC-32	56g	48g	32g	-58g	21g	806g	949g	262g	22g
DOC-34	67g	60g	44g	-49g	25g	75g	64g	153g	30g
DOC-35	45g	36g	19g	-68g	1g	102g	93g	160g	22g
DOC-36	63g	56g	39g	-53g	21g	832g	987g	271g	27g
DOC-37	56g	48g	32g	-59g	14g	3.682g	12.891g	341g	22g
DOC-48	48g	40g	22g	-65g	5g	465g	503g	203g	18g
DOC-49	54g	46g	29g	-61g	11g	532g	586g	112g	24g
DOC-50	56g	48g	32g	-59g	14g	490g	533g	223g	25g
DOC-63	56g	48g	32g	-59g	14g	519g	569g	224g	24g
DOC-64	48g	40g	22g	-65g	5g	537g	591g	221g	23g
DOC-65	48g	40g	22g	-65g	5g	554g	613g	213g	18g

5.5.3. CONCLUSIONES

Antes de entrar a analizar los resultados obtenidos, - tras la aplicación de los distintos geotermómetros, conviene reseñar que las muestras de agua corresponden a una mezcla de distintos niveles acuíferos, situados a diferentes profundidades, por lo que los datos calculados no son representativos - de los acuíferos más profundos, que son los que lógicamente - deben presentar las temperaturas más altas. Una vez hecha esta salvedad, se comentan los resultados obtenidos.

Las temperaturas de surgencia oscilan entre los 18° y - 30° C, aunque la mayoría superan los 24° C. Los valores más altos corresponden a las siguientes muestras DOC-27, 31 y 34 con 30° C, y DOC-22, 28 y 30 con 28° C.

Los geotermómetros basados en el Na y K, en cualquiera de sus dos modalidades no son correctos, pues dan temperaturas de "base" muy altas. Las únicas muestras en las que parece que son válidas son la DOC-14, 34 y 35, estas dos últimas corresponden a flujos con largos recorridos, y por tanto están casi equilibradas geoquímicamente.

El geotermómetro Na-K-Ca no es válido en ninguna de las muestras. Las temperaturas deducidas son muy elevadas, aunque no tanto como en los basados en el Na y K.

El método basado en la sílice amorfa tampoco es válido, pues las temperaturas calculadas son inferiores en todos los casos a las de surgencia. Lo mismo se puede decir del geotermómetro basado en la sílice amorfa, que da temperaturas negativas.

El método de Siever es válido, excepto para las muestras DOC-1, 35 y 64 cuyas temperaturas de surgencia son mayores - que las calculadas por aquella. Por lo general las temperaturas "base" calculadas por este método son de unos 5 a 10° C - mayores que las de surgencia, y oscilan entre los 32 y 37° C en la mayoría de los casos.

Los métodos basados en el enfriamiento bien por conducción o vaporización, también dan resultados buenos, aunque el primero de ellos parece que es más aceptable. Las temperatu-

ras calculadas por estos dos métodos difieren en unos 8-9° C para cada muestra, siendo las más altas las que resultan de aplicar el enfriamiento por vaporización.

Concluyendo se puede decir que los dos métodos más aceptables son los basados en el método de Siever y el de enfriamiento por conducción. Las temperaturas "base" podrían estar comprendidas entre estos dos valores.

6. RESTANTES ZONAS

6.1. INTRODUCCION

Se estudia en este apartado el resto de las zonas inves
tigadas, y que "a priori" no tienen la importancia de la zona
estudiada en el capítulo anterior.

Para su descripción consideraremos el resto del área in
vestigada dividida en varias zonas:

- Zona de los alrededores de León.
- Zon N de Zamora.
- Borde de la Cordillera Cantábrica.
- Borde Occidental.

6.2. ALREDEDORES DE LEON

6.2.1. INTRODUCCION

Se sitúa la zona al N de la provincia de León y se extiende por las siguientes hojas a escala 1:50.000 del M.T.N.; 129 (La Robla), 130 (Vegas del Condado), 131 (Cistierna), 160 (Benavides), 161 (León), 162 (Gradefes) y 163 (Almanza).

La geología puede observarse en el plano nº 1, y corresponde en su totalidad al Terciario de la Cuenca del Duero, y que en amplias zonas está cubierto por las superficies de -rañas.

En esta zona se han inventariado los siguientes puntos acuíferos DOC 3, 5, 6, 7, 8, 9, 33, 46, 47, 60 y 62, en los cuales se han recogido muestras de agua para su análisis químico.

En esta zona no se han recogido muestras para análisis isotópicos.

6.2.2. HIDROQUIMICA

Esta zona desde el punto de vista hidroquímico presenta características muy homogéneas.

Los valores de los análisis se han representado en el diagrama triangular de Piper (véase gráfico adjunto), en él se pueden observar la existencia de dos familias de aguas: bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas magnésicas.

A la familia de las bicarbonatadas cálcicas corresponden las siguientes muestras: DOC-3, 5, 6, 8, 9, 46, 47 y 62. Todas estas muestras son muy homogéneas en su composición tanto cuantitativamente como cualitativamente. La conductividad oscila por regla general entre 200 y 280 μ mhos/m.

La familia de las bicarbonatadas magnésicas está representada por las muestras siguientes: DOC-7, 33 y 60. Las dos últimas corresponden al borde occidental, en el valle del río Eria.

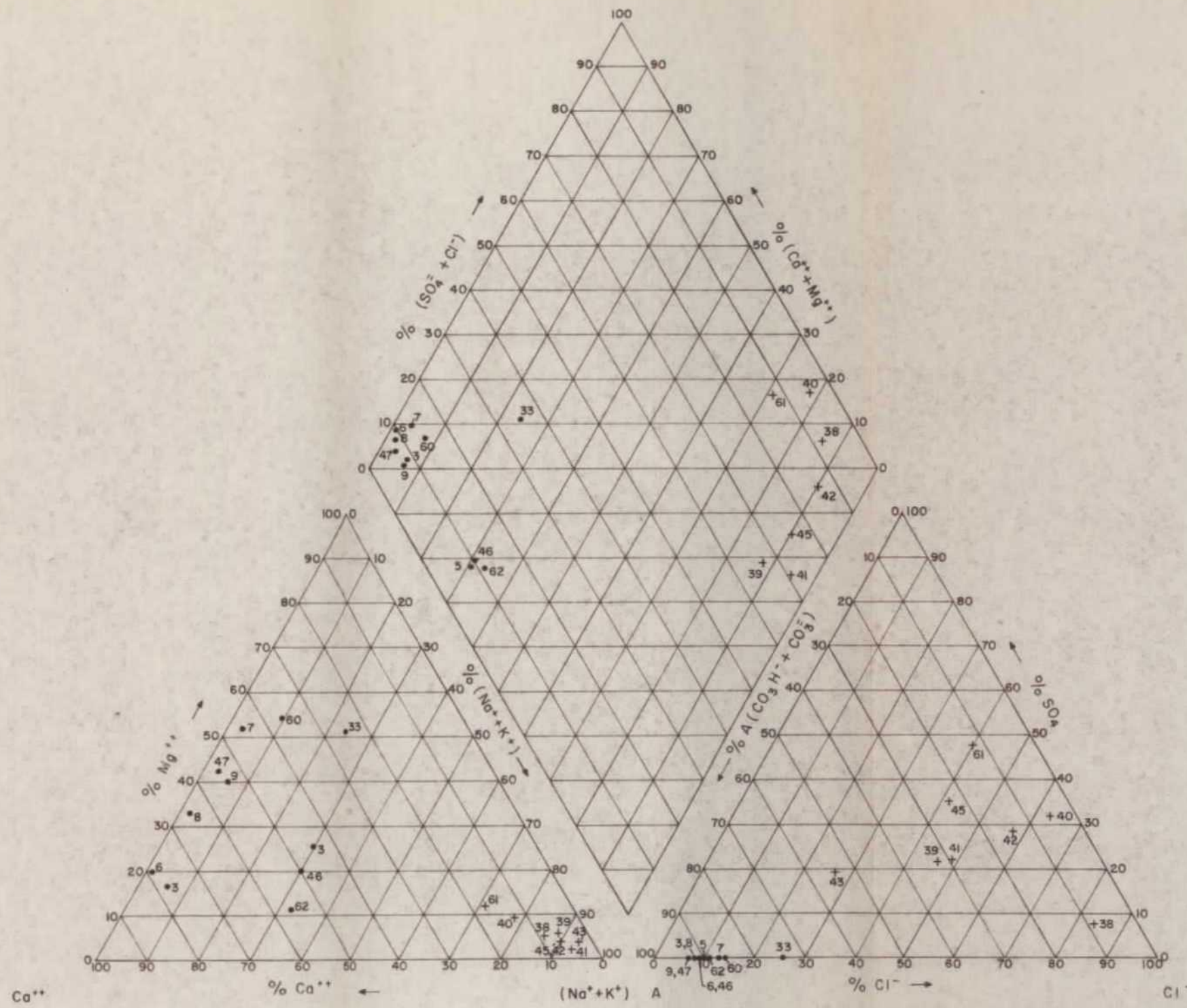
6.2.3. TERMOMETRIAS

Las temperaturas de surgencia de esta zona son mucho más bajas que al S de León. Oscilan entre 15° y 23° C, aunque por regla general no sobrepasan los 20° C.


Se han utilizado para el cálculo de las temperaturas "base" los mismos geotermómetros que en la zona S de León. Los resultados pueden verse en el cuadro-resumen adjunto.

Los geotermómetros basados en los contenidos en sodio, potasio y calcio, no son adecuados para estas aguas, debido a que no están equilibradas geoquímicamente. Sólomente la muestra DOC-46 da resultados satisfactorios.

De los geotermómetros basados en el contenido en sílice, las modalidades en sílice amorfa y calcedonia, no dan resultados satisfactorios y todas las temperaturas son inferiores a las de surgencia, y en el caso de la sílice amorfa son negati



• N. DE LEON
 + ALREDEDORES DE ZAMORA

DIBUJADO J. GOMEZ	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA	
FECHA 12-80		
COMPROBADO J.M. MENA	PROYECTO ESTUDIO GEOTERMICO DE LA CUENCA DEL DUERO SECTOR OCCIDENTAL	CLAVE
AUTOR E. DORADO		
ESCALA	DIAGRAMA DE PIPER DE LAS AGUAS SECTORES N. DE LEON Y ALREDEDORES DE ZAMORA	PLANO N°
CONSULTOR IBERGESA		

CUADRO RESUMEN DE LAS TERMOMETRIAS (OTRAS ZONAS)

Nº MUESTRA			SILICE				Na/K		Na-K-Ca $\beta = \frac{1}{3}$	TEMP. SURG.
	ADIABATICO	CONDUCCION	SIEVER	SILICE AMORF.	CALCEDONIA	ELLIS	FOUR. Y RUES.			
DOC-3	42g	33g	15g	-71g	-2g	-	-	-	18g (*)	
DOC-5	48g	40g	23g	-65g	5g	-	-	-	23g (*)	
DOC-6	48g	40g	23g	-65g	5g	-	-	-	22g (*)	
DOC-7	45g	36g	20g	-68g	1g	554g	613g	226g	17g (*)	
DOC-8	45g	36g	20g	-68g	1g	465g	503g	198g	16g (*)	
DOC-9	48g	40g	23g	-65g	5g	418g	446g	409g	15g (*)	
DOC-33	48g	40g	22g	-65g	5g	-	-	-	17g (*)	
DOC-46	51g	43g	26g	-63g	8g	54g	43g	90g	20g (*)	
DOC-47	48g	40g	22g	-65g	5g	313g	323g	173g	18g (*)	
DOC-60	42g	33g	15g	-71g	-3g	-	-	-	15g (*)	
DOC-62	45g	36g	19g	-68g	1g	-	-	-	21g (*)	
DOC-38	63g	56g	39g	-53g	21g	77g	67g	159g	22g (**)	
DOC-39	54g	46g	29g	-61g	11g	276g	282g	219g	16g (**)	
DOC-40	63g	56g	39g	-53g	21g	155g	149g	209g	22g (**)	
DOC-41	56g	48g	32g	-59g	14g	-3g	-15g	186g	18g (**)	
DOC-42	42g	33g	15g	-71g	-3g	25g	14g	114g	16g (**)	
DOC-43	63g	56g	39g	-53g	21g	-	-	-	22g (**)	
DOC-45	65g	58g	41g	-51g	23g	17g	5g	101g	20g (**)	
DOC-61	84g	80g	65g	-33g	46g	58g	47g	129g	20g (**)	
DOC-53	120g	120g	109g	2g	90g	49g	38g	122g	19g (***)	
DOC-54	115g	114g	102g	-3g	84g	53g	42g	130g	29g (***)	
DOC-55	128g	130g	119g	11g	101g	49g	37g	127g	48g (***)	
DOC-56	121g	122g	110g	3g	92g	39g	27g	115g	48g (***)	
DOC-57	59g	51g	34g	-56g	16g	218g	217g	166g	27g (***)	
DOC-58	65g	58g	41g	-51g	23g	346g	362g	207g	22g (****)	
DOC-59	70g	64g	48g	-46g	29g	430g	460g	210g	29g (****)	

- (*) Alrededores de León
- (**) Alrededores de Zamora
- (***) Borde Zamora-Salamanca
- (****) Borde Norte

vas. El método de Siever es más adecuado que los anteriores , aunque en algunas muestras, caso de las DOC-3 y 62, resultan temperaturas inferiores a las medidas en boca de sondeo.

Quizás los geotermómetros más fiables sean los basados en enfriamiento por conducción o vaporización, especialmente el primero. Las temperaturas oscilan entre los 35° a 50°, aunque parece que los más probables sean entre 35° y 40° C. Hay que tener en cuenta, y ya se ha mencionado en el capítulo anterior (Estudios detallados), que estas muestras corresponden a mezclas de aguas de diferentes acuíferos, situados a distintas profundidades.

6.3. ZONA NORTE DE ZAMORA

6.3.1. INTRODUCCION

Esta zona esta situada al N y E de Zamora y se extiende por el ámbito de las hojas 1/50.000 del MTN n° 309 (Villalpan do), 340 (Manganeses de la Lampreana), 341 (San Pedro de La-- tarce), 369 (Coreses), 370 (Toro), y 397 (Zamora).

Se han inventariado 8 puntos acuíferos, DOC-38, 39, 40, 41, 42, 43, 45 y 61, en los que se han recogido muestras de agua para análisis hidroquímicos y de una de ellas DOC-30, - también se han analizado los isótopos estables del agua deute₂rio y oxígeno-18 y el tritio.

Las temperaturas de surgencia oscilan entre los 15° y - 22° C. El gradiente geotérmico aumenta de NO a SE, alcanzando valores notables en las cercanias de Zamora punto DOC-61, don de el gradiente geotérmico es de 8,7 ° C/100 m (véase mapa de gradientes geotérmicos). Este elevado valor posiblemente se - deba a la cercania del zócalo paleozoico.

6.3.2. HIDROQUIMICA

La zona de Zamora presenta, al igual que las anteriormente estudiadas, una gran homogeneidad desde el punto de vista hidroquímico.

Los resultados de los análisis se han representado en un diagrama triangular de Piper. En él se puede observar que las muestras, excepto la DOC-43, pertenecen a la familia de las cloruradas sódicas, a diferencia de las anteriores zonas que eran bicarbonatadas cálcicas o magnésicas. Este hecho se debe a que en esta parte de la Cuenca del Duero, confluyen los flujos subterráneos procedentes de gran parte de la cuenca y con un gran recorrido por terreno.

Los cloruros son los iones más abundantes, seguidos de los sulfatos. En cuanto a los cationes el más importante es el sodio. Estas aguas están muy cargadas en sales, los sólidos disueltos superan el gr/l.

6.3.3. ANALISIS ISOTOPICOS

Para realizar las determinaciones de los isótopos estables del agua, deuterio y oxígeno-18, así como el susceptible de desintegración, tritio, se ha recogido una muestra de agua en el punto acuífero DOC-38.

El contenido de tritio es de $1,9 \pm 2,8$ U.T. Esta concentración indica que las aguas son antiguas, anteriores a las primeras explosiones termonucleares realizadas en el año 1952 (véase apartado 5.3.2.).

Las determinaciones de O^{18} y D dan los siguientes valores:

$$\begin{aligned} O^{18} &= -10,6 \text{ ‰ del SMOW.} \\ D &= -59,0 \text{ ‰ del SMOW.} \end{aligned}$$

Estos valores se han representado en una gráfica con el resto de las muestras analizadas (véase apartado 5.3.3.), y -

se ajustan a una recta definida por $D = 7'0 \text{ }^{18}\text{O} + 2'3$, que es muy semejante a la de las aguas meteóricas.

Por lo tanto esta muestra procede de aguas de lluvia - que se infiltraron en el acuífero terciario, y que no han sufrido enriquecimiento de O^{18} , por vaporización, ni por intercambio con los materiales por donde han circulado, indicándonos por tanto que no han estado sometidas a altas temperaturas.

Ahora bien los valores de O^{18} y D, son excesivamente negativos, y la única interpretación lógica es que son aguas - que se infiltraron en épocas en las que la temperaturas medias eran más bajas que las actuales, lo que sucedió por ejemplo en el último periodo interglaciar, hace unos 12.000 años, lo que concuerda con dataciones realizadas mediante C^{14} , en aguas de este acuífero en la zona de Olmedo.

6.3.4. TERMOMETRIAS

Con los resultados de los análisis químicos, se han calculado las temperaturas "base" utilizando diversos geotermómetros. Las temperaturas calculadas se pueden consultar en el cuadro-resumen adjunto.

Las temperaturas de surgencia no son altas, oscilan entre los 15° y 22° C, siendo las más numerosas las comprendidas entre los 20° y 22° C.

Los geotermómetros basados en los contenidos en sodio y potasio, no dan buenos resultados en algunas muestras, concretamente en las DOC-39, 40, 41 y 45, y en la DOC-43 no se ha podido utilizar debido al bajo contenido en potasio.

Por el contrario en las muestras DOC-38, 42 y 61, las temperaturas calculadas parecen correctas, y sus valores se pueden consultar en el citado cuadro-resumen.

El método basado en el Na-K-Ca, no es aplicable para estas aguas, las temperaturas calculadas son excesivamente altas.

El método de la sílice amorfa tampoco es válido para ninguna de las muestras, pues las temperaturas "base" son en todos los casos negativas.

El método de la calcedonia sólo es útil para dos de las muestras calculadas, DOC-45 y DOC-61 con temperaturas de 23 y 46° respectivamente. En el resto las temperaturas "base" son menores que las de surgencia.

El método propuesto por Siever, dá buenos resultados, - excepto en la muestra DOC-42. Las temperaturas "base" calculadas oscilan generalmente entre los 30° y 40° C. Creemos que este es el método de más correcta aplicación.

Los métodos basados en el enfriamiento por vaporización o conducción, aunque dan temperaturas que parecen aceptables, entre los 54° y 65° C el primero, y 46° y 56° el segundo, pensamos que son algo altas.

Hay una muestra, la DOC-61, que es anómala con respecto a las demás estudiadas. La temperatura media "base" es de 60° C, y además es el punto acuífero que tiene el mayor grado geotérmico, 8,7° C/100 m. Quizás convendría en los alrededores de este punto continuar las investigaciones.

6.4. BORDE DE LA CORDILLERA CANTABRICA

6.4.1. INTRODUCCION

Ocupa una parte de la hoja n° 104 (Boñar) del MTN a escala 1/50.000. Se trata de dos manifestaciones termales, DOC-58 y 59, que surgen a través de sendas fracturas que ponen en contacto unas areniscas del Devónico con la facies Utrillas - la primera, y las calizas de montaña con la facies Utrillas - la segunda. La manifestación termal DOC-58, Ermita de las Caldas, tiene una temperatura de surgencia de 22° C y la DOC-59, Caldas de S. Adrián, de 29° C. Los caudales son de 10 l/seg - en las Caldas de S. Adrián y de 0,3 l/seg en la Ermita de las Caldas.

La geología puede verse en el plano n° 1.

6.4.2. HIDROQUIMICA

De estas dos manifestaciones termales se han realizado sendos análisis químicos, que han sido representados en el diagrama triangular de Piper (véase gráfico adjunto).

La muestra DOC-58 es un agua bicarbonatada magnésica y la DOC-59, bicarbonatada cálcica. La primera, no tiene apenas sales disueltas solamente 64 mgr/l, mientras que la segunda es más rica en contenido en sólidos disueltos, casi 0,5 gr/l.

6.4.3. ANALISIS ISOTOPICOS

Se han determinado los contenidos de isótopos estables del agua, oxígeno-18 y deuterio, y el susceptible de desintegrarse, tritio, en muestras de agua procedentes, de estas dos manifestaciones.

Los análisis de tritio dan los siguientes valores:

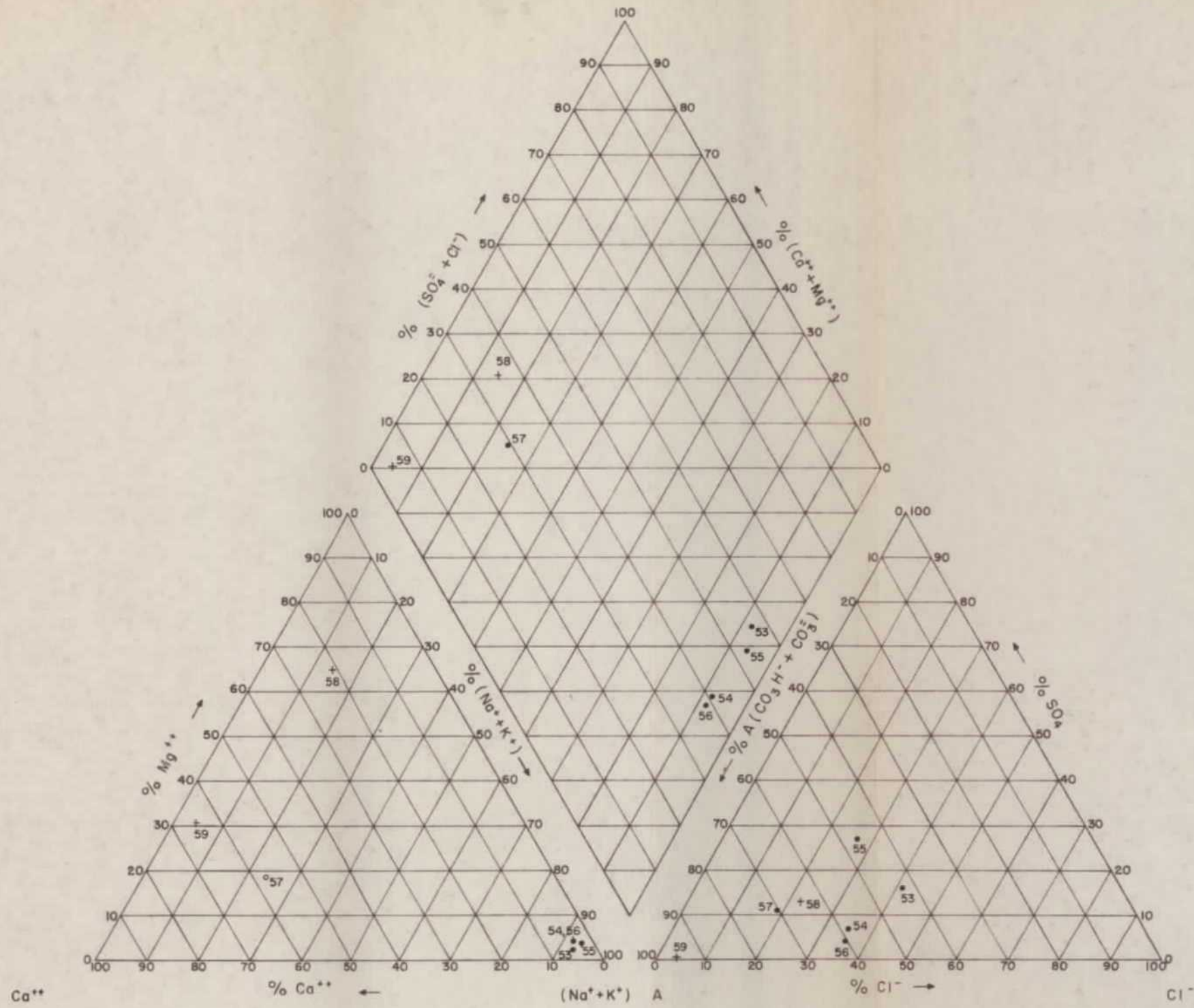
DOC-58	16,6 ± 1,9 U.T.
DOC-59	9,2 ± 3,0 U.T.

Estos valores pueden interpretarse de dos formas. La primera es que son aguas modernas menos de 20 años, y la segunda, que sean aguas antiguas mezcladas con otras recientes, en su salida a la superficie. Esta segunda interpretación parece la más correcta y lógica.


Los análisis de los isótopos estables dan los siguientes valores:

	$O^{18} \text{ ‰ SMOW}$	$D \text{ ‰ SMOW}$
DOC-58	-10,3	-71,3
DOC-59	-10,1	-70,2

Si se comparan estos valores con la recta de las aguas meteóricas (véase apartado 5.3.3.), se ve que ajustan a una recta definida por la ecuación $D=7'0 \text{ }^{18}O + 2'3$ que es muy se-



• BORDE OCCIDENTAL
 + CORDILLERA CANTABRICA

DIBUJADO J. GOMEZ	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA		
FECHA 12-80	INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA		
COMPROBADO J.M. MENA	PROYECTO	ESTUDIO GEOTERMICO DE LA CUENCA DEL DUERO	
AUTOR E. DORADO	ESCALA	SECTOR OCCIDENTAL	
CONSULTOR IBERGESA	DIAGRAMA DE PIPER DE LAS AGUAS		PLANO N°
	BORDES PRETERCIARIOS		

mejante a la de las aguas meteóricas. Por tanto estas aguas - proceden de la infiltración de aguas de lluvia, y no han sufrido un enriquecimiento de O^{18} bien por vaporización, o por intercambio con la roca almacén.

6.4.4. TERMOMETRIAS

Con los resultados de los análisis químicos se ha procedido al cálculo de las temperaturas "base". Hay que tener en cuenta que estas temperaturas no deben de ser las reales, pues según se ha podido comprobar con los análisis de tritio parece ser que hay mezcla con aguas recientes. Las temperaturas "base" resultantes pueden verse en el cuadro-resumen adjunto.

Los geotermómetros basados en el sodio y potasio, sodio-potasio-calcio y los de sílice amorfa y calcedonia, no dan resultados fiables.

Los más adecuados son los basados en el enfriamiento - adiabático y conducción, y el propuesto por Siever. Las temperaturas oscilan entre 40° y 65° C en el caso de la muestra - DOC-58 y 48° y 70° C en la DOC-59. Estas temperaturas, como ya hemos mencionado deben de ser más altas. Si por ejemplo en el caso de la muestra DOC-58, donde sabemos que el contenido de tritio es de 16,6 U.T., consideramos que el agua termal, - que lógicamente debe de ser muy antigua, debería tener un valor de 2 U.T., y las aguas actuales tienen del orden de 35 a 40 U.T., podremos saber que porcentaje hay de cada tipo de - agua.

$$16,6 = 40x + 2(1-x) \quad . \quad x = 0,38$$

Por tanto hay un 38% de aguas modernas y un 62% de aguas pre-nucleares. Si la temperatura "base" media es de 55° C, y la del acuífero no termal es de unos 7° C (las aguas sólo se infiltran en el periodo otoño-invierno), la temperatura termal será:

$$55^{\circ} = 7^{\circ}x 0,38 + T^{\circ}x 0,62 \quad T = 84^{\circ} C$$

Luego la temperatura termal de la muestra DOC-58 será - de unos 84° C.

Procediendo de la misma manera la temperatura "base" de la muestra DOC-59 será de unos 74° C.

Esta pequeña zona, reúne una serie de condiciones aceptables desde el punto de vista geotérmico, que hacen que sea interesante el continuar los trabajos de investigación en el futuro.

6.5. BORDE OCCIDENTAL

6.5.1. INTRODUCCION

En este apartado se estudian una serie de manifestaciones termales, situadas en la parte occidental de la Cuenca - del Duero, y que surgen a través de fracturas en el granito, caso de las manifestaciones DOC-53, 54, 55 y 56, o en el contacto de las cuarcitas ordovícicas con el terciario del pasillo de Ciudad Rodrigo DOC-57.

Las temperaturas son altas en el caso de las manifestaciones DOC-55 y 56, balnearios de Ledesma y Retortillo, con 48° C cada uno de ellas, aunque la primera alcanza los 52° C en la época de baños. Las otras tienen temperaturas más bajas y son las siguientes: DOC-53 (Hervideros de San Vicente) 9° C, DOC-54 (Baños de Calzadilla) 29° C y DOC-57 (San Miguel de Caldillas) 27° C.

Los caudales oscilan entre 1 y 2 l/seg, salvo en el caso de la manifestación DOC-57 que es muy alto, 35 l/seg.

6.5.2. HIDROQUIMICA

De estas cinco manifestaciones termales se han tomado - muestras de aguas para su análisis. Los resultados de estos - análisis se han representado en un diagrama triangular de Pi- per (véase gráfico adjunto).

Se puede observar la existencia de dos familias de - aguas. La primera, y a la que corresponden cuatro de las mani- festaciones estudiadas, es la bicarbonatada sódica. La segun- da corresponde a la muestra DOC-57 es bicarbonatada cálcica.

Las aguas correspondientes a la familia bicarbonatada - sódica son muy homogéneas tanto cualitativa como cuantitativa- mente. Son aguas relativamente cargadas en sales, entre 0,6 a 0,9 gr/l de sólidos disueltos.

La muestra DOC-57 prácticamente no tiene sólidos disuel- tos, 87 mg/l.

6.5.3. TERMOMETRIAS

Con los valores de los análisis químicos, se ha calcula- do las temperaturas "base" de estas manifestaciones. Los re- sultados se pueden consultar en el cuadro-resumen adjunto.

En el caso de las muestras DOC-53, 54, 55 y 56 todos - los geotermómetros a excepción de los basados en el sodio-pot- asio en cualquiera de sus dos modalidades, y la sílice amor- fa dan resultados muy coherentes. Las temperaturas son altas, y las medias calculadas utilizando los geotermómetros basados en el enfriamiento adiabático y por conducción, Siever, calce- donia y sodio-potasio-calcio son:

	<u>Temp. "base" media</u>
DOC-53	112° C
DOC-54	109° C
DOC-55	121° C
DOC-56	112° C

Para la muestra .DOC-57, sólo dan resultado los geotermómetros basados en el enfriamiento por conducción o vaporización y el propuesto por Siever. Aunque no se ha realizado análisis de tritio, muy posiblemente las aguas de esta manifestación termal, estan mezcladas con aguas frias de circulación somera. La temperatura media "base" de este punto es de 48° C.

Todas estas manifestaciones termales tienen un indudable interés desde el punto de vista geotérmico, y convendría el proseguir los estudios encaminados a investigar su posible aprovechamiento geotérmico.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

A) GEOLOGICAS

- La Cuenca del Duero es una inmensa cubeta rellena de sedimentos terciarios, de tipo continental y lacustre, que está separada de la Cuenca del Tajo por el Sistema Central.
- Los bordes de esta cuenca están formados a grandes rasgos, por materiales paleozoicos al N y NO, y graníticos al SE y S.
- Estas formaciones de borde, se hundieron suavemente bajo los sedimentos neógenos al Oeste y Sur y abruptamente al Norte.
- Los materiales neógenos tienen una disposición tabular, - prácticamente inalterada en toda su extensión.
- El espesor de estos sedimentos neógenos es muy importante, superando los 500 m en casi toda la zona investigada y los 1.000 m en los sectores más orientales.

- Los materiales que rellenan la cuenca son fundamentalmente de tipo detrítico (arenas, limos y arcillas hacia las zonas centrales, y areniscas y conglomerados en los bordes).
- Los materiales neógenos se encuentran parcialmente recubiertos por formaciones más modernas (rañas, aluviales, terrazas y sedimentos detríticos de origen eólico).

B) HIDROGEOLOGICAS

- Los materiales que bordean la Cuenca del Duero son impermeables, excepto los niveles carbonatados y cuarcíticos.
- Los materiales que rellenan la fosa del Duero forman dos tipos de acuíferos bien diferenciados: acuíferos superficiales libres y, acuíferos profundos confinados o semiconfinados.
- Los acuíferos superficiales están formados por las siguientes unidades: Páramo calcáreo de Torozos, Páramo de Rañas, Arenales del S del Duero y Aluviales y Terrazas de los ríos. Estos acuíferos desde el punto de vista geotérmico no revisten ningún interés.
- Los acuíferos profundos presentan interés desde el punto de vista geotérmico. Este terciario está formado por capas lenticulares de arenas o gravas (acuíferos) englobadas en una matriz limo-arcillosa (semipermeable), comportándose como un gran acuífero heterogéneo y anisótropo, confinado o semiconfinado según las zonas. En la zona de estudio este acuífero se puede dividir en tres zonas bien delimitadas: Zona del Esla-Valderaduey, Zona de los arenales y Zona sur oeste.

- La zona del Esla-Valderaduey comprende una región que queda limitada por los bordes preterciarios al N y O, y el río Duero en el sur. Los caudales específicos son superiores a 1 l/s por m en las áreas de Villalpando-San Pedro de Latarce-Toro-Tordesillas y al S de León, en Santa María del Páramo y Mansilla de las Mulas. Esta zona tiene amplias regiones surgentes o artesianas.
- La zona de los arenales se extiende al S del río Duero, entre este río y el Sistema Central. Los caudales específicos son de 1 l/s por m.
- La zona del suroeste comprende el sector drenado por el río Tormes. La parte situada en la margen derecha del Tormes, es de características similares a la zona de los arenales. La margen izquierda es poco conocida hidrogeológicamente.
- En líneas generales el flujo subterráneo se dirige desde los bordes hacia el centro de la Cuenca, actuando los principales ríos como líneas de drenaje.

C) HIDROQUIMICAS

- Se han analizado 60 muestras de agua, procedentes en su mayoría del acuífero terciario, recogidas todas ellas en zonas de surgencia. Las restantes pertenecen a manantiales termales que surgen a través de fallas en los bordes preterciarios.
- En el acuífero terciario dominan dos familias de aguas: bicarbonatada cálcico-magnésica y clorurada sódica. La primera está representada en la zona de León y la segunda en los alrededores de Zamora.

- Las fuentes termales son desde el punto de vista hidroquímico aguas bicarbonatadas.

D) ISOTOPICOS

- Se han recogido 15 muestras de agua para determinar sus contenidos en Tritio, Deuterio y Oxígeno-18. De éstas, 13 corresponden al acuífero terciario.
- Las determinaciones en Tritio indican que, las aguas muestreadas son en su mayoría anteriores a 1952, en el acuífero Terciario. Las fuentes termales muestreadas (borde de la Cordillera Cantábrica), son una mezcla con aguas recientes.
- La relación O^{18}/D se ajusta a una recta definida por $D=7'0 O^{18} + 2'3$, que es semejante a la de las aguas meteóricas - de donde proceden estos fluidos.
- No se observa enriquecimiento de O^{18} bien por vaporización o por intercambio con la roca almacén.
- Las determinaciones de O^{18} y D en las muestras del Terciario detrítico, presentan valores más negativos que los normales. Este hecho se interpreta como que las aguas muestreadas, proceden de aguas infiltradas en épocas más frías que las actuales, posiblemente en el último periodo interglacial, hace unos 12.000 años.

E) GEOTERMOMETRICOS

- Se han medido las temperaturas de surgencia en 60 puntos - acuíferos. La mayoría (53 puntos) pertenecen al Terciario detrítico. El resto a fuentes termales situadas en los borde

des, dos en la Cordillera Cantábrica (en el contacto fallado entre materiales paleozoicos y las facies Utrillas), y cinco en los afloramientos graníticos del borde Oeste.

- Las temperaturas de surgencia del Terciario varían entre -15° y 30° C. Las más altas corresponden a una zona situada al S de León. En el resto del Terciario no sobrepasan los 23° C, aunque en los alrededores de Zamora existe un gradiente geotérmico alto.
- Las temperaturas de las fuentes termales son más elevadas, sobre todo las situadas en zonas graníticas donde alcanzan los 48° C.
- Las temperaturas "base" calculadas mediante la utilización de geotermómetros hidroquímicos, indican temperaturas cercanas a los 40° C. Ahora bien, estas aguas son una mezcla de diferentes acuíferos situados a distintas profundidades. Los valores más altos dentro del Terciario corresponden a la zona situada al S de León, y a un punto, el DOC-61, al E de Zamora.
- Las temperaturas "base" de las fuentes termales del borde de la Cordillera Cantábrica oscilan entre los 40° y 70° C, aunque las aguas están mezcladas con otras recientes y frías, estimándose que serán de 74° a 84° C las "primitivas" temperaturas termales.
- Las temperaturas "base" de las fuentes termales del borde Oeste, son bastante altas y oscilan entre los 109° y 121° C.

F) GENERALES

- Se deduce la existencia de una serie de zonas favorables a la presencia de almacenes geotérmicos de baja entalpia.
- Las zonas de interés en los acuíferos terciarios profundos, se ubican al S de León y E de Zamora.
- Otras zonas de interés fuera de los sedimentos neógenos - son: los alrededores de Boñar y las regiones graníticas - del oeste de Zamora y Salamanca.

7.2. RECOMENDACIONES

Por lo expuesto a lo largo de la memoria y sintetizado en el apartado conclusiones, se desprende la posible existencia de almacenes geotérmicos en el Terciario detrítico de la Cuenca del Duero, en sectores situados al S de la provincia de León y E de Zamora.

Aunque es cierto que las temperaturas no serán muy elevadas, en el presente estudio no se ha podido preciar con cierta exactitud su magnitud, pues las aguas muestreadas no lo son de los acuíferos profundos, sino una mezcla de aguas de niveles permeables situados a lo largo de toda la columna, estas aguas calientes podrían aprovecharse para su utilización encaminada a la calefacción agrícola, industrial o urbana.

Por lo tanto se recomienda el proseguir las investigaciones encaminada a su mejor conocimiento de estos potenciales yacimientos geotérmicos.

Para ello será preciso en primer lugar y en una pequeña zona que podría ser León o zonas situadas más al Sur, desarrollar una campaña de sísmica al objeto de determinar la pro

fundidad del zócalo paleozoico. Con estos datos, se deberá - realizar un sondeo en el que se aislen los acuíferos profundos, a fin de estudiar la temperatura y calidad de sus aguas, además de realizar una serie de bombeos de ensayo para conocer las características de estos acuíferos y sus caudales.

También será interesante el estudiar con más detalle el entorno de las manifestaciones termales de Boñar.

En cuanto a las del borde oeste de Zamora y Salamanca, son idénticas a las estudiadas en Galicia, se podrían realizar una serie de sondeos cortos en los alrededores de las manifestaciones, con el fin de conocer el grado geotérmico de la zona y evaluar el posible potencial del yacimiento.

8. BIBLIOGRAFIA

- ABAD FERNANDEZ, J. (1977). "El potencial geotérmico español".
Tecniterrae n° 20.
- ACCORDI, B. (19-5). "El Cámbrico de Salamanca y su serie de -
cobertura". Est. Geol. Madrid.
- AEROSERVICE (1966). "Informe para el I.N.C. sobre la Cuenca -
del Duero".
- ALBERT BELTRAN, J.F. (1974). "Les sources thermales des Pyréné-
nees catalanes". Simposiym International Aguas Minera-
les (Rumania).
- ALBERT BELTRAN, J.F. (1975). "Los manantiales teramles de Ca-
taluña como indicadores de posibles campos geotérmicos".
Seminario Internacional sobre Aprovechamiento de la -
Energia Hidrogeotérmica. Madrid.
- ALBERT BELTRAN, J.F. (1975). "El equilibrio albita-anortita -
como termómetro hidroquímico en zonas graníticas". Acta
Geológica Hispánica. Año X. n° 5. Barcelona.
- ALBERT BELTRAN, J.F. (1979). "Métodos geoquímicos aplicados a
la prospección geotérmica". II Simposium Nacional de Hi-
drogeologia. Pamplona.
- ALBERT BELTRAN, J.F. (1979). "Estudio geotérmico preliminar -
de Navarra". II Simposium Nacional de Hidrogeologia. -
Pamplona.
- ADAMS, J.B. (1968). "Differential solution of plagioclase in
supercritical water". Am. Mineralogist. V. 53. pp. 1603
-1613.

- ALDAYA, F. et al (1973). "Presencia de una nueva fase de deformación probablemente prehercínica en el NO y Centro de la Península Ibérica". *Studia Geológica*. Vol. 6
- ALMELA, A. (1949). "Estudio geológico de la reserva Carbonífera de León". *Bol. Inst. Geol. y Min. de Esp.* t. LXII. - Madrid.
- ALMELA, A. (1951). "Delimitación del Carbonífero de la zona de La Robla-Vegarienza (León)". *Bol. del Inst. Geol. y Min. de Esp.* T. LXIII. Madrid.
- ALVAREZ ALCALA, F. (1850). "Manual de las aguas minerales de España y principales del Extranjero".
- ANUARIO (1877). "Anuario oficial de las aguas minerales de España". Madrid.
- ANUARIO (1889). "Anuario oficial estadístico de las aguas minerales de España". Madrid.
- ARRIBAS, A. (1973). "Presencia de una nueva fase de deformación hercínica en el NO y Centro de la Península Ibérica". *Studia Geológica*.
- BACKER, H. (1959). "La zona de Furada en Asturias Central y norte de León. Una investigación estratigráfica de las capas del límite Gotlandiense-Devoniano". Tesis. Munster.
- BARD, J. P. et al (1971). "La structure de la Chaîne hercynienne de la Meseta Ibérique: comparaison avec les segments voisins". *Publ. Inst. Fr. Pétrole*.
- BARD, J.P. et al (1970). "Les grandes traits stratigraphiques, tectoniques, métamorphiques et plutoniques des Sierra -

de Gredos et de Guadarrama (Espagne Centrale)". C.R. - Acad. Sc. París.

BODVARSSON GUNNAR (1973). "Temperature inversions in geothermal systems". Geoexploration II. -p. 141-149.

BOLDIZSAR, T. (1975). "Geothermal Energy Use in Hungary". Geothermal Energy Magazine. Abril.

BARROIS, CH. (1882). "Recherches sur les terrains anciens des Astures et de la Galice". Man. Soc. Geol. Nord.

BOWEN, R. (1979). "Geothermal Resources". Applied Science Publishers. LTD. London.

BIROT, P.; SOLE, L. (1954). "Investigaciones sobre la morfología de la Cordillera Central". Inst. Juan Sebastian Elcano. Madrid.

CAPDEVILLA, R. (1967). "Extensión du metamorphisme regional hercynien dans le NO d'Espagne". C.R.S.G. Franc.

CAPOTE, R.; VEGAS, R. (1968). "El Paleozoico de los alrededores de Avila". Est. Geol. t. 24.

CARRETERO MURIEL (). "Censo general de las aguas minerales de España".

CATALAN LAFUENTE, J. (1969). "Química del Agua". Editorial Blume. Madrid.

CATALOGO (). "Catálogo general de las aguas mineromedicinales de España y del Extranjero".

- CHRISTOPHER, J.; ARMSTEAD, M. (1978). "Geothermal Energy". - Spon LTD. London.
- CIRY, R. (1939). "Etude geologique d'une partie des provinces de Burgos, Palencia, León y Santander". Bull. Sos. Hist. Nat. Toulouse.
- CORTAZAR, D. (1874). "Datos geológico-mineros de las provincias de Zamora y Orense".
- COSTA, J.L. (1906). "Anuario guía general de los balnearios y aguas minerales de España y Mediodía de Francia". Madrid.
- CRUSAFONT, M; DE VILLALTA, J.F. (1954). "Ensayo de síntesis - sobre el Mioceno de la Meseta Castellana". Bol. R.S.E.M. N. T. homenaje a E. HERNANDEZ-PACHECO.
- CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J. (1958). "El Mioceno de las Cuencas de Castilla y de la Cordillera Ibérica". I. Reunión del Com. del Neógeno del Mediterráneo.
- CRUZ SANJULIAN, J. et al (1972). "Aguas termales de la Provincia de Granada". Bol. Geol. y Mint. t. 83, pp. 266-275.
- CRUZ SANJULIAN, F. et al (1979). "Temperatura de base de las aguas termales de la provincia de Granada". II Simposium Nacional de Hidrogeología. Pamplona.
- CRUZ SANJULIAN, E. (1976). "Sobre la temperatura límite del termalismo". Revista Tecniterrae nº 12. Madrid.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, R. (1976). "Hidrología subterránea". - Editorial Omega. Barcelona.

- DANSGAARD, W. (1964). "Stable isotopes in precipitation". *Tellus*. Vol. 16, n° 4.
- DAVIS, S.N.; DE WIEST, R. (1966). "Hidrología". Ediciones Ariel. Barcelona.
- DIAZ DE BERRICANO, I. (1974). "Los recursos geotérmicos". Ediciones ENADIMSA. Madrid.
- DIAZ DE BERRICANO, I. et al (1976). "Recursos geotérmicos y exploración petrolífera. Un nuevo recurso energético nacional". *Tecniterrae* n° 11.
- DIRECCION GENERAL DE AGRICULTURA, INDUSTRIA Y COMERCIO (1892). "Monografía de las aguas minerales y termales de España". Madrid.
- DROT, J.; MATTE, P. (1967). "Sobre la presencia de capas del devoniano en el límite de Galicia y León (NO de España)". *Notas y Com. IGME* n° 93.
- ELLIS, A.J.; MAHON, W.A.J. (1964). "Natural hydrothermal systems and experimental hot-water/rock interactions". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1964. Vol. 28. pp. 1323-1357.
- ELLIS, A.J.; MAHON, W.A.J. (1967). "Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions". (part. II). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1967. Vol. 31. pp. 519-538.
- ELLIS, A.J. (1970). "Quantitative interpretation of chemical characteristics of hydrothermal systems". *Geothermics*. Special Issue.

- ENADIMSA (1972). "Investigación de recursos geotérmicos en las provincias de Gerona y Almería". Madrid.
- FERNANDEZ CARO, J. (1912). "Guía del turismo y balnearios de España". Madrid.
- FERRAGNE, A. (1966). "Sur l'existence d'une serie vulcano-detritique silurienne au nord de Celanova". C.R. Acad. Sc. París.
- FERRAGNE, A. (1968). "Sur l'existence d'un roch precambrien dans la region de Viana del Bollo". C.R. Acad. Sc. París.
- FERRAGNE, A. (1972). "Le precambrien et le paleozoique de la provincia d'Orense". Université de Bordeaux. These Doctoral.
- FOURNIER, R.O.; ROWE, J.J. (1970). "Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and west steam wells". American Journal of Science. Vol. 262, pp. 685-697.
- FOURNIER, R.O.; TRUESDELL, A.H. (1970). "Chemical indicators of subsurface temperature applied to hot springs waters of Yellowstone National Parck (Wyoming)". Geothermics - Special Issue.
- FOURNIER, R.O.; WHITE, D.E.; TRUESDELL, A.H. (1974). "Geochemical indicators of subsurface temperature. Part. 0. Basic Assumptions". Jour. Research. U.S. Geol. Survy. Vol. 2, pp. 259-262.
- FOURNIER, R.O.; TRUESDELL, A.H. (1974). "Geochemical indicators of subsurface temperature. Part. 2, estimation of temperature and fraction of hot water mixed with colowater". Jour. Reseach. U.S. Geol. Survey Vol. 2, pp. 263-270.

- FOURNIER, R.O.; TRUESDELL, A.H. (1973). "An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters". *Geochimica Cosmochimica*. Acta V-37.
- GIL Y MAESTRE, A. (1880).- "Descripción física, geológica y minera de la provincia de Salamanca". Mem. Com. Mapa - Geol. Esp. Madrid.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P. (1935). "Explicación del nuevo Mapa - Geológico de España. El sistema Cambriano". Mem. del - IGME. T. I.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P. (1940). "El Siluriano de León". Las - Ciencias. Madrid.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P. (1942). "Explicación del nuevo Mapa - Geológico de España. El sistema Siluriano". Mem. del - IGME. T. II.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1975). "Inventario Nacional de manifestaciones geotérmicas en el territorio Nacional". (Inédito). Madrid.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1977). "Fase preliminar de prospección de recursos geotérmicos de baja entalpia en el Vallés (Barcelona)". (Inédito). Madrid.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1979). "Estudio geotérmico preliminar de las depresiones de Granada, Guadiz-Baza y Almería". (Inédito). Madrid.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1977). "Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares". Madrid.

- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1979). "Estudio de -
los materiales de la Cuenca de Madrid susceptibles de -
constituir acuíferos profundos, capaces de ser soporte
de energía geotérmica de baja entalpia". (Inédito). Ma-
drid.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1970). "Tercera reu-
nión sobre geología del NO de la Península". Bol. Geol.
Min. n° 81. Madrid.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1979). "Estudio hidro-
geológico de la Cuenca del Duero (Sistemas 8 y 12). Ma-
drid.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. "Mapa Geológico de Es-
paña E. 1:200.000. Síntesis de la Cartografía existente.
- Cangas del Narcea (n° 9)
 - Mieres (n° 10)
 - Ponferrada (n° 18)
 - León (n° 19)
 - Alcañices (n° 28)
 - Valladolid (n° 29)
 - Vitigudino (n° 36)
 - Salamanca (n° 37)
 - Plasencia (n° 43)
 - Avila (n° 44)
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. "Mapa Geológico de Es-
paña (1:50.000). 2ª Serie. Magna.
- Benavente (n° 270).
 - Valderas (n° 271)
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. "Mapa Geológico de Es-
paña (1:50.000). 1ª Serie.
- Santa María del Páramo (n° 194)
 - Mansilla de las Mulas (n° 195)

- Sahagún (n° 196)
- Villamañan (n° 232)

JIMENEZ, E. (1969). "Estratigrafía y Paleontología del borde Sur-Occidental de la Cuenca del Duero". Tesis Doctoral. Salamanca.

KRUGER, P.; OTTE, C. (1973). "Geothermal Energy. Resources, - Producción, Stimulación". Stanford University Press. California.

JULIVERT, M.; MARTINEZ GARCIA, E. (1967). "Sobre el contacto entre el Cámbrico y el Precámbrico en la parte meridional de la Cordillera Cantábrica y el papel del Precámbrico en la orogénesis herciniana". Acta Geol. Hispánica. Año II.

JULIVERT, M. et al (1972). "L'evolution paleogeographique du NW de l'Espagne pendant l'Ordovicien-Silurien". - Bull. Soc. Geol. Mineral Vretagne, sér. C. t. IV.

JULIVERT, M. et al (in litt). "La structure de la chaine hercynienne dans le secteur iberique et l'arc Ibero-Armoricain".

LOPEZ-AZCONA, J.M.; MINGARRO, F. (1967). "Mapa Geológico de la provincia de Salamanca". IGME.

LLOPIS, N.; FONTBOTE, J.M. (1959). "Estudio geológico de la Cabrera Alta". Dpto. Geogr. Aplicada Inst. Elcano.

LLOPIS, N. (1961). " Sobre las características estructurales de la tectónica germánica de Asturias". Brev. Geol. Astúrica. t. V.

- LOPOUKHIME, M. (1973). "Role de la geochimie dans la recherche geothermique. Application au Territoire Francasi - del Afars et Issas". Tesis 3^{er} ciclo. Universidad de Pa - rís.
- LOTZE, F. (1945). "Observaciones respecto a la división de - las Variscides de la Meseta Ibérica". Publ. Extr. Geol. Esp. T. V.
- LOTZE, F. (1966). "Praekambrium Spaniens". Zbl. Geol. Pal. - Parte I.
- HABESOONE, J.M. (1959). "Tertiary and Quaternary sedimentation in a part of the Duero basin (Palencia)".
- MAHON, W.A.J. (1966). " Silica in hot water discharged from - drill holes at Wairakes, New Zeland". New Zeland Jour. Scien. V. 9. pp. 135-144.
- MAHON, W.A.J. (1970). "Chemistry in the exploration and ex - ploitation of hydrothermal systems". Geothermics Special Issue.
- MARCOS, A. (1970). "Sobre la presencia de un flysch del Ordo - vícico Superior en el Occidente de Asturias". Brev. Geol. Astúrica.
- MARCOS, A. (1973). "Las series del Paleozoico Inferior y la - estructura herciniana del Occidente de Asturias". Trab. de Geol. de la Univ. de Oviedo.
- MARTINEZ ALVAREZ (1963). "Las investigaciones geológicas en - Galicia". Rev. Geologia nº 7.

- MARTINEZ GARCIA, E. (1969). "Nota sobre la posición del "Ollo de Sapo" en las provincias de Zamora y Orense". Serv. - Geol. Portugal.
- MARTINEZ GARCIA, E. (1973). "Deformación y metamorfismo en la zona de Sanabria (León, Zamora, Orense)". Studia Geológica. T. V.
- MATTE, PH. (1964). "Remarques preliminaires sur l'allure dans plus hercyniens en Galicie Orientale". C.R. Ac. Sc. T. 259.
- MATTE, PH. (1965). "Sobre el vulcanismo siluriano del sinclinal de Truchas". Not. y Com. IGME. Vol. 80.
- MATTE, PH. (1973). "Les relations entre les directions d'allongement maximum et les directions de plissement sous le front de schistosité dans les virgations de Galice et de Castille". Reun. Ann. des. Sc. de la Terre. París.
- NOLLAU, G. (1969). "Las calizas cámbrico-silúricas de la región limitrofe entre Galicia y León". Com. Serv. Geol. Port. T. 53.
- OLIVE, PH. (1970). "Contribution à l'étude géodynamique du cycle de l'eau dans l'hémisphère nord par la méthode tritium". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias de París.
- PARGA PONDAL, I. (1967). "Mapa petrográfico estructural de Galicia". IGME.
- PARGA PONDAL, I.; MATTE, PH.; CAPDEVILLA, R. (1964).- "Introducción a la geología del "Ollo de Sapo", formación porfiróide antesiluriana del NO de España". Not. y Com. - IGME. n° 76.

- PARGA PONDAL, I. et al. (1967). "Mapa geológico del NO de la Península Ibérica". Serv. Geol. Portugal.
- PARGA PONDAL, I. (1970). "Evolución del Macizo Hespérico en los tiempos antemesozoicos y sus relaciones con otras áreas europeas". Bol. Geol. Min. n° 81.
- PARGA, J.R. (). "Vulcanismo del Paleozoico Inferior del NO de la Península Ibérica". Tesis doctoral. Oviedo.
- PASTOR GOMEZ, V. (1962). "Probable área precámbrica al NO de León". Not. y Com. del IGME. n° 67.
- PENDAS, F. (1977). "Algunas ideas sobre el desarrollo geotérmico español". Tecniterrae n° 17.
- PEREZ-ESTAUN, A. (1978). "Estratigrafía y estructura de la rama S de la Zona Asturoccidental-leonesa". Mem. del IGME n° 92.
- PLATA BEDMAR, A. (1972). "Isótopos en hidrología". Editorial Alhambra. Madrid.
- PUIG Y LARRAZ, G. (1883). "Descripción física, geológica y minera de la provincia de Zamora". Mem. Com. Map. Geol. de Esp.
- ROYO GOMEZ, J. (1926). "Tectónica del Terciario continental Ibérico". Cong. Geol. Int. C.R. 14.
- SAAVEDRA, J. (1970). "Las formaciones paleozoicas de la comarca salmantina. Sierra de Francia y sus procesos de alteración". Tesis Doctoral. Salamanca.

- SANCHEZ DE LA TORRE, L. (1962). "El borde herciniano en el NE de Galicia". Brev. Geol. Astur. n° 4.
- SIEVER, R. (1962). "Silica solubility 0-200° C and the diagenesis of siliceous sediments". The Journal of Geology - V. 70. n° 2.
- SITTER, L.U. de (1950). "El desarrollo del Paleozoico en el NO de España". Publi. Extr. sobre Geol. de Esp. T. 5°.
- SOLE, L. (1958). "Observaciones sobre la edad de la epíllana fundamental de la Meseta española en el sector de Zamora". Brev. Geol. Astúrica.
- TEIXEIRA, C. (1955). "O complexo sisto-grauvaquico ante-ordeviense". Not. sobre Geol. Portugal. Lisboa.
- TONANI, F. (1970). "Geochemical methods of exploration for geothermal energy". Geothermic Special Issue n° 2.
- VIDAL BOIX, C. (1937). "Ensayo sobre la interpretación morfológica y tectónica de la Cordillera Central en el segmento comprendido en la provincia de Avila". Bol. R.S.E. H.N. T. 37.
- VILAS MINONDO, L. (1971). "El Paleozoico Inferior y Medio de la Cordillera Cantábrica entre los ríos Porma y Bernesga (León)". Mem. del IGME. T. 80.
- WHITE, D.E. (1970). "Geochemistry applied to the discovery, evaluation and exploitation of Geothermal Energy Resources". U.N. Symposium on the Development and utilization of Geothermal Resources. Pisa.