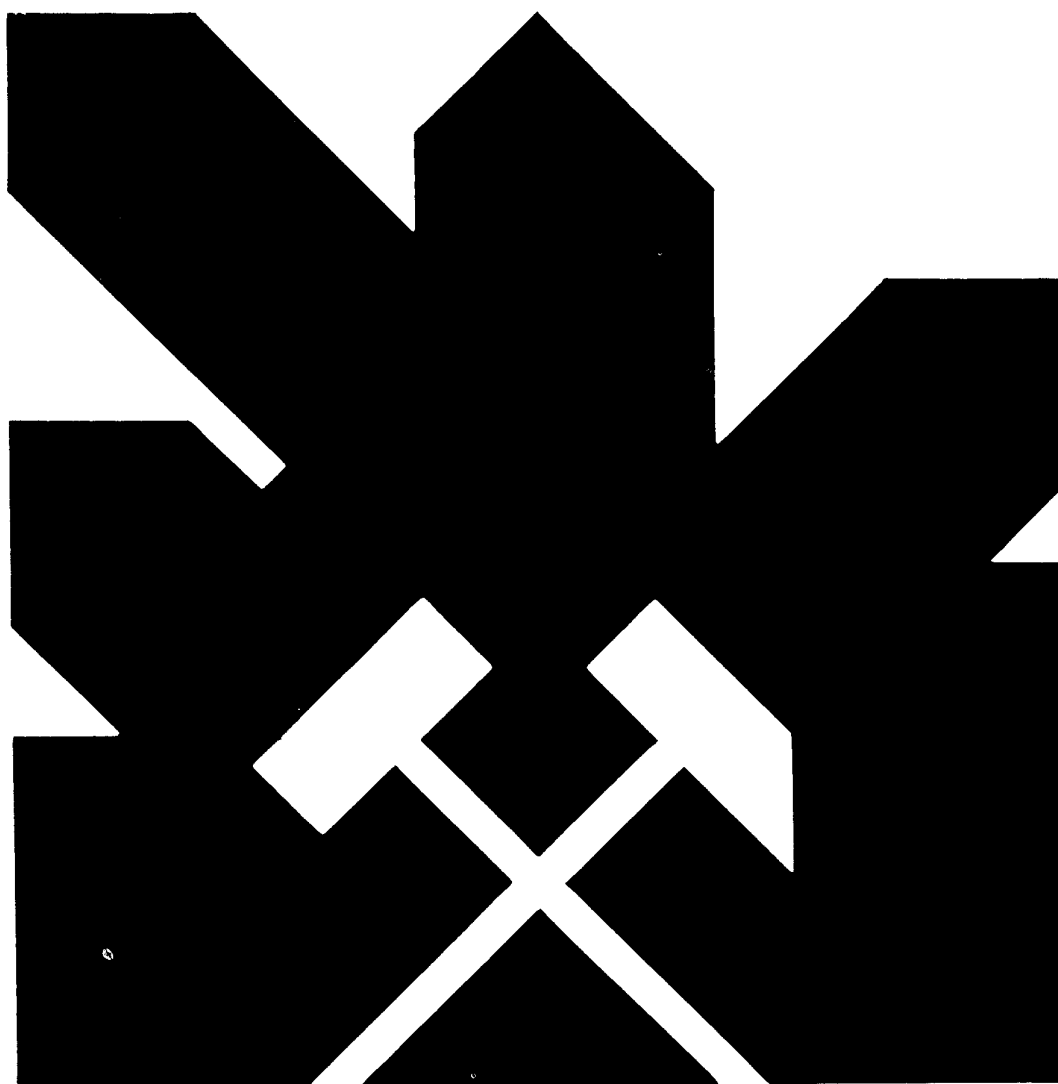


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
SECRETARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

CONVENIO CON ENADIMSA PARA EL DESARROLLO DE
TRABAJOS DE INVESTIGACION GEOTERMICA DENTRO
DEL PROGRAMA 234. OTRAS FUENTES DE ENERGIA.
AÑO - 1984.

ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTERMICO DE LA DEPRESION
DE GRANADA Y AREA DE LANJARON.

- INFORME FINAL - 4



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

00885

INDICE DE TEMAS

	<u>PAG.</u>
1.- INTRODUCCION	9
1.1.- ANTECEDENTES	10
1.2.- JUSTIFICACION DEL ESTUDIO	17
1.3.- DESARROLLO DEL ESTUDIO. TRABAJOS REALIZADOS.	20
1.4.- AGRADECIMIENTOS	25
2.- RESUMEN	26
2.1.- GEOGRAFIA FISICA Y CLIMA. GEOGRAFIA POLITI- CA Y ECONOMICA	27
2.1.1.- Situación	27
2.1.2.- Relieve	28
2.1.3.- Hidrografía	30
2.1.4.- Clima	31
2.1.5.- Población	32
2.1.6.- Economía	33
2.1.6.1.- Agricultura y Ganadería	33
2.1.6.2.- Minería e Industria	34
2.2.- SINTESIS GEOLOGICA E HIDROGEOTERMICA	35
2.2.1.- Marco Geotectónico y Geotérmico Re- gional	35
2.2.2.- Sistemas Hidrogeotérmicos	38
2.2.2.1.- Almacen techo y muro	38
2.2.2.2.- Estructura general	42
2.3.- CONCLUSIONES HIDROGEOTERMICAS: ACUIFEROS Y TEMPERATURAS EN PROFUNDIDAD	46
2.4.- RECOMENDACIONES	49
3.- GEOLOGIA CON ENFOQUE HIDROGEOTERMICO	59
3.1.- DIVISION EN ZONAS Y DOMINIOS	60
3.2.- ESTRATIGRAFIA	64

	<u>PAG.</u>
3.2.1.- Terrenos Premantos Béticos s.str.	65
3.2.1.1.- Dominio Nevado-Filábride ...	66
3.2.1.1.1.- Serie del Veleta o Tramo basal (Paleozoico - ¿Permotrías? -)	67
3.2.1.1.2.- Serie de Sabinas-Mulhacén o Tramo terminal (¿Paleozoico? -Permotrías-Trías medio-superior y ¿Eoceno?).....	67
3.2.1.2.- Dominio Alpujárride	69
3.2.1.2.1.- Alpujárride septentrional o Manto de Lújar	70
3.2.1.2.1.1.- Permotrías	70
3.2.1.2.1.2.- Trías medio-superior	71
3.2.1.2.2.- Alpujárride medio o Manto del Trevenque	71
3.2.1.2.2.1.- Paleozoico y Permotrías..	72
3.2.1.2.2.2.- Trías medio-superior	73
3.2.1.2.3.- Alpujárride meridional o Manto de los Guajares	73
3.2.1.2.3.1.- Paleozoico-Permotrías ...	74
3.2.1.2.3.2.- Trías medio-superior	74
3.2.1.3.- Dominio del Maláguide s. str. y Unidades afines	74
3.2.1.3.1.- Precámbrico-Paleozoico, Permotrías y Trías medio-superior	75
3.2.1.3.2.- Jurásico	76
3.2.1.3.3.- Cretácico-Eoceno medio ...	77
3.2.2.- Terrenos Pre-Mantos Subbéticos ..	78
3.2.2.1.- Dominio Subbético Medio	79
3.2.2.1.1.- Trías	79
3.2.2.1.2.- Lías inferior	79
3.2.2.1.3.- Resto del Jurásico, Cretácico, Paleógeno y Mioceno inferior	79

	<u>PAG.</u>
3.2.2.2.- Dominio Penisubbético, Subbético Interno, o Subbético Meridional (Dominio Mixto)	80
3.2.2.2.1.- Trías	81
3.2.2.2.2.- Lías inferior	82
3.2.2.2.3.- Resto del Jurásico y Cretáceo-Eoceno medio	82
3.2.3.- Terrenos Post-Mantos Béticos s.str.	83
3.2.3.1.- Flyschs terciarios de la "Zona Límite" (Eoceno) superior-Aquitaniense)	84
3.2.3.2.- Molasa periNevado-Filábride - ("Mármoles Conglomeráticos" - Post-Mantos) (Cuaternario).....	85
3.2.4.- Terrenos Inter-Mantos Subbéticos .	88
3.2.4.1.- Burdigaliense inferior (Formaciones Los Alamillos, Beas de Granada, Viñuela, Santana y Formación Fuente -Murcia-)	88
3.2.4.2.- Burdigaliense superior-Langhienense inferior (Formación Espejos)	89
3.2.5.- Terrenos Post-Mantos en general ..	90
3.2.5.1.- ¿Langhienense superior? - Serravaliense (Formación La Peza: Limos con yesos)	90
3.2.5.2.- Tortoniense inferior (Formación Quentar: Calcarenitas y Conglomerados marinos)	91
3.2.5.3.- Tortoniense superior (Margas - marinas)	91
3.2.5.4.- Tortoniense superior - terminal (Formación de Pinos-Genil: Conglomerados, Limos y Margas) ..	92

	<u>PAG.</u>
3.2.5.5.- Messiniense inferior (Limos mi cáceos)	93
3.2.5.6.- Mioceno terminal s.str.	94
3.2.5.7.- Pliocuaternario	94
3.2.5.8.- Cuaternario	96
3.2.5.8.1.- Cuaternario antiguo	96
3.2.5.8.2.- Cuaternario reciente o alu- vial	97
3.3.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL	97
3.3.1.- Estructura general de las Cordille ras Béticas	97
3.3.2.- Estructura interna de cada uno de los dominios y posición tectónica relativa de los mismos	99
3.3.2.1.- Subbético Medio	99
3.3.2.2.- Penisubbético, Subbético Inter no o Subbético Meridional ...	100
3.3.2.3.- Maláguide y unidades afines ..	100
3.3.2.4.- Alpujárride	101
3.3.2.5.- Nevado-Filábride	102
3.3.2.6.- Flyschs terciarios de la "Zona Límite"	104
3.3.2.7.- Molasa peri-Nevado Filábride..	105
3.3.2.8.- Terrenos Inter-Mantos Subbétic os	106
3.3.2.9.- Terrenos de Fosa o cobertera (Post-Mantos en general)	106
3.3.3.- Fases tectónicas principales	107
3.3.4.- Neotectónica y Sismotectónica	111
4.- HIDROGEOTERMIA	113
4.1.- ROCAS ALMACEN	116
4.2.- ROCAS SELLO	118
4.3.- ACCIDENTES RELACIONADOS CON LAS MANIFESTA- CIONES TERMALES	120

	<u>PAG.</u>
4.4.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO DE BAÑOS DE LANJARRON O DEL NEVADO FILABRIDE	123
4.4.1.- Formación acuífera	123
4.4.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura	123
4.4.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura	125
4.4.4.- Nivel piezométrico. Recursos, Balance y Reservas. Características hidráulicas	127
4.4.5.- Areas más favorables para la prospección y explotación (Plano I) ..	128
4.5.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO MULTICAPA DEL ALPUJARRIDE	129
4.5.1.- Formaciones acuíferas	130
4.5.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura	130
4.5.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura	132
4.5.4.- Nivel piezométrico. Recursos, Balance y Reservas. Características hidráulicas	137
4.5.5.- Areas más favorables para la prospección y explotación (Plano I) ..	140
4.6.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO DEL MALAGUIDE S. STR. Y UNIDADES AFINES	142
4.6.1.- Formación acuífera	143
4.6.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura	143
4.6.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura	144
4.6.4.- Nivel piezométrico. Recursos, Balance y Reservas. Características hidráulicas	146

	<u>PAG.</u>
4.6.5.- Areas más favorables para la prospección y explotación	147
4.7.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO DEL SUBBETICO MEDIO	149
4.7.1.- Formación acuífera	149
4.7.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura	150
4.7.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura	151
4.7.4.- Nivel piezométrico. Recursos, Balance y Reservas. Características hidráulicas	152
4.7.5.- Areas más favorables para la prospección y explotación	153
4.8.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO DEL TORTONIENSE INFERIOR (CALCARENITAS Y CONGLOMERADOS MARI-NOS)	155
4.8.1.- Formación acuífera	156
4.8.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura	156
4.8.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura	157
4.8.4.- Nivel piezométrico. Recursos, Balance y Reservas. Características Hidráulicas	158
4.8.5.- Areas más favorables para la prospección y explotación	159
4.9.- CONCLUSIONES GEOTERMICAS: HIPOTESIS EXPLICATIVAS SOBRE LA EVENTUALIDAD DE LA EXISTENCIA Y LOCALIZACION DE ANOMALIAS DE GRADIENTE Y MANIFESTACIONES TERMALES	160
5.- BIBLIOGRAFIA	168
5.1.- GEOGRAFIA Y GEOLOGIA	169
5.2.- HIDROGEOLOGIA Y GEOTERMIA	171
5.3.- MINERIA	172

INDICE DE FIGURAS

PAG.

Fig. 1 - EVALUACION DE LAS AREAS DE MAYOR INTERES GEOTERMICO DE ESPAÑA	11
Fig. 2 - ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LAS CORDILLERAS BETICAS	61

INDICE DE PLANOS

PLANO I - MAPA GEOLOGICO-GEOTERMICO DE SINTESIS
DE LA ZONA GRANADA-LANJARON.

1.- INTRODUCCION

1.1.- ANTECEDENTES

La investigación de recursos geotérmicos ha sido planificada en España en tres fases:

- a) Inventario general de anomalías geotérmicas.
- b) Delimitación de zonas geotérmicas.
- c) Investigación de recursos por zonas.

Las fases a y b han sido ya realizadas para todo el territorio nacional y la c, para algunas zonas.

En el inventario general se destaca como área propicia para la existencia de yacimientos todo el ámbito de las Cordilleras Béticas y, dentro de éstas en especial, las denominadas Zona Bética s.str. y "Zona Límite", dentro de las cuales está ubicada la mayor parte del área de la Depresión de Granada.

El Instituto Geológico y Minero de España y la Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción han desarrollado en años anteriores estudios geotérmicos preliminares que han llevado a la conclusión de que es posible la existencia de yacimientos de baja, media y, quizás aún alta entalpía, en la parte meridional de las Cordilleras Béticas. Estos estudios están más avanzados en unas zonas que en otras por lo que, dentro de una investigación planificada, se requiere su

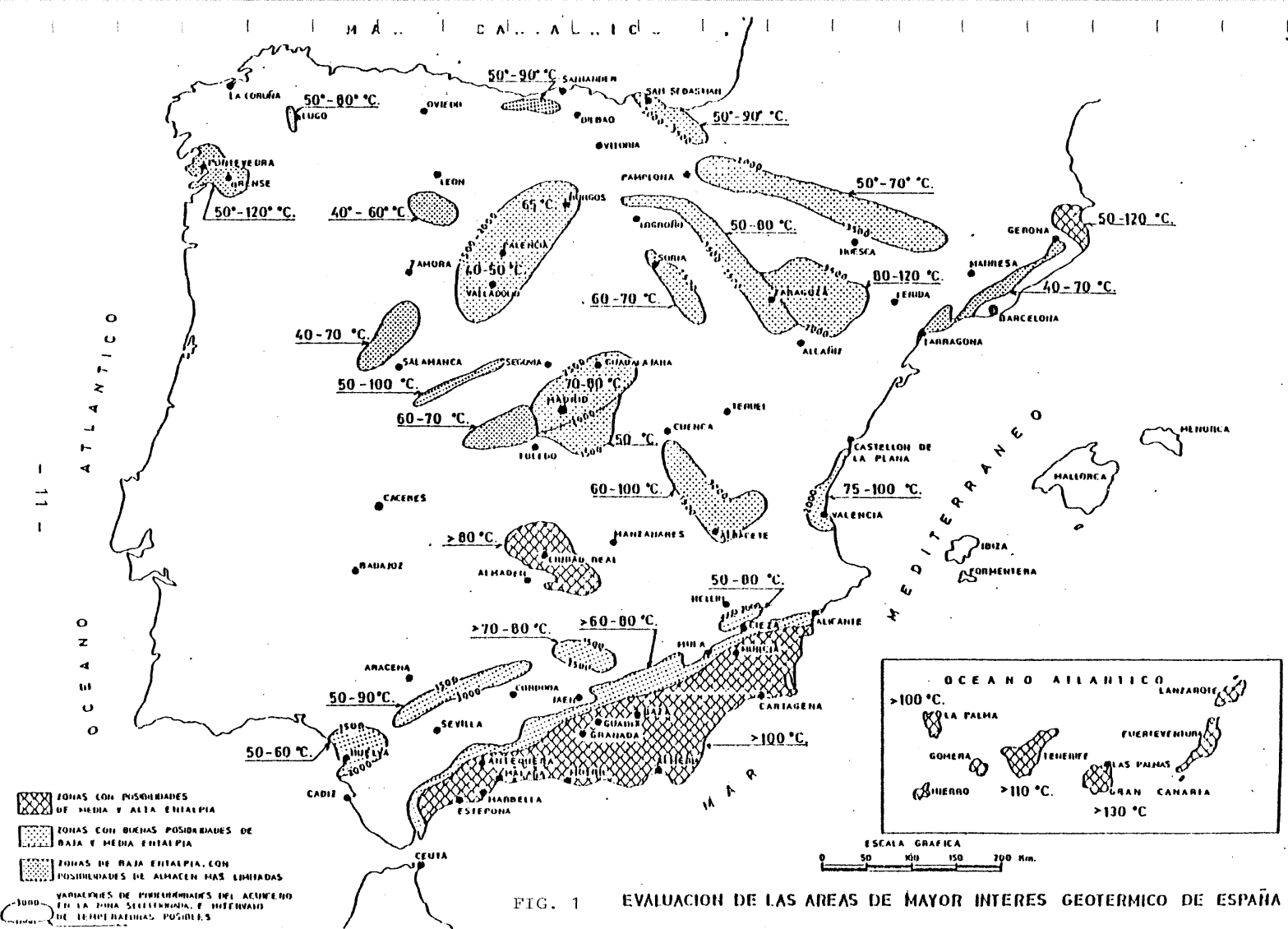


FIG. 1 EVALUACION DE LAS AREAS DE MAYOR INTERES GEOTERMICO DE ESPAÑA

continuación en aquellas técnicas más apropiadas a cada caso, según el estado de conocimientos.

Como estudios concretos de geotermia ya realizados que afectan de manera directa o indirecta (ya que aunque esten relativamente alejados geográficamente, a priori pueden presentar una problemática geotérmica bastante similar) al área investigada (Depresión de Granada) cabe citar los siguientes, por orden de ejecución:

- 1974-75 "Inventario general de manifestaciones geotérmicas en el territorio nacional" IGME.
- 1977-78 "Estudio geotérmico preliminar de las Depresiones de Granada, Guadix-Baza y Almería" IGME.
- 1979 Estudio geotérmico de la Depresión de Granada.IGME.
- 1980-82 "Estudio hidrogeotérmico de la comarca del Campo - de Níjar" IGME.
- 1982-83 "Estudio geoquímico de las manifestaciones termales de Granada, Almería y Murcia". PEN-ADARO.
- 1982-83 "Estudio geotérmico preliminar en el área de La Fuensanta - Velez Rubio - Lorca - Alhama de Murcia" IGME
- 1982-83 "Estudio geotérmico de la Depresión de Almería" - IGME.
- 1982-83 "Estudio geotérmico preliminar de Andalucía Occidental" IGME

El primero (1974-75) de los estudios acabados de citar se limitó fundamentalmente, como era lógico dado su carácter primordial y su ámbito nacional, a realizar un inventario o ficha de las principales manifestaciones geotérmicas (incluidas las del área que ahora se investiga) en el que se presentaban, aparte de otros datos y para cada manifestación, un pequeño esquema hidrogeológico o hidrogeotérmico basado en las observaciones realizadas generalmente durante una breve visita de campo.

El segundo trabajo (1977-78) trata del área investigada de una forma muy general, en un marco mucho más amplio, que abarca zonas con problemática geotérmica relativamente diferente. En él, fundamentalmente se aportan nuevos análisis químicos más específicos y detallados de algunas de las manifestaciones termales sobre una base geológica poco precisa, a escala 1:500.000, acompañados de algunos análisis isotópicos y cálculos gotermométricos.

El tercer trabajo (1979) es el primero que está ya centrado sobre el área (Depresión de Granada y Lanjarón) objeto del presente Estudio. Incluye un inventario de 60 puntos de agua termales y no termales, con temperaturas de surgencia y análisis químicos. También aporta análisis isotópicos sobre 12 muestras. El estudio geológico-hidrogeológico sin embargo es insuficiente y ello se refleja en las conclusiones hidrogeotérmicas especialmente a la hora de interpretar e identificar a los acuíferos responsables de las diversas manifestaciones termales y de determinar las características (geometría del acuífero, etc.) de los mismos.

El cuarto trabajo (1980-82) es de carácter fundamentalmente hidrogeológico, aunque por estar centrado sobre un área

muy concreta (Campo de Níjar) los datos analíticos, específicamente geotérmicos, aportados (análisis de aguas y gases) son abundantes y también muy interesantes pero sólo potencialmente ya que, aunque fueron tratados por ordenador, no se pudo realizar un análisis interpretativo profundo de los mismos al no ir acompañados por una base geológica e hidrogeológica (selección de las muestras previo conocimiento de los acuíferos captados, etc.) suficiente, lo que repercutió en la falta de precisión de las conclusiones (número y tipo de acuíferos, profundidad, estructura y límites de los mismos, etc.).

El quinto (1982-83) aporta también interesantes y abundantes datos geoquímicos, principalmente en lo que se refiere a análisis de gases y, aunque las interpretaciones en profundidad adolecen de poca precisión al apoyarse en una base geológico-hidrogeológica muy general, las conclusiones más generales se acercan ya bastante más a los resultados del presente informe, en el cual, a diferencia de los cinco estudios acabados de citar, se presta una primordial atención a la geología.

El sexto trabajo (1982-83) incluye seis tomos (I. Introducción, Conclusiones y Recomendaciones; II. Geología; III. Hidrogeotermia; IV. Prospección geoquímica; V. Fichas de Inventario de puntos de agua; y VI. Tratamiento de datos geoquímicos en ordenador) y aunque se trate aún de un estudio básico y preliminar, proporciona un abundante y elaborado soporte geológico con carácter de nueva síntesis regional enfocada hacia la prospección geotérmica (con perfiles de elevada profundidad) que constituye una base necesaria para la interpretación de los datos geoquímicos y geofísicos contemporáneos y futuros. El estudio va acompañado por numerosas figuras (principalmente cortes estratigráficos) y mapas a color.

El séptimo trabajo (1982-83) que incluye ocho tomos - (con los mismos títulos de los seis primeros del estudio anterior, más otros dos referentes a Sondeos y Geofísica, y Datos Sismológicos) es análogo al anterior si bien el esfuerzo tanto geológico como geoquímico y geofísico, es aún mayor al haberse hecho hincapié en aspectos particulares tales como el volcanismo de la Sierra de Gata y la Geoquímica de Gases, - aparte de haber tenido a disposición una mucho más completa base hidrogeológica y un mayor acúmulo de datos geoquímicos y geofísicos anteriores y coetáneos al Estudio, para interpretar y contrastar con las hipótesis geológicas de base.

El octavo y último estudio (1982-83) de carácter preliminar, aporta fundamentalmente nuevos e interesantes datos geoquímicos y una interpretación puntual de las diversas manifestaciones termales de la zona, sin haberse pretendido alcanzar una síntesis geológico-geotérmica, la cual quizás debiera ser objeto de un trabajo posterior.

Aparte de los anteriores y, paralelamente (1984) al desarrollo del presente Estudio, se vienen llevando a cabo los siguientes trabajos:

- a) Campañas de gravimetría y S.E.V. en el Campo de Níjar y Bajo Andarax, por parte del IGME, como continuación del Estudio Geotérmico de la Depresión de Almería (1982-83) ya citado y siguiendo las Recomendaciones del mismo, con vistas a determinar la ubicación idónea de un sondeo de explotación de energía geotérmica.
- b) Actualización del Inventario de Manifestaciones Geotérmicas del Territorio Nacional, asimismo a cargo del IGME, en el cual, en la parte que concierne a las Cordilleras Béticas, se ha llevado a cabo un tratamiento bastante más rigu

roso de todos los datos geoquímicos anteriores apoyado en las nuevas síntesis geológico-geotérmicas de tipo regional aportadas por los últimos estudios anteriormente citados.

Por otro lado y en relación con el Plan Energético Nacional, hay que destacar el Estudio Geotérmico que actualmente - se lleva a cabo en el área de Mazarrón, así como las sucesivas investigaciones realizadas en la Cuenca de Mula entre las que cabe resaltar los trabajos geológicos, geofísicos (S.E.V., gravimetría, sísmica de reflexión y medidas de gradiente en sondeos) y de sondeos mecánicos (cuatro sondeos de investigación de 600 m., dos de los cuales se reprofundizaron posteriormente hasta 1.000 m y un quinto sondeo de 700 m con vistas a una posible explotación).

Por último, conviene citar diferentes trabajos con fines geotérmicos parciales, llevados a cabo en los últimos años, tanto por parte del IGME (gravimetría, S.E.V.) como del PEN (experiencias concretas en calefacción de invernaderos mediante aprovechamiento de sondeos con agua termal) en el área del Campo de Cartagena, zona en la que se echa de menos la existencia de un estudio actualizado e integral en el que se propugne una síntesis geológico-geotérmica que incluya un estudio geoquímico detallado y una explicación de las distintas y numerosas manifestaciones termales (sondeos) allí existentes en relación con el anterior y con el importante acervo de datos geológicos, hidrogeológicos y geofísicos que ya se posee sobre esa zona.

1.2.- JUSTIFICACION DEL ESTUDIO Y OBJETIVOS

Para una comprensión más clara de los objetivos del presente Estudio se hace necesario hacer alusión a su génesis, es decir a las ideas en base a las cuales se concibió y justificó la conveniencia de este proyecto.

Pues bien, el interés geotérmico de la Depresión de Granada así como del área de Lanjarón venía poniéndose claramente de manifiesto a través de los datos, fundamentalmente de tipo geoquímico, aportados por los diferentes estudios anteriores (veáse 1.1.ANTECEDENTES). Dichos datos que, en conjunto, resultaban si no ya abundantes (debido al relativamente escaso número de manifestaciones termales realmente significativas, existentes dentro del área de estudio) si, al menos, reiterativos, estaban sin embargo faltos de una base geológico-hidrogeológica suficiente para las interpretaciones en profundidad y la extracción de conclusiones.

A lo anterior se une el hecho de que los progresos recientes alcanzados en las síntesis geológico-geotérmicas llevadas a cabo en áreas próximas (Murcia y Almería, principalmente) permitían preveer que muchas de las conclusiones allí obtenidas podrían tener validez más al Oeste (área de Granada-Lanjarón) lo cual, de ser así, a la vez que asentaba cada vez más dichas conclusiones (debido, en ese caso, a su validez regional) en las regiones anteriores, abriría nuevas y más amplias perspectivas geotérmicas en el área objeto del presente Estudio e incluso, de paso, en otras zonas diferentes.

De hecho, como confirmación de lo anterior y en lo que se refiere al área de Lanjarón, mientras en todos los estudios anteriores las fuentes termales allí existentes se ponían en relación con posibles acuíferos alpujárrides, en el presente trabajo se aboga decididamente por una clara relación con la parte superior del Complejo Nevado-Filábride, lo cual tiene su trascendencia a la hora de planificar y emprender futuras acciones investigadoras (geofísica, sondeos, etc.) de considerable coste económico en general.

Y otro tanto cabe decir en lo que se refiere a la Depresión de Granada, donde los estudios anteriores (basados, fundamentalmente, sólo en datos geoquímicos) concluyen en unas posibilidades máximas en cuanto al techo de temperaturas en los posibles acuíferos a encontrar, de unos 70-80°C, mientras que del trabajo presente se desprende que a priori y, simplemente con un grado geotérmico medio (0,33°C/m) las conclusiones hidrogeotérmicas permiten apostar por la existencia de acuíferos con temperaturas sensiblemente mayores y explicando, de paso, el menor grado de aquellas detectado por termometría geoquímica, mediante la hipótesis de la existencia de varios acuíferos superpuestos, a diferente profundidad y temperatura y relativamente estancos entre sí (separados por niveles impermeables) de tal modo que sólo los más superficiales - de todos ellos llegan a manifestarse claramente en superficie.

Por último, aparte de una profundización en los aspectos geológico-hidrogeológicos del fenómeno termal de Lanjarón, el presente Estudio, tal como lo indica su título, se orientó principalmente a sentar las bases para fijar la ubicación idónea de un posible y futuro sondeo de explotación de energía geotérmica para su aprovechamiento en calefacción de viviendas - en la ciudad de Granada, para lo cual no bastaba el conocer

la existencia de posibles acuíferos subbéticos, alpujárrides o miocenos sino que convenía el tratar de precisar, hasta donde los datos disponibles (geológicos y geofísicos) lo permiten, la distribución horizontal y vertical de cada uno de esos distintos acuíferos de interés geotérmico y asimismo, la composición y espesor de la previsible columna estratigráfica a cortar, después de haber elegido la ubicación idónea del citado sondeo, en base a las posibilidades hidrogeotérmicas así como a las lógicas limitaciones técnicas y económicas.

En resumen para el cumplimiento de los objetivos convenidos en el presente trabajo resultaba en principio suficiente atender a los aspectos estrictamente geológicos y locales determinando, en definitiva, la columna geológica que se cortaría en un teórico sondeo geotérmico situado en Granada capital, por un lado, y ofreciendo, por otra parte, una cartografía y corte geológicos suficientemente ilustrativos a modo de interpretación del acuífero o sistema hidrogeotérmico responsable de los fenómenos termales de Lanjarón.

No obstante lo anterior el presente Informe y Mapa que lo acompaña pretenden no sólo cubrir los objetivos más arriba señalados sino que se ha intentado enriquecer, enmarcar y completar la información geológica local estrictamente necesaria con otra información geológica más amplia de tipo regional (en la que aquella primera pudiese apoyarse o fundamentarse), además de con otros datos de tipo hidrogeológico y geofísico - (principalmente gravimetría y sísmica para petróleo) o procedentes de sondeos mecánicos (para investigación de aguas y/o lignito, fundamentalmente).

1.3.- DESARROLLO DEL ESTUDIO. TRABAJOS REALIZADOS

Bajo la supervisión del Instituto Geológico y Minero de España personificado en D.Celestino García de la Noceda, el presente trabajo ha sido dirigido, elaborado y redactado por Fernando Jerez Mir, Licenciado en Ciencias Geológicas, de la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras S.A.

El estudio se desarrolló desde mayo de 1984 hasta diciembre del mismo año, es decir durante unos siete meses de trabajo efectivo repartidos aproximadamente de la siguiente forma: 2 meses para recopilación y estudio de la información (obtenida en buena parte, tanto en la Universidad de Granada, como en la oficina del IGME en esa ciudad); 2 meses de trabajo de campo; 2 meses de cartografía de gabinete; y 1 mes para la redacción del informe y supervisión de los trabajos de delineación, mecanografía y edición. Por diversas circunstancias, la distribución en el tiempo de estos diferentes trabajos no ha sido exactamente correlativa sino que, a menudo, se ha debido alternar entre unas y otras labores.

Los trabajos concretos llevados a cabo han sido los siguientes:

- Recopilación y análisis de documentación proveniente de sondeos, trabajos geofísicos (sísmica, gravimetría y S.E.V.), informes de diversos organismos y empresas sobre Geotermia y de otro tipo (hidrogeológicos, de minería del carbón, etc.), estudios universitarios (tesis doctorales, separatas, etc.), cartografía geológica del IGME (principalmente, la de esca-

la 1:50.000 del MAGNA) todo ello, fundamentalmente, con vistas a obtener datos de tipo estratigráfico, estructural, hidrogeológico y geotérmico.

- Estudio geológico suficientemente detallado, con realización de cortes estratigráficos seriados, de la parte superior del Complejo Nevado-Filábride y del contacto de este último con la base del Complejo Alpujárride a lo largo de toda la periferia de Sierra Nevada, situada al Oeste del meridiano de Guadix y, principalmente de la parte comprendida entre Guejar Sierra y el entorno de Lanjarón.

Se aportan aquí determinadas reformas a la cartografía existente (MAGNA fundamentalmente) y nuevas interpretaciones geológicas sobre aspectos concretos del área periNevado-Filábride.

- Reconocimiento geológico detallado, con observación de cortes estratigráficos seriados de los bordes levantados del Mio-Plioceno de la Depresión de Granada próximos a Granada-capital, con vistas a determinar la litología y potencia de las formaciones que constituyen los Terrenos de Fosa o Cobertera que rellenan la citada Depresión y constituyen el techo, fundamentalmente impermeable (a excepción de las calcarenitas del Tortoniense inferior), de los acuíferos de interés geotérmico existentes en el Substrato Bético s.str. y Subbético.

- Reconocimiento geológico regional del resto de la Depresión de Granada, así como de los terrenos del substrato Bético s.str. y Subbético que constituyen los bordes de aquella, al objeto de sentar las bases para la elaboración de una síntesis regional así como de una hipótesis global válida (en la medida en que sea coherente con el conjunto de los datos o interpretaciones locales) que permitieran la extrapolación

en suficiente extensión y profundidad (ambas cosas necesarias para la orientación de las investigaciones geotérmicas) de la composición y estructura del Substrato Bético s.str.- Subbético bajo la Cuenca de Granada.

- Estudio de las fracturas deducidas por cartografía y geofísica con vistas a establecer las principales direcciones y áreas de fallamiento.
- Estudio de las lineaciones de satélite.
- Análisis de datos sismológicos en relación con los sistemas de fracturas y lineaciones anteriores.
- Análisis de datos hidrogeológicos referentes a los acuíferos más importantes de la región que pudieran tener conexiones con los acuíferos profundos.
- Análisis de datos geoquímicos y geotermométricos procedentes de estudios sobre las aguas termales.
- Síntesis geológico-geotérmica que sirva para enmarcar la problemática geotermal de la zona de estudio junto con la de otras zonas adyacentes de problemática similar mejor o peor conocidas. Dicha síntesis ha resultado más factible gracias a la experiencia acumulada en estudios geotérmicos de zonas próximas (Mula, Cartagena, Fuensanta, Almería, etc.) y en diversos estudios de otro tipo (geológicos, hidrogeológicos) que han permitido elaborar y aplicar en alguna medida un conocimiento regional de las Cordilleras Béticas. La expresión gráfica de dicha síntesis es el Mapa Geotérmico (Plano I).

- Selección de áreas de interés geotérmico para la realización de posteriores estudios realizada en base a todos los trabajos anteriores, incluido el presente, y expresado en los capítulos de CONCLUSIONES (2.3.) y RECOMENDACIONES (2.4.)

Por último, aunque al margen de la intencionalidad y objetivos de este Proyecto puede resultar útil el señalar otros resultados conseguidos quizás susceptibles de adscribirse a la esfera del conocimiento geológico regional, como son los siguientes:

- Una síntesis cartográfica, a escala 1:200.000 de un área muy amplia (situada entre los meridianos de Guadix y Málaga) que, si bien ha sido realizada "a vocación geotérmica" (con las consiguientes simplificaciones adaptadas a la clarificación de los objetivos del estudio), conlleva un esfuerzo implícito de interpretación regional que, aunque pueda ser discutible, no deja de suponer una contribución a otras síntesis geológicas futuras.
- Una interpretación gráfica a gran profundidad (operación comprometida que no es usual en la mayoría de los trabajos geológicos al uso -v. gr. cartografía MAGNA-) de la estructura de la Zona Bética s. str. y de sus relaciones con la Subbética. Dicha interpretación no se pretende única y obviamente puede ser discutible (debido a las grandes dificultades que para cualquier análisis de este tipo y a esa escala presenta la zona más meridional de las Cordilleras Béticas) pero se justifica como un intento de visión unitaria y coherente consigo misma de los diversos y complicados problemas geológicos de la región y, en cualquier caso, parece necesaria u obligada en un estudio de este tipo del que lógicamente se exige, al menos, una mediana orientación para futuras proyecciones geotérmicas en el subsuelo de importante --

coste económico en general, dada la profundidad a menudo elevada a la que suelen encontrarse los objetivos (acuíferos con temperatura suficientemente alta).

1.4.- AGRADECIMIENTOS

A D. Miguel CUESTA, Director Técnico de Aguas de Lanza^u rón S.A. por su amable acogida, las facilidades dadas para la visita de las instalaciones y el ofrecimiento de todo tipo de datos en relación con las aguas termales de dicha localidad.

Al equipo de la Oficina del IGME en Granada, en especial a Manuel DEL VALLE, geólogo responsable del centro, Manuel RUIZ MONTES (geólogo) y Diego S.MARTINEZ (delineante) por su inestimable colaboración y el apoyo material recibido. Especialmente fructíferas han sido las orientaciones sobre la hidrogeología de la región por parte del primero de los citados.

A los geólogos de la Universidad de Granada: A. CASTILLO y A. PULIDO del Dto. de Hidrogeología; E.PUGA y A.DIAZ de FEDERICO del Dto. de Petrología; J.M. MARTIN y A.C. LOPEZ GARRIDO del Dto. de Estratigrafía y L. GARCIA-ROSSELL y C. SANZ DE GALDEANO del Dto. de Geología y Geotectónica por haber facilitado una interesante bibliografía y por los intercambios de opinión mantenidos.

A INGENISA por haber proporcionado amablemente, con autorización del IGME, copias de los Planos y Memoria del Informe sobre la investigación de lignitos en la Depresión de Granada, realizado por esa Empresa para el citado Organismo.

2.- RESUMEN

2.1.- GEOGRAFIA FISICA Y CLIMA. GEOGRAFIA POLITICA Y ECONOMICA

2.1.1.- Situación

El área objeto de estudio en sentido amplio que se corresponde con la superficie cartografiada (Plano I) está más o menos centrada sobre Granada capital y abarca una gran parte de esta provincia (la totalidad de la vega granadina y las montañas que la rodean -principalmente los relieves meridionales de Sierra Nevada, Alpujarras y alineaciones costeras-) además de una extensión mucho menor de la zona costera oriental de la provincia de Málaga y sólo una mínima representación de la costa occidental de la provincia de Almería.

La superficie de la zona de estudio tiene una forma de pentagono irregular con su base orientada en dirección Este-Oeste y constituido por la línea de costa. Los límites laterales son dos meridianos que pasan, respectivamente, por Málaga capital, al Oeste, y a unos 5 km al Este de Guadix, el meridiano oriental. El límite septentrional, orientado según directrices netamente béticas, está definido por los relieves subbéticos que cierran la Vega de Granada por el Norte y Noroeste.

La zona cartografiada tiene una longitud de 122 km de Este a Oeste, y de 93 km de Norte a Sur, por su parte más ancha. El área total es de 9.646 km².

Las hojas topográficas a escala 1:50.000, en su mayoría comprendidas totalmente dentro de la zona, son las siguientes, enumeradas de Este a Oeste y de Norte a Sur: 991 (19-40) IZNALLOZ, 992 (20-40) MOREDA, 993 (21-40) BENALUA DE GUADIX, 1008 (18-41) MONTEFRIO, 1.009 (19-41) GRANADA, 1010 (20-41) LA PEZA, 1011 (21-41) GUADIX, 1024 (17-42) ARCHIDONA, 1025 (18-42) LOJA, 1026 (19-42) PADUL, 1027 (20-42) GUEJAR SIERRA, 1028 (21-42) ALDEIRE, 1039 (17-43) COLMENAR, 1040 (18-43) ZAFARRAYA, 1041 (19-43) DURCAL, 1042 (20-43) LANJARON, 1043 (21-43) BERJA, 1053 (17-44) MALAGA, 1054 (18-44) VELEZ MALAGA, 1055 (19-44) MOTRIL, 1056 (20-44) ALBUÑOL y 1057 (21-44) ADRA.

2.1.2.- Relieve

Desde el punto de vista del relieve, la zona está situada en la parte central de las Cordilleras Béticas. El territorio de estas últimas (y, en particular, también el del área de estudio) se halla accidentado por numerosas sierras y depresiones intramontañosas. La mayoría de las alineaciones orográficas muestran una orientación NNE-SSO, típicamente bética, aunque las estribaciones más meridionales tienden a ponerse paralelas a la línea de costa, de dirección E-O.

En términos orográficos (sobre los cuales es importante adelantar que no coinciden exactamente con las respectivas denominaciones geológicas) y en todo el ámbito de las Cordilleras Béticas, la disposición estructural determina la existencia de tres grandes conjuntos orográficos diferentes: la alineación bética interna o Cordillera Penibética, al Sur, y la alineación bética externa o Cordillera Subbética, al Norte, ambas separadas por la llamada Depresión Intrabética o Surco Intrabético constituido por una mal definida línea de depresiones (Granada, Guadix-Baza, Lorca y Mula, principalmente) - que separa longitudinalmente a las dos anteriores unidades.

La zona que interesa al presente Estudio, al encontrarse centrado sobre la Depresión de Granada, pertenece a la vez a las tres unidades acabadas de definir, si bien las alineaciones bética interna e intrabética están bastante mejor representadas que la bética externa o subbética.

Las principales unidades morfotectónicas que forman el relieve, coincidentes en general con anticlinorios o anticlinales de terrenos del substrato, son las siguientes enumeradas de Norte a Sur y de Oeste a Este: Sierras de Pedroso y Las Cabras, Sierra Gorda de Loja y Sierras de Elvira y Harana - (1.622 m), entre las alineaciones subbéticas y Montes de Málaga, Sierra Tejeda, Sierra Nevada (con el pico más alto de la Península, Mulhacén, de 3.481 m) y Las Alpujarras o Sierra de la Contraviesa, entre las alineaciones béticas. El conjunto de ellas hace de Granada una de las provincias españolas de mayor altitud media.

En cuanto a las depresiones situadas entre las anteriores, coincidentes con áreas de hundimiento más o menos reciente de los terrenos del substrato, rellenadas posteriormente, a modo de fosa, por sedimentos más jóvenes cabe destacar por su importancia la ya citada Depresión de Granada, la de Guadix (sólo afectada, marginalmente por el presente Estudio) y, como apéndices de la primera, el Valle de Lecrín y la pequeña depresión de Orjiva.

Por último, cabe añadir que los núcleos de Granada capital y Lanjarón, considerados, ambos, los objetivos fundamentales del presente estudio, se encuentran a una altitud de 685 m.s.n.m. y 659 m.s.n.m., respectivamente.

2.1.3.- Hidrografía

Aparte del Guadiana Menor, cuya cuenca afecta sólo muy parcialmente (Depresión de Guadix) a la Zona de estudio, la hidrografía se ordena en dos sistemas principales: a) el del Genil, y b) el penibético y mediterráneo representado esencialmente por el Guadalfeo.

El Genil es uno de los principales ríos andaluces. Nace al Norte del crestón rocoso que une el Veleta con el Mulhacén y, al atravesar la Vega Granadina recoge numerosos afluentes como el Darro, Cubillas y Cacín, antes de pasar por Loja y entrar en la provincia de Córdoba.

La vertiente meridional de Sierra Nevada tiene como río base el Guadalfeo, que recoge las aguas de los barrancos meridionales de Sierra Nevada, Mulhacén, Veleta, Lanjarón, etc. Ríos menores son el Verde, nacido en la Sierra de Almijara, el Torrox y el Benamargosa al Oeste. Estos ríos mediterráneos son responsables con sus aluviones, de las hoyas litorales de Motril y Almuñecar, Nerja, Torrox y Velez-Málaga.

El régimen de los ríos granadinos es esencialmente pluvial, con una clara influencia mediterránea. Predominan las aguas altas en primavera y otoño, siendo muy fuerte el estiaje durante los meses secos y calurosos del verano. En los cursos altos, dependientes de la Sierra, se aprecia una influencia nival, sobre todo en la cabecera del Genil.

La regularización hidrográfica ha afectado a casi todos los grandes cursos fluviales de la provincia. En la cuenca del Genil se destacan los embalses de Cubillas y Bermejales que afectan a los regadíos de la Vega de Granada-Loja. -

Otros embalses importantes, actualmente en construcción, son el de Canales en la parte alta del Genil y el del río Izbor, afluente del Guadalfeo.

2.1.4.- Clima

La característica principal del clima granadino es la diversidad. La variedad orográfica y altitudinal justifica, en parte, tales contrastes. Dentro de esta diversidad existe un predominio del clima mediterráneo, aunque en su variedad continental.

La provincia de Granada, como toda Andalucía, forma parte de la España seca. Por el Norte, aparece la isoyeta de 500 litros, mientras que por el mediodía, a lo largo de la costa mediterránea, se encuentra la de 350. Existen, sin embargo, algunas islas de humedad que coinciden con Sierra Nevada, donde las lluvias rebasan los 1.000 litros por encima de los 200 metros, y superan los 2.000 l. en las cumbres, aunque con predominio nival.

Los contrastes térmicos son muy intensos. La costa mediterránea es el dominio de la isoterma de 18º, la de mayor temperatura media anual de la Península. La divisoria con Jaén coincide con la isoterma de 10º. Por su parte, con la altitud, en Sierra Nevada, las temperaturas disminuyen hasta menos de 0º en la línea de cumbres. El contraste estacional es muy intenso, siendo la continentalidad una característica predominante en la provincia. La solana mediterránea ofrece los inviernos más suaves de la Península, en parte gracias a la protección de la Sierra. En cambio, los 4º - 6º de media en las depresiones interiores implican de tres a cinco meses de heladas y veranos con 25º - 26º de media y temperaturas máximas que rebasan los 40º.

El surco intrabético entre Loja y Huescar posee un clima que recuerda en líneas generales, al de la meseta meridional y puede calificarse de mediterráneo-continental. La costa del Sol granadina ofrece, en cambio, un clima templado-cálido de matiz subtropical, siendo la comarca más soleada de la Península, con inviernos muy suaves y veranos cálidos y secos.

2.1.5.- Población

En 1975 la cifra global de la población granadina era de 736.045 habitantes que, en relación a una superficie de 12.531 km² implican una densidad media de 58,7 hab. por km², inferior al promedio nacional (70,8).

Pero esta población se halla muy desigualmente distribuida. De hecho, la mayor parte del territorio provincial ofrece densidades muy inferiores a la media, de modo que sólo existen dos áreas de fuerte densidad en la Vega de Granada y en las Hoyas litorales de Motril, Almuñecar, Nerja y Velez Málaga, con valores por encima de los 100 hab. por km². Aparte, debe considerarse el nudo de comunicaciones de Guadix.

La población considerada como urbana, municipios por encima de los 10.000 hab. reúne el 46,5 por 100 de la población total, correspondiendo a Granada-capital el 55,8 por 100 (29,2 por 100 de la global), en tanto que la residente en los municipios inferiores a 2.000 hab. (área rural) sólo llega al 11,8 por 100, quedando para la población intermedia (municipios entre 2.000 y 10.000 hab.) el volumen restante, 41,6 por 100.

Como núcleos más importantes de población, dentro de la provincia de Granada y aparte de Granada-capital (262.182

hab.) cabe citar los siguientes, referidos a datos de 1981: Albolote (7.153 hab.), Albuñol (5.448 hab.), Alhama de Granada (5.839 hab.), Almuñecar (16.141 hab.), Armilla (10.485 hab.), Dúrcal (4.667 hab.), Las Gubias (4.866 hab.), Guadix (19.860 hab.), Huétor-Tájar (7.014 hab.), Huétor-Vega (4.447 hab.), Iznalloz (6.271 hab.), Motril (39.784 hab.), Orgiva (4.859 hab.), Pinos-Puente (12.238 hab.), Salobreña (8.119 hab.) y Santafé (10.852 hab.).

2.1.6.- Economía

La provincia de Granada es un ejemplo de subdesarrollo social y económico, como lo ponen de manifiesto las magnitudes de su producción, el predominio de las actividades agrarias y la hipertrofia del sector terciario o de servicios. De hecho, Granada es una de las últimas provincias españolas en ingresos por habitante.

2.1.6.1.- Agricultura y Ganadería

A finales de la década de los setenta, un total de 89.199 personas, más del 40 por 100 de la población activa, dependía de las actividades agrarias. Una parte importante de esa población está afectada tradicionalmente por el paro, tanto eventual como estacional. Si se tiene en cuenta, además, que se trata de una agricultura poco racionalizada y escasamente mecanizada, tal situación de crónico desempleo tiende a agravarse a medida que se produce una mejora de las condiciones técnicas de la agricultura. Por todo ello, el sector agrario granadino se caracteriza por una baja productividad y un limitado rendimiento respecto al promedio nacional.

La superficie agraria de Granada está dominada por el secano. Este se extiende sobre 493.498 hectáreas y significa el 42,16 por 100 del total productivo.

El regadío, con sólo 92.216 hectáreas, el 8,87 por 100 de la superficie agraria, es sin embargo el fundamento de la riqueza agraria granadina y su fuente básica de desarrollo. - Dos son las áreas fundamentales de regadío, cada una de las cuales ofrece caracteres muy distintos. Por un lado, aparecen las vegas interiores del Genil (40.000 hectáreas) y del Guadiana Menor (38.000 hectáreas) y, por otro, los regadíos - de la costa (16.500 hectáreas).

La ganadería no alcanza el nivel que cabría esperar de sus posibilidades naturales. El ganado lanar, con medio millón de cabezas, es el más numeroso, siguiéndole el cabrio, porcino y vacuno.

2.1.6.2.- Minería e Industria

Las actividades fabriles (minería e industria) ocupan solamente el 20 por 100 de la población activa pero proporcionan el 24 por 100 de la producción.

Las industrias más importantes son las relacionadas con la alimentación, los transformados metálicos, la confección y el calzado, y la producción química. La industria se encuentra concentrada en la capital o en sus cercanías. Un núcleo - secundario se localiza en Motril, careciendo de entidad hoy día los focos ya muy anticuados de Guadix y Baza.

La única actividad secundaria que alcanza significado nacional e incluso internacional es la minería que tiene unas excelentes bases naturales, los materiales de los complejos - metamórficos del borde de Sierra Nevada que concentra los principales yacimientos en explotación. La minería del hierro es la más importante, ocupando uno de los primeros lugares en producción de España, junto con Teruel y León. Se destacan los

grandes yacimientos del Marquesado del Zenete (Alquife), al pie septentrional de Sierra Nevada, cuya producción de unos 2,5 millones de toneladas se saca por Almería rumbo a Asturias y Vizcaya. Existen, además, minas de plomo, en la Sierra de Lújar (Baja Alpujarra), cobre, cinc y ocre rojo, mucho menos importantes, además de numerosas canteras de caliza, en sus diversas clases (mármoles o no), arcillas, etc., que abastecen a una importante actividad de materiales de construcción (ladrillos y tejas, pavimentos, prefabricados de hormigón, cemento natural y artificial, etc.).

El proceso fabril reciente tiene que superar importantes problemas. Uno de ellos es el energético que, por el momento, no tiene otra fuente que la hidráulica y tiene como base la explotación de las aguas de Sierra Nevada. La producción hidroeléctrica ofrece tres núcleos principales: a) la cabecera del Genil, aguas arriba de Granada; b) el río Poqueira en la Alta Alpujarra, y c) el complejo Dúrcal-Izbor, en el borde occidental de la Sierra. En total, 60.900 kW de potencia instalada, comercializada por dos grandes empresas, la Compañía Sevillana de Electricidad que controla, con la casi totalidad de la cuenca del Guadalquivir, casi toda la provincia, y la Hidroeléctrica del Chorro, que se extiende por la vertiente meridional mediterránea.

Los yacimientos de lignito de Arenas del Rey, cerca de Alhama, ofrecen ciertas posibilidades evaluadas en un estudio reciente, y que están por desarrollar.

2.2.- SINTESIS GEOLOGICA E HIDROGEOTERMICA

2.2.1.- Marco Geotectónico y Geotérmico Regional

Las Cordilleras Béticas constituyen un orogéno típicamente alpino levantado, en parte, al final del Eoceno Medio y,

en otra parte, durante el Mioceno inferior y medio, pero en el que la actividad tectónica de diverso signo ha continuado - siendo importante hasta tiempos muy recientes (Cuaternario) y ha estado, además, acompañada de manifestaciones eruptivas - (volcanismo) igualmente importantes y recientes.

La presencia frecuente de almacenes más o menos importantes, generalmente ubicados en rocas carbonatadas y a menudo situados a gran profundidad, unido a la profusa existencia de fallas verticales de gran longitud y penetración hace que la presencia de puntos con agua caliente sea relativamente abundante.

Así, se ha inventariado, por un lado, una serie de manantiales (y también algunos sondeos) con temperaturas anómalas, más o menos alineados según una franja de varios cientos de km de longitud ubicada, aproximadamente, sobre el contacto Zona Bética-s.str.-Zona Subbética y, por otro lado, otros muchos manantiales situados ya más al Sur y por tanto, plenamente dentro de la Zona Bética s.str.

El contacto Zona Bética s.str.-Zona Subbética o Contacto Límite (Jerez, F. 1979 y 1981), es un accidente dextrorso a nivel de zócalo, de plano vertical y gran longitud (varios cientos de km), deformado posteriormente por otros accidentes transversales y a menudo recubierto tectónicamente por retrocorrimientos más o menos superficiales de las coberteras mesozoico-terciarias pertenecientes al Subbético.

Al Norte del Contacto Límite existe un zócalo cratónico-paleozoico sobre el que se apoyan, insolidariamente despegados a nivel del Trías, el Subbético y el Prebético. Dicho zócalo es solidario con el resto de la Placa Ibérica de la que, simplemente, constituye su parte meridional.

Al Sur del Contacto Límite los terrenos del Paleozoico no han constituido, por el contrario, un zócalo rígido ante los esfuerzos alpinos sino que han respondido plegándose solidariamente junto con las coberteras mesozoicas a la vez que se desarrollaba un importante metamorfismo de tipo alpino.

Esta respuesta diferente del Paleozoico estaría en relación con la diferenciación de una Placa de Alborán, situada entre las grandes placas Ibérica (o Europea) y Africana.

La Placa de Alborán parece haber tenido, y continua teniendo, una beligerancia tectónica mucho más acusada que las otras dos grandes placas que la franquean. Dicha inestabilidad viene caracterizada principalmente por la mayor maleabilidad de la corteza como lo prueba el citado plegamiento alpino del Paleozoico, fenómenos de corrimientos prematuros (Eoceno medio) y menos prematuros (finiAquitaniense), importantísimo deslizamiento en el sentido de Este a Oeste, lo cual reafirma su independencia respecto a la Placa Ibérica (Zonas Externas), presencia de fenómenos de metamorfismo más o menos importantes, intrusión de peridotitas procedentes del Manto - en su extremo occidental y en un tiempo relativamente reciente (finiAquitaniense?) así como fenómenos de volcanismo (Mioceno-Plioceno-Cuaternario) en un área más oriental (Almería, Mazarrón, Cartagena), aparte de la actividad tectónica continuada que llega hasta nuestros días (plegamiento de fondo Pliocuaternario, levantamiento actual de la costa mediterránea, sismicidad histórica acusada, etc.). Todo ello está, a su vez, en relación con un adelgazamiento de la corteza sílica en la zona correspondiente a la Placa de Alborán tal y como se desprende de los datos geofísicos existentes.

2.2.2.- Sistemas Hidrogeotérmicos

A continuación se describe los materiales existentes y la estructura general que estos adoptan en la zona de estudio, haciendo hincapié en aquellos que, en principio, están relacionados con las manifestaciones termales de la región. Se comienza por los materiales más profundos y se sigue con los menos profundos, en general superpuestos a los anteriores, si bien no necesariamente encontrándose todos a la vez en una misma vertical.

De acuerdo con la hipótesis aquí adoptada sobre la estructura general de la zona de estudio, los sistemas hidrogeotérmicos del Bético s.str. alcanzan, salvo excepciones y considerados en conjunto, mayores cotas de profundidad que los de la Zona Subbética.

2.2.2.1.- Almacen techo y muro

NEVADO-FILABRIDE.- Constituye el sistema hidrogeotérmico estructuralmente más profundo de entre los pertenecientes al substrato Bético s.str. y también de la zona de estudio en general, por tanto también el de temperatura en profundidad más alta y, desde este punto de vista, el de mayor interés geotérmico en principio.

Los almacenes a investigar son los MARMOLES CIPOLINICOS del Trías medio-superior y los "MARMOLES CONGLOMERATICOS" (¿EOCENO?) PREMANTOS que constituyen el techo de una serie impermeable fundamentalmente esquistosa del Permotrías y Paleozoico que define, por tanto, el muro del sistema.

En el dominio Nevado-Filábride no existen depósitos más modernos que el Trías superior carbonatado (salvo los citados "MARMOLES CONGLOMERATICOS") por lo cual el techo impermeable del sis-

tema está constituido generalmente por las filitas (a las que podría añadirse, eventual, aunque más raramente, esquistos del Paleozoico) permotriásicas del Manto Alpujárride inferior.

ALPUJARRIDE.- Constituye tres sistemas hidrogeotérmicos - o bien, un sistema multicapa- distintos y, en principio, superpuestos (Manto inferior o de Lujar, Manto intermedio o del Trevenque y Manto superior o de los Güajares) si bien no necesariamente encontrándose todos a la vez en una misma vertical.

Los almacenes a investigar son las DOLOMIAS, CALIZAS y MARMOLES del Trías medio-superior que constituyen el techo de una serie impermeable fundamentalmente esquistosa del Paleozoico (que puede faltar en el caso del Manto inferior) generalmente (aunque no siempre -caso del Manto superior-) terminada hacia arriba por otra de filitas y cuarcitas del Permotriás. El conjunto de ambas series constituye el muro (o mejor, el muro y techo alternativamente, por tratarse de un sistema multicapa) impermeable del sistema.

En el dominio Alpujárride, al igual que en el Nevado-Filábride no existen practicamente depósitos más modernos que el Trías superior carbonatado, por lo cual el techo impermeable del sistema (o sistemas) viene definido, en el caso de las dos "capas" inferiores, por el Paleozoico-Permotriás impermeable de base de los dos mantos alpujárrides superiores; mientras que, en el caso de la "capa" superior, está constituido por el Paleozoico-Permotriás, asimismo impermeable, de base del Maláguide.

Excepcionalmente (en la medida en que los corrimientos póstomos finiaquitanienses que se observan en la transversal de Sa Harana, de las dolomías alpujárrides del Manto del Tre-

Trevenque sobre las Unidades afines al Maláguide, puedan eventualmente estar presentes también en la transversal de Granada, bajo los sedimentos neógenos), el techo impermeable de esas dolomias corridas (que constituirían en este caso, una cuarta "capa" más independiente de las anteriores) vendría de finido directamente por los sedimentos fundamentalmente impermeables que constituyen el relleno de la Depresión de Granada.

MALAGUIDE S.STR. Y UNIDADES AFINES (DORSAL Y PENIBETICO DE RONDA-TORCAL.- Constituyen, en conjunto, el sistema hidrogeotérmico estructuralmente más elevado de entre los pertenecientes al substrato Bético s.str., aunque estaría por debajo (al menos en su extremo septentrional) de los sistemas albergados en el Subbético s.l.

Los almacenes a investigar son las DOLOMIAS Y CALIZAS OOLITICAS Y MICRITICAS del Jurásico en general y, particularmente, los del Lias inferior, que constituyen el techo de una serie del Permotrias (arcillas rojas, etc.) y Paleozoico (Grauwacas, filitas, etc.) fundamentalmente impermeable en conjunto y que define, por tanto, el muro del sistema.

El techo impermeable del sistema viene señalado bien por las margas del Cretácico-Eoceno medio de la propia cobertura estratigráfica de este dominio (Maláguide s.str. y unidades afines) o bien (en el caso, posible, de la existencia de discordancias erosivas) directamente por las facies flyschoides (impermeables en su conjunto) del Eoceno superior/Aquitaniense de la "Zona Límite" o incluso más directamente aún por los terrenos neógenos de la Depresión de Granada.

SUBBETICO S.L.- Constituye el sistema hidrogeotérmico estructuralmente más elevado de la zona de estudio, a excepción del Tortoniense inferior (ver epigrafe siguiente); por tanto, también el de temperatura en profundidad más baja y, aunque desde este punto de vista pudiera tener un menor interés geotérmico en principio, ello vendría compensado por la gran extensión superficial de este sistema unido a una gran continuidad y sencillez de su estructura que contrasta con la gran complejidad estructural del resto de los sistemas.

Los almacenes a investigar son, fundamentalmente, las DOLOMIAS y CALIZAS OOLITICAS Y MICRITICAS del Lías inferior (aunque, en el caso de una parte del Subbético Meridional a priori podrían tener también interés el resto del Jurásico - que allí sigue siendo de naturaleza predominantemente caliza), que constituyen el techo de una serie impermeable de arcillas con yesos del Trías que define por tanto, el muro del sistema.

TORTONIENSE INFERIOR (TERRENOS DE FOSA O COBERTERA).- Constituye el sistema hidrogeotérmico estructuralmente más elevado de la zona de estudio en general y el único existente entre los terrenos del Neógeno de la Depresión de Granada.

Los almacenes a investigar son las CALCARENITAS BIOCLASTICAS, CONGLOMERADOS Y ARENAS del Tortoniense inferior que están situadas a techo de una serie impermeable de arcillas, arenas y limos con yeso y lentejones de lignito del Serravalliense.

El techo (hecho la salvedad del acuífero superficial - del Cuaternario aluvial de la Vega) del sistema está constituido por el resto de la serie neógena de edad Tortoniense superior-Plioceno, fundamentalmente impermeable (margas y limos con yesos con algunas intercalaciones de conglomerados arcillosos y/o calizas lacustres) que constituye la parte más im-

portante (por su enorme potencia, entre 1.000 y 2.500 m) de los Terrenos de Fosa o Cobertera que rellenan la Depresión de Granada.

2.2.2.2.- Estructura general

A grandes rasgos la estructura de la zona de estudio - se encuentra dividida, verticalmente, en dos partes bien diferenciadas: A) TERRENOS DEL SUBSTRATO y B) TERRENOS DE FOSA O COBERTERA. Estos últimos se encuentran depositados únicamente en ciertas áreas denominadas "Depresiones Interiores" (v. gr. Depresión de Granada) o "Cuencas intramontañas" mientras que los primeros se extienden por todo el área de estudio y se prolongan por debajo de las citadas depresiones quedando, - por tanto, recubiertos por los Terrenos Post-Mantos en general que constituyen el relleno de aquéllas.

Los TERRENOS DEL SUBSTRATO se reparten, fundamentalmente, a su vez, en dos zonas: ZONA SUBBÉTICA o SUBBÉTICO, al Norte y ZONA BÉTICA o BÉTICO s.str., al Sur. El contacto entre ambas zonas se denomina aquí CONTACTO LIMITE PRIMORDIAL (según JEREZ, F. 1979), entendiéndose por tal el contacto real entre las mismas a nivel profundo o semiprofundo (nivel del zócalo paleozoico en el Subbético y nivel del paraautóctono más profundo -Nevado Filábride- en el caso del Bético s.str.) que constituye un importantísimo accidente de desgarre dextrorso aproximadamente vertical, de más de 1.000 km de longitud (desde Cádiz a las Baleares) y varios cientos de km de desplazamiento relativo entre ambos bloques (Subbético y Bético s.str.) cuya traza es clara en el sector oriental de las Cordilleras Béticas y más difícilmente observable en los sectores central y occidental. Dicho Contacto Límite es distinto e independiente del contacto superficial, a nivel de coberteras, entre las dos zonas citadas, el cual se sitúa a menudo varios km al Sur del anterior (y, por consiguiente dentro de lo que ya consti-

tuiría, en profundidad, la Zona Bética s.str.) como consecuencia de los retrocabalgamientos generalizados del Subbético sobre el Bético s.str. operados a dicho nivel.

Los terrenos de la ZONA SUBBETICA se depositaron sobre el paleomargen (meridional) de la Placa Ibérica o Europea constituido por el zócalo cratónico de la Meseta. Los terrenos de la Zona Bética s.str. pertenecen a la Microplaca de Albará- o del Mediterráneo Occidental desplazada en una gran distancia y en el sentido de Este a Oeste, y dispuesta a modo de cuña entre las dos placas mayores Europea y Africana. La paleogeografía y la historia geológica de ambas zonas es muy distinta e independiente al menos hasta el final del Eoceno medio, momento en el que se ponen en contacto por primera vez - ambas zonas y se empiezan a depositar sobre las mismas (aunque muy principalmente sobre el Bético s.str. y sólo secundaria y localmente sobre la parte más meridional del Subbético) los denominados Flyschs silíceos terciarios de la "Zona Límite" (denominada así por situarse aproximadamente sobre el Contacto Límite y entrecomillada por no tener verdaderamente una existencia real, al tratarse de una "zona" superpuesta a las verdaderas Zonas Subbética y Bética s.str.) que vienen a sellar los grandes corrimientos fundamentales de edad fini-Eoceno - medio acaecidos dentro de la Zona Bética s.str. De lo anterior se desprende que la Zona Bética s.str. no puede seguir considerándose como constituyendo las "Zonas Internas" de las Cordilleras Béticas, por contraposición a las denominadas "Zonas Externas" (Subbética y Prebética), siendo así que las Cordilleras Béticas están constituidas en realidad por dos cadenas o cordilleras distintas, si bien ambas de edad alpina y no demasiado diferente orientación de sus estructuras mayores, - que se han aproximado y contactado lateralmente entre sí sobre todo a partir de un momento dado de la historia geológica

(principalmente al final del Eoceno medio) y luego han continuado paulatinamente (durante el Eoceno superior, Oligoceno, Aquitaniense y Burdigaliense-Langhiense) estrechando ese contacto e influenciándose mutuamente (provocando imbricaciones - hacia el Sur en las unidades afines al Maláguide, expulsiones del Subbético Meridional hacia el Norte y retrocabalgamientos del Subbético en general hacia el Sur, entre otras consecuencias) mediante los esfuerzos producidos en la zona de enfrentamiento (Contacto Límite Primordial).

La estructura de la ZONA BETICA S.STR. es pues, de grandes mantos de corrimiento superpuestos entre sí, y compuestos sólo de terrenos paleozoicos y triásicos (excepto el Maláguide y unidades afines donde hay, además, Jurásico, Cretácico y Eoceno inferior y medio), divididos en tres grandes conjuntos o complejos que son, de abajo a arriba, los siguientes: NEVA DO-FILABRIDE (autóctono o paraautóctono), ALPUJARRIDE y MALAGUIDE s.str. y UNIDADES AFINES al mismo (PENIBETICO DE RONDA -TORCAL y DORSALES, según nomenclatura clásica). El ALPUJARRIDE está dividido, a su vez, en diversos mantos que, correlacionados desde un punto de vista en principio puramente estructural, pueden agruparse en tres grandes mantos o niveles que de abajo a arriba son: MANTO INFERIOR o DE LUJAR, MANTO INTERMEDIO o DEL TREVENQUE y MANTO SUPERIOR o DE LOS GUAJARES - (conviene advertir que estos mantos pueden estar divididos más o menos localmente, a su vez en diversas láminas secundarias o de menor envergadura). En cuanto a las UNIDADES AFINES al Maláguide se las considera, al igual que al Maláguide s.str., autóctonas sobre el Alpujárride, es decir, de origen meridional respecto a este último y con una disposición paleogeográfica interna similar a la ocupada actualmente, es decir, Penibético de Ronda - Torcal, Dorsales y Maláguide s.str., enumeradas de Norte a Sur.

La estructura de la ZONA SUBBÉTICA, compuesta de terrenos que van desde el Trías al Burdigaliense inferior, tiene, en conjunto (a excepción del sector Occidental de la Cordillera) mucho más continuidad interna y simplicidad que la de la Zona Bética s.str. aunque en el Subbético estén presentes también ciertos fenómenos de aloctonía. Dentro de la Zona de estudio se distingue un dominio SUBBÉTICO S.STR. o SUBBÉTICO MEDIO que se caracteriza por facies de mayor profundidad en el Jurásico medio y superior (Subbético con Jurásico margoso) y un dominio PENISUBBÉTICO, SUBBÉTICO INTERNO o SUBBÉTICO MERIDIONAL diferenciado a menudo (aunque no siempre, de ahí que constituya un dominio mixto o de facies mixta con tránsitos laterales de una a otra) por su Jurásico más o menos uniformemente calizo (con carácter de umbral paleogeográfico, por tanto). La estructura del SUBBÉTICO MEDIO consta en general de pliegues simétricos más o menos suaves en la base de los cuales puede suponerse un cierto "despegue", a nivel del Trías, respecto del zócalo paleozoico, de modo que puede hablarse en este caso de una paraautoctonía o, a lo más, de una aloctonía moderada (exceptuando, como ya se advirtió, al sector Occidental de la Cordillera). En cambio, la estructura del SUBBÉTICO MERIDIONAL consta de una serie de unidades deslabazadas entre sí y deslizadas, a nivel del Trías, unas hacia el Norte (Sa Harana, Sa de Parapanda) sobre el Subbético Medio y otras hacia el Sur (Sa Gorda de Loja, Sa de las Cabras) sobre el Maláguide s.str. y/o las unidades afines a este último de modo que, en general, se trata de un dominio fundamental alóctono.

Formando parte de los Terrenos del Substrato, pero sin pertenecer a ninguna de las dos zonas (Subbética y Bética s.str.) anteriores (ya que dicha división pierde su sentido paleogeográfico al depositarse estos últimos) están los TERRENOS INTER-MANTOS SUBBÉTICOS, de edad Burdigaliense inferior y Burdigaliense superior - Langhiense, autóctonos en general

salvo en la Depresión del Guadalquivir) y denominados así por haberse depositado posteriormente a los primeros mantos subbéticos (de edad Burdigaliense inferior) y anteriormente a los últimos (a excepción de una parte del olistostroma de la parte occidental de la Depresión del Guadalquivir, cuyo desarrollo es más reciente) mantos subbéticos.

Por ultimo, están los TERRENOS POST-MANTOS SUBBETICOS o POSTMANTOS EN GENERAL, plenamente autóctonos, y depositados sólo en las denominadas Depresiones Interiores, cuya denominación aquí como TERRENOS DE FOSA O COBERTERA alude a su estructura de relleno de cuenca progresivamente subsidente y a su disposición como cobertera, a grosso modo impermeable, de los Terrenos del Substrato en los que se encuentran los almacenes geotérmicos de mayor interés.

2.3.- CONCLUSIONES HIDROGEOTERMICAS: ACUIFEROS Y TEMPERATURAS EN PROFUNDIDAD

Dado que los objetivos del presente estudio se limitan a una investigación de naturaleza esencialmente geológica aunque realizada "a vocación geotérmica" no se pretende desarrollar bajo el epigrafe de más arriba más que una deducción de temperaturas en profundidad basada en una simple extrapolación, a partir de la temperatura media anual en superficie y suponiendo un gradiente geotérmico normal (0,033º C/m) considerado constante, de la temperatura que cabría esperar en los distintos sistemas hidrogeotérmicos definidos anteriormente - (veáse 2.2.2.), según la distinta profundidad a que se encuentran los mismos, deducida en base a las hipótesis estructurales que les conciernen y que quedan debidamente reflejadas en la Memoria (2.2.2.2. y 3.) y Plano adjunto (Plano I).

Estas conclusiones se refieren fundamentalmente a un teórico sondeo geotérmico (ver Plano I) situado en Granada-capital (hay que tener en cuenta que aquí se estima un espesor de Mio-Plioceno de sólo 1.500 m, mientras que en las áreas de mayor subsidencia se calcula una potencia de 3.000 m para el Neógeno, por lo cual las temperaturas aún podrían ser mayores tratándose por tanto de un mínimo) pero podrían extenderse, - sin grandes variaciones, a la Depresión de Granada en general, Valle de Lecrín, área de Lanjaron-Orgiva-Río Guadalfeo y zona de Albuñol que constituyen las principales áreas de interés geotérmico en general.

Las temperaturas que cabría esperar en los distintos - sistemas hidrogeotérmicos a atravesar por dicho sondeo, serían pues, los siguientes:

- MARMOLES DEL NEVADO FILABRIDE: 150°C
- MARMOLES, DOLOMIAS Y CALIZAS DEL ALPUJARRIDE: desde 80°C (Manto superior) a 110-130°C (Manto inferior). con 95-100°C para el Manto intermedio.
- DOLOMIAS Y CALIZAS DEL MALAGUIDE S.STR. Y UNIDADES AFINES: 65°C
- DOLOMIAS Y CALIZAS DEL SUBBETICO (hecha la salvedad de que no estaría previsto atravesar estos terrenos a la altura de Granada-capital, aunque ello sí podría hacerse algo más al Norte -Sierra Elvira-): 65°C

Como contrapunto de esas estimaciones y utilizando datos de estudios anteriores (véase Bibliografía, 5.2.), se expone a continuación algunas de las temperaturas deducidas por termometría geoquímica (geotermómetro de SiO₂ conductivo) en muestras de agua de las principales manifestaciones termales de la zona de estudio.

- Baños de Lanjarón (Nevado-Filábride): 120-150°C
- Baños de Graena (Alpujárride y/o Nevado-Filábride): 88°C
- Albuñol (Alpujárride inferior): 50-70°C
- Baños de Alhama de Granada (Alpujárride intermedio): 88°C
- Baños de La Malá (Alpujárride intermedio): 82°C
- Urquizar Sur, Urquizar Norte y Bacamías (Alpujárride intermedio): 50-60°C
- Baños de Vilo (Unidades afines al Maláguide y/o Alpujárride superior): 60-70°C
- Sierra Elvira (Subbético): 70-90°C
- Baños de Alicún de las Torres (Subbético): 60-70°C

Como se deduce de lo anterior, la temperatura de los Baños de Lanjarón (120-150°C), deducida por termometría geoquímica está particularmente (y, quizás también, "significativamente") de acuerdo con la estimada simplemente a través de una vía de hipótesis geológico estructural (profundidad alcanzada por el almacén Nevado-Filábride en la Depresión de Granada). También hay una buena correspondencia entre las temperaturas de Baños de Alicún (60-70°C) y Baños de Alhama (88°C) con las estimadas por vía estructural para el Subbético y Alpujárride intermedio. La temperatura relativamente baja de los manantiales de Albuñol se explica porque en esa zona (Sur de Sierra Nevada) el sistema hidrogeotérmico del Alpujárride inferior se encuentra a sólo a moderada profundidad y sin cobertura impermeable en una parte apreciable del mismo.

2.4.- RECOMENDACIONES

Al final de un trabajo, las recomendaciones deben estar en función de lo ya hecho y de lo que queda por hacer, teniendo muy en cuenta las particularidades de la zona de estudio en cuanto a posibilidades de investigación y factibilidad de los métodos a emplear y, muy particularmente, el interés geotérmico de la zona basado en lo que ya se conoce. Las recomendaciones, en definitiva, irán en función de los nuevos objetivos a definir, a partir del nivel alcanzado en el estado actual del conocimiento de la zona.

Por eso, antes de expresar las recomendaciones concretas o puntuales conviene hacer algunas consideraciones.

Considerando aparte el área particularmente interesante de los alrededores de Lanjarón, las zonas donde, en principio, hay que esperar un mayor gradiente geotérmico debido, probablemente, a una mayor delgadez de la corteza siálica ocasionada por una etapa distensiva reciente, son las cuencas sedimentarias donde se depositaron los Terrenos Post-Mantos (v. gr.: Depresión de Granada, incluyendo el Valle de Lecrín). Si además, como ocurre de hecho en la zona de estudio, debajo de los terrenos post-mantos existe una serie de acuíferos a una profundidad más o menos grande de modo que aquellos constituyen, en general, la cobertera impermeable de estos últimos, dichas áreas o cuencas sedimentarias vienen a ser doblemente interesantes.

Pues bien, dado que los objetivos son los acuíferos profundos situados en las cuencas citadas y habida cuenta del estado de relleno o máximo recubrimiento que, por su propia naturaleza geológica, presenta ese tipo de zonas, así como una

vez extraída con suficiente dedicación la información geológica de superficie (principalmente a través de la realización de cortes estratigráficos, efectuados con un especial hincapié en la medida de buzamientos y potencias) o, eventualmente, la suministrada por columnas de sondeos, lo más idóneo, como paso siguiente, es la aplicación de métodos geofísicos adecuados a los fines que se persiguen.

El objetivo general de estos métodos debe ser fundamentalmente y por un lado, determinar la posición del techo del substrato (y a ser posible también su naturaleza y estructura interna, dos objetivos que hasta ahora han venido siendo por lo comun bastante difíciles de lograr en las Cordilleras Béticas en general y, principalmente, en la parte más interna de estas últimas) y, por otro lado, establecer las áreas con mayor gradiente de temperatura en profundidad.

Para el primer objetivo existe una variada gama de métodos geofísicos cuya elección conviene hacer esencialmente en base a dos aspectos: a) la fiabilidad de sus resultados o, lo que es igual, su mayor o menor adecuación a los objetivos a determinar, en su aplicación concreta a la zona de estudio; y b) el coste económico de los mismos, en relación con las mayores o menores posibilidades o previsiones de encontrar realmente el yacimiento geotérmico, la importancia del mismo y el interés en su explotación.

En cuanto a la fiabilidad de los resultados, en su aplicación concreta a la zona de estudio, los métodos a emplear serían, por orden de idoneidad, los siguientes:

- Sísmicos y concretamente sísmica de reflexión que daría una información bastante clara sobre la estructura interna de los terrenos post-mantos y también una visión muy aproximada de la posición del techo del substrato.

- Eléctrica, entre los que cabe destacar los sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) y el de medidas de autopotencial (potencial espontáneo). Los métodos eléctricos tienen la ventaja de que, además de aportar información estructural (aunque, eso sí, mucho más aleatoria que la que proporciona la sísmica) sirven para detectar zonas anormalmente calientes ya que éstas suelen coincidir con anomalías negativas de la resistividad.

Hay que aclarar que, dado que el techo del substrato se encuentra a menudo a profundidades bastante elevadas (entre 1.000 y 2.000 m por término medio, aunque en algunas zonas centrales de la Depresión de Granada se alcanzan los 3.000 m) es imprescindible que se emplee los denominados "sondeos profundos", es decir con una separación de AB del orden de 5.000 a 10.000 m. De hecho, se sabe por experiencia de otros estudios geotérmicos anteriores efectuados recientemente en zonas próximas y con un contexto hidrogeotérmico parecido (v.gr. Campo de Cartagena y Depresión de Almería), que los S.E.V. profundos han dado buenos resultados.

- Electromagnéticos, entre los que cabe destacar el magnetotelúrico ordinario de baja frecuencia y el magnetotelúrico de audiofrecuencias (A.M.T.), que tienen las mismas ventajas de los métodos eléctricos. El primero de ellos tiene, además, una mayor profundidad de penetración que los S.E.V. y más facilidad para utilizarse en el campo (no hay necesidad de tender líneas largas, entre otras facilidades) aparte de ser muy útil en estudios regionales en los que se intenta determinar la resistividad eléctrica en profundidad (2.000/3.000 metros) para diferenciar zonas fuertemente falladas y fracturadas, en las que existan fluidos geotérmicos en circulación, de las zonas impermeables próximas. No obstante lo anterior, parece ser que los resultados del magnetotelúrico

de baja frecuencia en ciertas áreas donde ha sido empleado últimamente (Tenerife, El Vallés, etc.) no han sido muy reveladores.

- Gravimétricos, los cuales solamente suministran información sobre la estructura (aunque se puede lograr una idea sobre las profundidades mediante la elaboración de modelos matemáticos) del basamento o substrato, pero si la malla es suficientemente estrecha se detectan bien las zonas de falla que separan áreas elevadas (horst) y hundidas (graben) de aquel, coincidiendo a menudo las anomalías positivas de la gravedad con sistemas geotérmicos instalados en dichas zonas elevadas.

En cuanto al aspecto económico, el coste de los métodos sísmicos citados sería muy superior al de los eléctricos y gravimétricos, siendo los eléctricos los de menor coste en general.

Para el segundo objetivo, es decir las medidas de gradiente, lo que se hace normalmente es, o bien utilizar sondeos o pozos ya existentes que, por sus características o estado actual (es decir, en el momento de la medida) permitan útilmente llevar a cabo dichas mediciones, o bien realizar una campaña propia de sondeos para ese exclusivo fin, en general - de pequeño diámetro y no mucha profundidad (entre 30-100 m) - ubicados según una malla más o menos estrecha de acuerdo con las dimensiones y objetivos dentro del área de interés. Resulta obvio añadir que esta segunda solución es bastante más cara que la primera, aunque es conveniente adelantar que esta última no es factible en la zona de estudio dada la no existencia de sondeos profundos y, sobre todo la no conveniente ubicación (sobre el acuífero del Cuaternario aluvial) de la mayoría de los mismos (la ubicación idónea sería sobre terrenos

impermeables, evitando, por tanto, la posibilidad de existencia de acuíferos más o menos superficiales con circulación de aguas frías).

Por otra parte, aunque los dos objetivos anteriores parezcan en principio diferentes, pueden coincidir y coinciden en realidad en bastantes casos y ello, por lo siguiente. De la experiencia que se tiene de estudios anteriores o paralelos a éste en otras zonas de investigación geotérmica se colige que, muy a menudo, coinciden las áreas de mayor gradiente geotérmico con aquellas donde el techo del substrato se encuentra más alto (y, generalmente, delimitado por fallas más o menos verticales y con salto importante a un lado y/o al otro), es decir más cerca de la superficie y, viceversa, el gradiente es menor en las zonas donde el substrato (los acuíferos profundos que hacen las veces de este último) está más profundo. Esto último ha sido comprobado claramente en la Cuenca de Mula (alineación de Baños de Mula-Archena) y en el Campo de Cartagena, donde se disponía de suficientes datos geofísicos para ello, y algo similar parece apuntar en los trabajos (actualmente con apoyo geofísico en profundidad) que se han llevado a cabo en la Depresión de Almería. De todos modos para que esta idea sea cierta deben existir acuíferos en el substrato (o, por encima, pero muy directamente conectados con él) y, en cualquier caso, parece ser más aplicable a las áreas centrales de las cuencas (donde se diferencian claramente "horst" y "graben") que en los bordes de las mismas donde, lógicamente, las partes elevadas del substrato tienen muchas más probabilidades de estar conectadas con los afloramientos del mismo donde, debido a la infiltración muy directa del agua de lluvia, las influencias de corrientes frías en la temperatura del almacén son bastante más probables. En definitiva, el hecho que se ha traído a colación en este párrafo, se fundamenta en la hipótesis de una interconexión, generalmente producida a tra-

vés de fallas, entre dos acuíferos (corrientemente se trata del mismo almacén, roto y desniveladas sus partes entre sí por efecto de la fractura y, otras veces, de distintos almacenes superpuestos) del substrato (a menudo también ocurre entre un acuífero del substrato y otro bastante más superficial perteneciente a la cobertera) situados a distinta profundidad; la circulación, seguramente por convección que se produciría en el plano o superficie de la falla, permitiría la mezcla de aguas de los dos acuíferos con el consiguiente transporte de calor desde el más profundo hasta el más superficial, el cual, gracias a este aporte de calor foráneo y "extra" impondría hacia arriba un flujo de calor y un gradiente superiores a los normales de la zona que le corresponderían por su relativamente pequeña profundidad.

Como se ve por lo anterior, y empleése el método que se emplee, el objetivo esencial sería, dada por descontado la presencia de acuíferos calientes en el substrato, determinar la posición del techo del mismo, aunque, a la vez como ya se ha dicho, el propio método de gradientes sirva también para poner de manifiesto esta última y, especialmente, las áreas de fallas y "horst" ya que en ellas podrá captarse a menor profundidad y, por tanto, con menor coste económico, acuíferos con temperaturas bastante superiores a las del entorno, para la misma profundidad.

Pasando, pues, al plano concreto de la zona de estudio, y teniendo en cuenta todos los aspectos ya comentados, cabe hacer las siguientes recomendaciones puntuales, según las distintas zonas y teniendo, por otra parte, bien presentes los objetivos principales de este estudio, según lo expresa el título del mismo: (1) emplazamiento de un sondeo de explotación de energía geotérmica en Granada-capital, y 2) prospección del entorno de Baños de Lanjarón).

En el área de Lanjarón:

- 1) Estudio geológico, incluyendo una cartografía detallada, a escala 1:25.000 o aún menor, de un entorno próximo a los Baños de Lanjarón con vistas a definir la ubicación idónea de un futuro o futuros sondeos profundos (500 - 1.000 m) de investigación o explotación.
- 2) Estudio de las mineralizaciones ligadas a fenómenos hidrotermales más o menos recientes en el área de Lanjarón y, en general, en toda la zona peri-Nevado-Filábride (principalmente las relacionadas con los mármoles triásicos y los "mármoles conglomeráticos" terciarios), en relación a investigar las temperaturas de formación de los minerales y posibles asociaciones geoquímicas ligadas a la circulación de fluidos calientes en profundidad.
- 3) Campaña de sondeos de pequeña profundidad (alrededor de 100 m) en las inmediaciones de Baños de Lanjarón con vistas a la realización de determinaciones físicas (temperatura, presión, medidas del volumen de posibles gases expulsados, etc.) y geoquímicas (composición de los gases, etc.) (existe el precedente -com. oral de D. Miguel Cuesta- de un sondeo de 127 m de profundidad realizado en Octubre-Noviembre 1982 por Aguas de Lanjarón, S.A. que dió lugar a una inesperada y espectacular explosión con salida de diversos materiales sólidos -piedras de hasta 15 kg de peso-, líquidos -agua ácida- y gaseosos -de 300×10^3 a 400×10^3 m³, según cálculos de D. Miguel Cuesta-, que llegaron a formar una columna de 80 m de altura, siendo la temperatura de la sonda de 50°C, antes de la explosión).

- 4) Nueva campaña de recogida de muestras de agua y gases de las manifestaciones superficiales actuales y estudio geológico de las mismas al objeto de integrar estos nuevos datos con los obtenidos en las realizaciones de los puntos 2) y 3).

En el área de Granada-capital:

- 1) Una malla regular de unos 50-100 S.E.V. de AB = 16.000 m, extendida principalmente por los alrededores Noreste y Norte (donde se espera profundidades del substrato más asequibles) y, secundariamente, por los alrededores Oeste y Sur (donde el relleno Mio-Plioceno se prevee más potente).
- 2) Campaña de gravimetría sobre las mismas áreas definidas en el punto anterior (alrededores de Granada capital).
- 3) Un sondeo de explotación de 1.500-2.000 m de profundidad, situado en principio al Noreste de Granada capital (en la línea que une la capital y Jun) pero cuya ubicación definitiva depende tanto de un estudio previo de mercado, como de la realización de los anteriores puntos 1) y 2).
- 4) Estudio de mercado (acabado de citar) previo al sondeo citado 3) para definir la demanda potencial existente, así como la mejor ubicación de acuerdo con la misma, de un sondeo de explotación de energía geotérmica para calefacción de viviendas en Granada-capital.
- 5) Estudios de mercado para aprovechamiento directo en invernaderos, calefacción de granjas, piscifactorias, etc. de las manifestaciones termales actualmente existentes (Sa Elvira, Alhama de Granada, La Malá).

Al margen de las Recomendaciones anteriores conviene - hacer aquí otras relativas a zonas de problemática similar situadas fundamentalmente fuera de la presente área de estudio pero cuya prospección geotérmica es muy recomendable tanto - por tratarse de regiones aún no cubiertas por trabajos geotérmicos de base suficientemente detallados como porque puede ya vislumbrarse, en base a todos los estudios anteriores (incluido el presente) realizados en las Cordilleras Béticas, que - ellas han de aportar, a la vez que la delimitación de nuevas áreas de gran interés geotérmico, una confirmación y mejor evaluación de la constancia e importancia regionales de ciertos sistemas hidrogeotérmicos (especialmente los albergados en los mármoles triásicos y en los "MARMOLAS CONGLOMERATICOS" -¿Eoceno?- premantos del techo del Complejo Nevado Filábride). Dichas zonas a investigar al menos al nivel del presente trabajo, serían concretamente las siguientes, por orden de prioridad.

- 1') Extremo oriental de la Sierra de Filabres, junto con las cuencas neógenas de Vera y Huerca-Overa.
- 2') Borde septentrional de las Sierras de Nevada y Filabres junto con las partes meridionales de las Cuencas de Guadix y Baza y el Valle del Almanzora.
- 3') Borde occidental de la Zona Bética s.str. (región entre los meridianos de Málaga y Algeciras, aproximadamente):
- 4') Región de Aguilas-Mazarrón y Campo de Cartagena.
- 5') Valle del Guadalentín y Vegas Media y Baja del Segura.
- 6') Depresión central de la Isla de Mallorca.

Las recomendaciones 1') a 5') van orientadas fundamentalmente en el sentido de "cerrar" o completar metodológica-

mente la investigación del tema o capítulo que podría denominarse como "sistemas hidrogeotérmicos albergados en los mármoles triásicos y mármoles conglomeráticos del techo del Complejo Nevado-Filábride" mediante el estudio monográfico y sistemático, de una misma problemática a lo largo de toda una Cordillera. Esta insistencia no es, por otra parte, gratuita, sino que, más bien al contrario, está basada en el convencimiento (apoyado por la experiencia acumulada en los estudios anteriores de la misma índole) de que, el "sistema hidrogeotérmico Nevado Filábride" es sin duda, el más interesante de todo el Sur de la península (Cordilleras Béticas en general), al menos desde el punto de vista del grado de temperaturas a alcanzar, y el único del que pueden esperarse ciertas posibilidades de media-alta entalpía. Y como, por otra parte, la idea que ha ido tomando cuerpo a través de todos los estudios anteriores incluido el presente, es la de que las razones profundas de la presencia de manifestaciones termales en las Cordilleras Béticas en general (y en el Nevado-Filábride en particular) son de índole regional y no local, y de que dichas manifestaciones son expresiones puntuales de grandes estructuras regionales, de ahí el interés de abordar y orientar las investigaciones dentro de la elaboración de un marco geológico-geotérmico suficientemente amplio y detallado a la vez (por medio de estudios sucesivos y parciales, concatenados entre sí) aunque siempre orientado en relación con las cuestiones fundamentales que atañen a la Geotermia.

3.- GEOLOGIA CON ENFOQUE HIDROGEOTERMICO

3.1.- DIVISION EN ZONAS Y DOMINIOS

Las Cordilleras Béticas se dividen en tres zonas, a saber: Prebética (incluyendo aquí la Cobertera Tabular de la Meseta que forma la orla más externa de la misma), Subbética y Bética s.str., ordenadas de Norte a Sur. Esta división que es, a la vez, paleogeográfica y estructural, afecta solamente a los terrenos depositados entre el Trías y el Aquitaniense-Burdigaliense inferior (Mioceno inferior) ambos incluidos, aunque, desde el punto de vista estructural, también participan de ella terrenos más antiguos (Paleozoico).

Según los autores existe, diferenciada o no, una cuarta zona denominada "Zona Límite" (Paquet, 1967), "Subzona Intermedia" (no independiente, sino superpuesta fundamentalmente sobre la Zona Bética s.str.; Jerez, F., 1979 y 1980-81) o "Circumbética" (Baena y Jerez, L., 1982), situada entre las erróneamente denominadas en la bibliografía al uso Zonas Internas (Bético s.str.) y Externas (Subbético y Prebético) propiamente dichas.

En el presente estudio se adopta, de entre los anteriores, el término "Zona Límite" pero no se le da al mismo el significado de zona nueva y distinta a situar entre las anteriores, sino el de "supra-zona" diferenciada solo desde el Eoceno superior al Aquitaniense y coincidente o superpuesta, a la vez, desde el punto de vista paleogeográfico, sobre el conjun-

to (previamente estructurado gracias a una importante fase tectónica del Eoceno medio) de los dos antiguos dominios Dorsal y Maláguide, pertenecientes al Bético s.str. Se evita de esta forma, a la vez que se explica (en el tiempo y en el espacio), la creación de una nueva Zona (ni interna, ni externa) dejando pues, a la "Zona Límite" fundamentalmente dentro de la Zona Bética s.str. (aunque en algunos casos -v.gr. transversal de Antequera- los materiales Eoceno superior-Aguitaniense de la "Zona Límite" se depositaron a la vez, sobre la parte más meridional de la Zona Subbética, sellando el primitivo "Contacto Límite" -veáse a continuación-) y, definiendo un "Contacto Límite" en profundidad (a menudo no coincidente con el "contacto límite aparente", en superficie), entre esta última y las zonas Subbética y Prebética que, en la parte oriental de las Cordilleras Béticas (donde mejor se observa su traza en superficie), está definido por el Accidente de Bullas-Crevillente. Todas estas consideraciones forman parte de una interpretación global (Jerez, F., 1979 y 80-81, con diversas matizaciones posteriores sin publicar) que afecta a la estructura geotectónica regional y que tiene, a su vez, bastante trascendencia en el campo de las posibilidades geotérmicas de las Cordilleras Béticas en general y del dominio Dorsal-Maláguide en particular.

Dentro de la Zona Bética s.str. en general, existen tres conjuntos tectónicos estructuralmente superpuestos, a saber: Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide y unidades afines, enumerados de abajo a arriba. Dichos conjuntos se corresponden con otros tantos dominios paleogeográficos. Comunmente se admite que las superficies que separan entre sí a dichos conjuntos son de tipo manto de corrimiento. El conjunto más inferior (Nevado-Filábride) constituye el autóctono relativo del Alpujárride y este último, el autóctono relativo del Maláguide. Aunque aún existen algunas incógnitas sobre el

sentido de traslación de los mantos (actualmente hay bastantes datos locales acumulados, pero falta todavía una síntesis global) cuyas interrogantes pueden trasladarse al problema - del origen paleogeográfico de los mismos, actualmente se tien de hacia una convergencia entre un número cada vez mayor de autores sobre el origen meridional de los mismos. Esta es tam bién la posición adoptada en el presente Informe si bien sólo en sus aspectos más generales ya que hay una serie de cuestio nes (especialmente las referentes a la paleogeografía y estruc tura de la "Zona Límite" así como al emparentamiento paleogeográfico de determinadas unidades -"Unidades afines al Maláguide"- con el Maláguide s.str.) para las que se expresa aquí puntos de vista particulares.

A partir del Mioceno medio-superior, una vez terminada la estructuración fundamental de las Cordilleras Béticas, se desarrolló dentro del marco de las mismas un importante proce so dinámico de distensión que dió lugar a una serie de cuen cas intramontañosas, de carácter marino y más o menos conec tadas entre sí, denominadas Depresiones Interiores (Granada, Guadix-Baza, Murcia, Almería, etc.), donde se depositaron los llamados Terrenos Post-Mantos (Mioceno superior, Plioceno y Cuaternario, fundamentalmente) a las que hay que añadir la De presión del Guadalquivir de carácter singular por su mayor ex tensión y mejor comunicación, en el tiempo y en el espacio, - con el mar abierto (Oceano Atlántico).

Por último, una característica fundamental de la Zona Bética s.str. (a excepción del dominio del Maláguide y unida des afines) es la ausencia prácticamente generalizada de depó sitos de edad situada entre el Trías superior y el Mioceno - inferior-medio (Burdigaliense-Langhiense), dejando aparte el ca so de los "mármoles conglomeráticos" pre-mantos (ver 3.2.1.1.2. y 3.2.3.2.), depositados exclusivamente en el dominio Nevado-Filábride y de edad probablemente eocena.

3.2.- ESTRATIGRAFIA

En la descripción que sigue los distintos terrenos serán expuestos según un orden cronoestratigráfico, de más antiguo a más moderno. No obstante, aquellos serán agrupados de acuerdo con criterios tectónicos y/o paleogeográficos. A su vez, se dará a la descripción de los mismos más o menos énfasis según su mayor o menor interés geotérmico.

Los distintos terrenos se agrupan en dos conjuntos cuya litología, historia geológica y disposición estructural son muy diferentes, a saber: TERRENOS DEL SUBSTRATO Y TERRENOS DE FOSA O COBERTERA.

En los primeros se incluye los depositados desde el Precámbrico-Paleozoico hasta el Burdigaliense superior-Langhiense (Mioceno inferior-medio) incluido. Los segundos son los que se depositaron desde el Langhiense superior-Serravaliense (Mioceno medio) hasta el Cuaternario incluido.

Los Terrenos del Substrato afloran principalmente en las sierras que rodean a las citadas Depresiones interiores encontrándose también por debajo de los Terrenos de Fosa o Cobertera que constituyen el relleno de estas últimas.

El estudio y división de los Terrenos del Substrato es obligado hacerlo por ZONAS (Bética s.str., Subbética, "Límite"), ya que la historia geológica de cada una de estas es muy diferente y hasta cierta edad (final del Eoceno medio) totalmente independiente. Constituyen una excepción los denominados TERRENOS INTER-MANTOS SUBBETICOS (Burdigaliense inferior y, principalmente, Burdigaliense superior-Langhiense) que se depositaron con características muy similares indistintamente sobre las zonas Bética s.str. y Subbética.

Así, la Zona Subbética, perteneciente a la Placa Europea, está constituida por los TERRENOS PRE-MANTOS SUBBETICOS depositados desde el Trías hasta el Burdigaliense inferior, ambos incluidos.

En la "Zona Límite" se depositaron los TERRENOS POSTMANTOS BETICOS (A) entre el Eoceno Superior y el Aquitaniense ambos incluidos.

En la Zona Bética o Bético s.str. perteneciente a la Microplaca de Alborán se tiene, por un lado, los TERRENOS POSTMANTOS BETICOS (B) no pertenecientes propiamente al Substrato, de edad Cuaternario, autóctonos y depositados exclusivamente en los bordes del dominio Nevado-Filábride (área periNevado-Filábride); y, por otro lado, los TERRENOS PRE-MANTOS BETICOS formados por diversos mantos de corrimiento y complejos tectónicos superpuestos (Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide y unidades afines) cuyos materiales son de edad Paleozoico-Trías, a excepción del último que incluye depósitos hasta el Eoceno medio y de los "mármoles conglomeráticos" pre-mantos (Eoceno?) pertenecientes exclusivamente al dominio Nevado-Filábride (ver 3.2.1.1.2. y 3.2.3.2.)

3.2.1.- Terrenos Pre-Mantos Béticos s.str.

Son los terrenos de la Zona Bética s.str. depositados anteriormente a la etapa de corrimiento que dió lugar a la estructuración de la misma en tres grandes complejos tectónicos: Nevado-Filábride, Alpujárride, y Maláguide s.str. y unidades afines.

Estos materiales se distribuyen en tres dominios paleogeográficos diferentes, que, enumerados de Norte a Sur, se corresponden, en el mismo orden expuesto más arriba, con los complejos tectónicos acabados de citar.

La edad de los depósitos va desde el Paleozoico hasta el Trías para los dos primeros dominios y, desde el Paleozoico al Eoceno medio, para el último salvo en el caso de los " mármoles conglomeráticos" pre-mantos (Eoceno?) del Nevado-Filábride.

3.2.1.1.- Dominio Nevado-Filábride

Es el dominio situado en posición estructural más inferior dentro de la Zona Bética s.str. en general. Teniendo en cuenta que por debajo de él no aflora ningún otro dominio y dado su enorme potencia, puede considerarse, a efectos prácticos y en conjunto, como autóctono o paraautóctono. De hecho, constituye el autóctono relativo del conjunto Alpujárride.

Los afloramientos del Nevado-Filábride dentro de la Zona de estudio están localizados exclusivamente en Sierra Nevada.

De forma general y de muro a techo se distingue, dentro del Nevado-Filábride, dos series o tramos diferenciables por su composición litológica y/o por su grado de metamorfismo, que son la Serie de Sierra Nevada o Tramo basal y la Serie de Sabinas-Mulhacén o Tramo terminal.

Estos dos tramos se corresponden, respectivamente, con el Manto del Veleta y el Manto del Mulhacén diferenciados por los autores de la escuela de Granada dentro del Complejo de Sierra Nevada. Por el contrario, para los investigadores holandeses de la escuela de Amsterdam el contacto entre ambos conjuntos es sedimentario. Sin pretender que ello sea una cuestión totalmente resuelta en uno u otro sentido, las observaciones al respecto realizadas durante el desarrollo del presente trabajo han conducido a presentar el mismo alineado formalmente (en la expresión cartográfica, columnas y cortes geológicos) con la tesis holandesa.

3.2.1.1.1.- Serie del Veleta o Tramo basal (Paleozoico -
- ¿Permotrías? -)

Es una serie bastante monótona de Micasquistos negros grafitosos con feldespato, cloritoide y biotita. La potencia es de 3.000 - 5.000 m como mínimo.

Hacia la parte superior se desarrolla una alternancia de Cuarcitas feldespáticas y Micasquistos feldespáticos de unos 200 m de espesor.

Las Anfibolitas y Serpentinitas son poco abundantes en esta unidad.

La edad del conjunto es fundamentalmente Paleozoico pudiendo incluir por abajo al Precámbrico y, en el extremo superior, al Permotrías.

3.2.1.1.2.- Serie de Sabinas-Mulhacén o Tramo terminal
(¿Paleozoico?-Permotrías-Trías medio superior y Eoceno?)

Se engloba aquí con este nombre los materiales pertenecientes tanto a la Unidad de las Sabinas (en posición superior) como a la Unidad de la Caldera (definida cerca del Mulhacén, en posición inferior) diferenciadas por Puga (1971) y Diaz de Federico y Puga (1974) de la Universidad de Granada, ya que desde el punto de vista adoptado aquí se considera al conjunto de ambas unidades como una sucesión estratigráfica lineal, al menos a escala regional y sin negar por ello la presencia de frecuentes fenómenos de cizallamiento tangencial más o menos locales.

Inferiormente, la serie consta de Micasquistos de color verde claro con cloritoide y Micasquistos dorados, ambos con grandes granates e intercalaciones muy variables (discontinuas, a modo de lentejones) aunque generalmente de pequeño espesor (2 m máximo) de mármoles cipolínicos.

A techo se tiene un nivel continuo (aunque a veces no aflora por ocultamiento tectónico bajo las filitas alpujárrides) y potente (25 m por término medio) de mármoles cipolínicos. Debajo de estos hay gneises intercalados con niveles cada vez más delgados de mármoles cipolínicos de modo que los primeros predominan progresivamente hacia abajo.

Las Serpentinatas y Anfibolitas son abundantes, especialmente en la parte inferior-media. A menudo afloran inmediatamente por debajo de los niveles carbonatados aunque en general constituyen lentejones discontinuos y, además los contactos con las rocas de origen sedimentario suelen ser discordantes (intrusivos).

Mención aparte merecen ciertos niveles característicos que fueron descritos por PUGA (1971) como una Formación de "Mármoles Conglomeráticos" y Metacineritas para la cual se postula (Díaz de Federico y Puga, 1974 en adelante) un origen y significado geotectónico en relación con una posible subducción intraNevado-Filábride.

Las Metacineritas son rocas compactas de grano fino o muy fino que a menudo presentan unas amígdalas aplanadas o lechos discontinuos poco potentes y de color negro que resultan ser turmalinas.

Los "Mármoles Conglomeráticos" deberían denominarse "mármoles brechoides" por el carácter generalmente anguloso -

de los cantos. Pero aún más acertadamente se trata en realidad de brechas, en nuestra opinión de origen claramente sedimentario, compuestas de una matriz carbonatada amarillenta (por impregnación de óxidos de Fe) con cantos de naturaleza varia: mármoles, micasquistos, cuarcita y gran abundancia de cantillos de metacinerita, situadas discordantemente a techo de la serie del Mulhacén y anteriores al corrimiento del Alpujárride sobre el Nevado-Filábride (*)

3.2.1.2.- Dominio Alpujárride

Es el dominio situado en posición estructural intermedia dentro de la Zona Bética s. str. en general, estando corrido - sobre el Nevado-Filábride y constituyendo el autóctono relativo del Maláguide s. str. y unidades afines.

Los afloramientos del Alpujárride se localizan al Norte, Sur y Oeste de Sierra Nevada, bordeando las partes oriental y meridional de la Depresión de Granada.

El Alpujárride se presenta estructurado en diversos mantos de corrimiento de orden mayor así como en otra serie de láminas tectónicas o mantos de menor envergadura transversal Y/o vertical que podrían considerarse como diverticulaciones menores de los anteriores. A efectos prácticos y con sentido fundamentalmente geométrico-estructural (aspecto que se destaca como el mas interesante en la definición de los límites de los sistemas hidrogeológicos e hidrogeotérmicos) se han agrupado, modo de síntesis lateral y vertical del Alpujárride de la zona a objeto de estudio, dichos mantos y láminas menores, en tres niveles fundamentales: 1) Manto inferior o de Lújar, 2), Manto Intermedio o del Trevenque, y 3) Manto superior o de los Guajares.

(*) Estos "mármoles conglomeráticos" no han sido diferenciados en cartografía, debido a lo reducido (por erosión) de sus afloramientos. En cambio si se han distinguido otros "mármoles conglomeráticos", post-mantos, muy similares a los anteriores y mejor representados, de edad Cuaternario, (ver 3.2.3.2.)

Lógicamente y dado que aquí se postula una clara procedencia meridional (vergencias hacia el Norte y Noreste) de todos estos mantos, de la estructura anterior se deduce una división paleogeográfica, en el sentido de Norte a Sur, en Alpujárride septentrional (Lújar), Alpujárride Medio (Trevenque) y Alpujárride Meridional (Guajares).

3.2.1.2.1.- Alpujárride septentrional o Manto de Lújar

Aflora, dentro de la zona de estudio, prácticamente sólo al Sur y Noroeste de Sierra Nevada siendo difícil la correlación del manto entre estas dos áreas debido al recubrimiento tectónico del mismo existente entre ellas, al Oeste de Sierra Nevada.

Bajo esta única denominación se engloba no sólo el Manto de Lújar propiamente dicho sino una pequeña parte (sector de Durcal-Lanjarón) del Manto de Castaras (según cartografía MAGNA) y a los Mantos de las Víboras y del Zujerio.

Esta unidad no parece comportar materiales del Paleozoico, a juzgar por los afloramientos, si bien éste podría encontrarse en profundidad en las partes más meridionales (hacia las raíces) del manto.

3.2.1.2.1.1.- Permotrías

El permotrías está compuesto de Filitas de color azul y púrpura y Cuarzitas.

La potencia visible del Permotrías se estima en 200 - 300 m si bien se ha de tener en cuenta que no aflora la base y que esta última (en el caso de que el manto no comporte materiales del Paleozoico) consiste en una superficie de corrimiento.

3.2.1.2.1.2.- Trías medio - superior

El Trías medio-superior está constituido por Dolomías oscuras y Calizas predominantes con intercalaciones de Margocalizas, Argilitas, Calcoesquistos y Filitas.

La potencia del Trías medio-superior carbonatado es de 1.000 m o incluso mayor si bien el Tramo más permeable (constituido fundamentalmente por dolomías oscuras de la parte central de la serie) alcanza sólo unos 600 m.

3.2.1.2.2.- Alpujárride medio o Manto del Trevenque

Es el manto mejor representado en la zona de estudio. Aflora en todo el alrededor de Sierra Nevada y especialmente a lo largo de todo el borde meridional de la Depresión de Granada en la zona situada entre esta última y el mar.

Esta unidad, al contrario que la anterior, comporta - abundantes materiales del Paleozoico, si bien el Trías carbonatado está, asimismo, extensamente representado. Es interesante destacar al respecto que el Paleozoico-Permotrías presenta bastante mayor desarrollo vertical al Sur (lógico, si se considera que en ese sentido se encuentran las raíces de los mantos) y que, por otro lado, los afloramientos del Trías carbonatado se concentran fundamentalmente al Norte (bordes meridional y oriental de la Depresión de Granada).

Bajo esta denominación se engloba (siguiendo la división de la cartografía MAGNA) no sólo al Manto del Trevenque -ppd. sino al gran Manto de Murtas-Felix (en Almería), a los mantos menores (por su desarrollo vertical u horizontal) de Alcazar y Cástaras (en realidad este último manto no existe

ni siquiera como tal, es decir no tiene enraizamiento hacia el Sur, sino que se trata más bien de diverticulaciones de menor envergadura en el frente de los mantos de Alcazar y/o Felix (donde estos últimos se cabalgan a sí mismos), a las diversas unidades del Manto de La Herradura, y, excepcionalmente a alguna unidad septentrional del Manto de Salobreña. Respecto al Manto de Alcazar si bien es verdad que éste constituye una lámina de extensión considerable, su potencia se reduce bastante hacia el Sureste (no comporta prácticamente Paleozoico y a menudo sólo están representadas las filitas permotriásicas faltando los materiales carbonatados del Trías) hasta el punto de llegar incluso a desaparecer (ventanas de Albuñol y área de Berja, donde el Manto de Murtas llega a ponerse en contacto directo con el de Lújar) por lo cual se ha englobado junto con el superior Manto de Murtas.

3.2.1.2.2.1.- Paleozoico y Permotriás

El Paleozoico comporta materiales relativamente variables tanto en litología como en grado de metamorfismo según el manto local o submanto de que se trate y también según la posición en la vertical de la serie, de modo que sólo se dirá, de forma general, que está formado por diversos tipos de esquistos (esquistos con estaurolita y cianita, esquistos con biotita, epidota y plagioclasa, etc.) y por cuarcitas.

El Permotriás consta principalmente de filitas y cuarcitas.

La potencia del conjunto Paleozoico-Permotriás es muy variable dado que la base es un contacto de corrimiento. De todos modos, como ya se afirmó, la potencia del Paleozoico aumenta hacia el Sur pudiendo alcanzar varios centenares de metros

(más de 500) mientras la del Permotriás que se estima al Sur en 200-300 m puede quedar reducida tectónicamente en las áreas más septentrionales a 50 m o menos (allí donde el Paleozoico está totalmente ausente también por laminación tectónica).

3.2.1.2.2.2.- Triás medio-superior

El Triásico medio superior aunque más o menos homogéneamente carbonatado es, al igual que el conjunto Paleozoico-Permotriás, relativamente variable dependiendo del manto local o submanto de que se trate. No obstante y, en general, - puede decirse que está constituido por Dolomías, Mármoles Dolomíticos, Mármoles con intercalaciones esquistas y Calizas.

La potencia del Triásico medio-superior carbonatado es de 1.000 - 1.500 m (más de 1.500 m en los mármoles de Sa Tejeda) aunque en algunas áreas puede ser bastante menor debido a laminaciones tectónicas o por erosión.

3.2.1.2.3.- Alpujárride meridional o Manto de los Guajares

Este manto está sólo bien representado en la parte más meridional de la zona de estudio, deslabazándose (probablemente por efecto de la erosión) hacia el Norte en pequeños isleos tectónicos, aunque es bastante probable que se encuentre bien conservado bajo el relleno Neógeno de la parte meridional de la Depresión de Granada.

Bajo esta denominación se encuadra (ateniéndose a la división de la cartografía MAGNA) no sólo al Manto de los Guajares ppd. sino también a la mayor parte del Manto de Salobreña (salvo algunas pequeñas unidades septentrionales de este último) y asimismo a la Unidad de Benamocarra.

Esta unidad comporta fundamentalmente materiales del Paleozoico-Permotrías y, en menor proporción, del Trias carbonatado si bien este último es probable que se encuentre mejor conservado bajo el Neógeno de la Depresión de Granada.

3.2.1.2.3.1.- Paleozoico-Permotrías

El Paleozoico-Permotrías presenta materiales relativamente variados según su posición estratigráfica en la vertical de la serie predominando en general los esquistos con biotita, Cuarzitas, Esquistos negros grafitosos con sillimanita, estaurolita y andalucita y Gneises migmatíticos y Migmatitas.

La potencia del conjunto es variable ya que la base es una superficie de corrimiento aunque en general puede estimarse una potencia máxima (varios cientos de metros) al Sur, y una bastante más reducida (inferior a 200 m) al Norte.

3.2.1.2.3.2.- Trias medio-superior

Está constituido fundamentalmente por mármoles con biotita y mármoles con tremolita.

La potencia del Triásico carbonatado, aunque difícil de estimar debido a los repliegues existentes, se calcula en unos 1.000 m.

3.2.1.3.- Dominio del Maláguide s.str. y Unidades afines

Se engloba aquí como formando parte de un mismo conjunto tectónico-paleogeográfico al Maláguide s.str. y a ciertas Unidades afines al mismo entendiendo por tales los diferentes términos de la Dorsal (en la bibliografía clásica sobre las Béticas) e incluyendo también el Penibético de Ronda-Torcal.

En esta hipótesis pues, se considera que el Paleozoico del Maláguide s.str. se extiende, sin solución de continuidad en sentido amplio, por debajo de la Dorsal en general y del Penibético de Ronda-Torcal, y que todo este conjunto del cual se excluyen los términos depositados a partir del Eoceno superior (cuya posición paleogeográfica primitiva no difiere globalmente en mucho de su posición tectónica actual) es alóctono en mayor grado y proviene de un área paleogeográfica situada al Sur del Alpujárride. Considerado así, por tanto, el dominio del Maláguide s. str. y Unidades afines podría referirse, en lo que sigue, como Maláguide s.l.

Así pues, el Maláguide s.l. es el dominio situado en posición estructural más elevada dentro de la Zona Bética s.str.

Los afloramientos del Maláguide s.l., dentro de la zona de estudio, se localizan exclusivamente en la parte occidental de la misma y al Sur de Sierra Harana.

3.2.1.3.1.- Precámbrico-Paleozoico, Permotrias y Trias medio-superior

El Precámbrico-Paleozoico aflora con relativa amplitud en la parte suroccidental (Montes de Málaga) de la zona de estudio y, en menor proporción, al Sur de Sa Harana.

El Paleozoico está representado por una amplia y relativamente variada columna en la que se encuentran bien dados materiales desde el Carbonífero al Silúrico pudiendo estar presentes materiales paleozoicos más bajos e incluso el Precámbrico.

De abajo a arriba, la serie comienza por 500 m de Filitas de colores variados de edad probablemente infra-silúrico

Así, en el Maláguide s.str. cuyos afloramientos de Jurásico son escasos, pequeños y muy dispersos debido a la erosión, sobre un Lías inferior dolomítico (que es inseparable - cartográficamente de la parte superior del Trías) se presenta una serie de hasta 100 m de potencia que consta de Calizas masivas, oolíticas y brechoides atribuible al Lías medio-Dogger.

El Jurásico de la Dorsal se compone de Dolomías brechoides, Calizas blancas masivas y Calizas con sílex, en la Unidad de Robledo situada en la zona de Colmenar. En la Unidad de la Mora (Sur de Sa Harana) se trata de 500 m de Dolomías, seguidas de 250 m de Calizas esparíticas y micríticas blancas y de 40 m de calizas con sílex. En la Unidad del Despeñadero (al N de la anterior) son 200 m de Dolomías a los que siguen 130 m de calizas blancas y unas Calizas con sílex e intercalaciones margosas sin sobrepasar el Toarciense. En la Unidad de Cañamaya (al N de la anterior) sobre 200 m de Dolomías (Trías superior - Lías basal) vienen Calizas nodulosas y con sílex, Margocalizas y Calizas margosas y nuevamente Calizas con sílex, con una potencia de 30-40 m en conjunto y sin sobrepasar el Toarciense.

En el Penibético de Ronda-Torcal (subdominio que se acuñaría paleogeográficamente hacia el Este de modo que no estaría presente y diferenciado como tal bajo la Depresión de Granada, según la concepción explícita en la síntesis aquí expuesta), el Jurásico se compone de 250 m de Dolomías (Lías), seguidos de 300 m de Calizas oolítico-pisolíticas (Dogger), - 15-30 m de Calizas nodulosas (Malm) y Calizas con pequeños ammonites (Malm).

3.1.2.3.3.- Cretácico-Eoceno medio

El Cretácico-Eoceno Medio del Maláguide s.str. apenas

está representado en la zona objeto de estudio.

En la Dorsal y Penibético de Ronda-Torcal el Cretácico -Eoceno medio tiene una mejor representación aunque, de hecho, no se ha diferenciado en la cartografía (generalmente se ha incluido con el Jurásico que es predominante) debido a lo reducido de sus afloramientos dentro de la zona de estudio.

El Cretácico-Eoceno medio de la Dorsal (que podría estar relativamente mejor conservado bajo el Neógeno de la Depresión de Granada) se compone de 60 m de Calizas margosas blancas (Neocomiense), varias decenas de metros de Margas y Calizas margosas de color rojo-salmón (Senoniense) y Margas amarillentas (Eoceno inferior-medio).

El Cretácico-Eoceno medio del Penibético de Ronda - Torcal está formado por Calizas margosas y Margas rojo-salmón - que abarcan todo el Cretácico superior-Eoceno Medio (el Cretácico inferior falta generalmente por laguna estratigráfica o erosión submarina posterior al depósito).

3.2.2.- Terrenos Pre-Mantos Subbéticos

Son los terrenos de la zona Subbética anteriores al final del Aquitaniense o principios del Burdigaliense inferior que es la edad de la primera etapa de traslaciones importantes en el Subbético realmente probadas (los "mantos intracretáceos" de algunos autores -v.gr. Garcia Dueñas, 1967- pueden asignarse, coherentemente con el resto de la tectónica regional, a dicha etapa miocena mientras no haya argumentos en contrario).

3.2.2.1.- Dominio Subbético Medio

Es el dominio paleogeográficamente más septentrional de todos los presentes en la zona de estudio.

Los afloramientos de este dominio se localizan exclusivamente en la parte septentrional y nor-occidental del área de estudio.

3.2.2.1.1.- Trías

Aflora fundamentalmente entre Loja y Antequera en forma de ancha banda continua, en Moraleda de Zafayona y, mínimamente, en Sierra Elvira y al Sur del Mencal.

Se compone generalmente de una masa más o menos caótica en la que abundan las margas, areniscas y yesos junto con carniolas. Muy dispersos pueden encontrarse fragmentos de rocas verdes (ofitas).

3.2.2.1.2.- Lías inferior

El Lías inferior-medio se compone de 150 m de dolomías brechoides seguidas de unos 200 m de calizas blancas a menudo oolíticas.

3.2.2.1.3.- Resto del Jurásico, Cretácico, Paleógeno y Mioceno inferior

El Lías superior, Dogger y Malm son relativamente variables de unos puntos a otros, tanto en facies como en potencia. En general puede decirse que el Lías superior se compone de Calizas, Margocalizas y Margas de unos 100 m de potencia. El Dogger se compone de Margocalizas con filamentos, Ra

diolaritas y Calizas con sílex en un tramo de hasta 200 m de potencia y otro tramo de Margas y Radiolaritas rojas y verdes de potencia muy variable (20-150 m). El Malm suele presentar Calizas con sílex, calizas blancas y, localmente, Calizas nodulosas, con una potencia conjunta de unos 100 m.

El Neocomiense está constituido por unos 200 m de Margocalizas y Margas blancas. En el resto del Cretácico inferior y parte del Cretácico superior predominan las Margas verdes y rojas que en determinadas zonas (v.gr.: al Sur del Men-cal) engloban brechas calcáreas (cantos de Jurásico). En el Senoniense-Eoceno medio predominan las "capas rojas" (Margas y Margocalizas) con una potencia media de unos 300 m. No obstante, en otros lugares hay Margas y Margocalizas blancas en el Cretáceo superior y Calizas de Nicrocodium y Margas con Arenas o Calizas de Nummulites en el Eoceno inferior-medio.

En el Eoceno superior-Aquitaniense o Burdigaliense inferior se desarrolla una facies flyschoides más o menos uniforme compuesta de Margas y Areniscas calcáreas de color claro (blanco-amarillento) por lo general.

3.2.2.2.- Dominio Penisubbético, Subbético Interno, o Subbético Meridional (Dominio Mixto)

Es el dominio más meridional, desde el punto de vista paleogeográfico de la Zona Subbética.

Sus afloramientos se localizan entre los del Subbético Medio, al Norte, y los de la Zona Bética s.str. al Sur, salvo en el caso, relativamente frecuente, en que el Subbético Meridional se encuentra corrido hacia el Norte sobre el primero y sobrepasando más o menos ampliamente las posiciones autóctonas o paraautóctonas del propio Subbético Medio.

El Subbético Meridional, según se concibe aquí, es un dominio mixto desde el punto de vista paleogeográfico. Ello quiere decir que no sólo existen relativos cambios de facies en sentido transversal a las bandas isópicas (lo que es habitual en la Cordillera pudiendo llegar a definir distintos subdominios dentro de un mismo dominio cuando los cambios son suficientemente importantes), sino que en este dominio en particular los cambios lateral-longitudinales de facies son aún más importantes (lo que constituye una excepción en el resto de la Cordillera) que los transversales. Por otro lado, como es habitual en todo el Subbético, estos cambios paleogeográficos se realizan fundamentalmente en el Jurásico, a partir del Lías medio-superior. En concreto se piensa que los cambios en esta transversal operan de la siguiente manera: se definen zonas de altos fondos o umbrales (v.gr. Sa Gorda y Sa Harana) - que pueden (caso de Harana) o no (Sa Gorda) ocupar toda la anchura paleogeográfica o transversal del dominio y donde se depositan facies más calcáreas con series más reducidas (sólo a partir del Lías medio-superior) hacia las que convergen lateral y transversalmente (caso de Sa Gorda) o sólo lateralmente (Sa Harana) otras series o unidades del mismo dominio con facies de mayor profundidad (facies más margosas en general).

3.2.2.2.1.- Trías

El Trías de este dominio que se supone debe existir bajo los distintos afloramientos jurásicos del mismo es apenas visible. No obstante se considera aquí que la banda de Trías de Antequera-Loja-Moraleda de Zajayona pertenece justamente a la zona paleogeográfica de tránsito del Subbético Medio al Subbético Meridional por lo cual las características litoestratigráficas del Trías de este último dominio deben ser general similares a las del primero. Se trata, por tanto, en ambos casos, de un Trías de facies germánica con preponderancia

de las Margas y Arcillas verdes y rojas con Yesos y Carniolas.

3.2.2.2.2.- Lías inferior

Está constituido, en general por Dolomías y Calizas oolíticas y/o micríticas.

Son de destacar las grandes potencias que se observan por lo general. Así, en el conjunto de Las Cabras, las dolomías inferiores alcanzan los 700 m. En la Unidad de Zafarrraya, al Sur de Sa Gorda, las calizas blancas masivas tienen un espesor de 1.000-1.500 m. Asimismo, en Sa Gorda, la potencia de las Calizas pisolíticas es de casi 1.000 m. No obstante, hacia el Este, los espesores parecen disminuir y así en Sa Harana la potencia de las Dolomías puede estimarse en un máximo de 300 m y la de las Calizas blancas superiores en unos 250 m.

3.2.2.2.3.- Resto del Jurásico y Cretaceo-Eoceno medio

Como ya se ha dicho (3.2.2.2.) es en el Jurásico, a partir del Lías medio-superior donde se presentan las diferencias más acusadas en las facies de este dominio hasta el punto de constituir un dominio mixto en sentido longitudinal o paralelo a las bandas isólicas y no transversal como es lo usual en el resto del Subbético.

Así, en Sa Gorda y Sa Harana, el resto del Jurásico, aparte del Lías inferior, es predominantemente calcáreo. En Sa Gorda, donde parece faltar el Lías medio-superior por laguna estratigráfica, se tiene una serie bastante reducida (unos 30 m en total) de Calizas de filamentos y Calizas nodulosas del Dogger-Malm. En Sa Harana el Jurásico medio y superior está compuesto, análogamente por unos 40 m de Calizas nodulosas y brechoides.

A excepción de Sa Gorda, Sa Harana, la pequeña Unidad de Gallo-Vilo y la Unidad de Parapanda, el resto de las unidades de este dominio presenta en general, facies de mayor profundidad (más intercalaciones margosas) a partir del Lías medio, si bien la presencia de Calizas sigue siendo importante. Así en la Unidad de Zafarraya una parte del Lías y el Dogger está representado por 250 m de Calizas con sílex, a los que siguen Calizas margosas y Margas y Calizas nodulosas del Malm, y series más o menos análogas pueden encontrarse al Oeste de Sierra Gorda (conjunto de Las Cabras y demás unidades).

El Cretaceo del Subbético Meridional es bastante homogéneo en conjunto y, a su vez, es bastante similar al del Subbético Medio tanto en facies como en potencias. En general está constituido por Margocalizas y Margas blancas (Neocomiense), Margas verdes (Barremiense-Albense) y Calizas margosas y Margas verdes, blancas y rosadas (Cretaceo superior).

El Eoceno inferior-medio de este dominio está escasamente representado en parte tal vez por falta de depósito y/o probablemente por erosión posterior al mismo.

3.2.3.- Terrenos Post-Mantos Béticos s.str.

Son los terrenos de la "Zona Límite" o de la Zona Bética s.str. depositados posteriormente al final del Eoceno medio que es la edad máxima y, a la vez, más probable, de la principal (y, probablemente también primera) etapa de corrimientos dentro de la Zona Bética s.str.

La edad de estos terrenos se extiende desde el Eoceno superior al Aquitaniense (y quizás, principio del Burdigaliense inferior) ambos incluidos salvo los "mármoles conglomeráticos" de edad Cuaternaria.

Por último, bajo el anterior epígrafe se diferencian dos tipos de terrenos: 1) los Flyschs silíceos terciarios de la "Zona Límite" (Terrenos Post-Mantos Béticos -A); y 2) la Molasa periNevado-Filábride o "Mármoles Conglomeráticos" (Terrenos Post-Mantos Béticos -B).

3.2.3.1.- Flyschs terciarios de la "Zona Límite" (Eoceno superior-Aquitaniense)

Como ya se dijo (3.1.) la "Zona Límite" no se entiende aquí como una zona nueva y distinta a situar paleogeográficamente entre las Zonas Subbética y Bética s.str. sino como una "supra-zona" diferenciada sólo desde el Eoceno superior al Aquitaniense y ocupando fundamentalmente el borde (septentrional, u occidental si se trata del Arco de Gibraltar) de la Zona Bética s.str. Es en esta zona a modo de cuenca profunda, alargada y relativamente estrecha (más amplia en el extremo occidental) donde se depositan los flyschs silíceos del Paleógeno-Aquitaniense que son fundamentalmente autóctonos (algo menos en el sector occidental sobre el dominio Maláguide s.l. (Maláguide s.str. y unidades afines) y, excepcionalmente (sólo en la transversal de Colmenar, al Oeste de Sa Gorda) también sobre el Subbético.

Las facies más abundantes y representativas de los "flyschs terciarios" son las de Areniscas y Margas arenosas rojas, pardas y grises.

La edad de los mismos abarca el Eoceno superior, Oligoceno y Aquitaniense. Generalmente (dentro de la "Zona Límite" y a escala de Cordillera) se observan cuatro discordancias, más o menos perceptibles según la transversal de que se trate, que se corresponden con cuatro periodos tectosedimentarios distintos, a saber: a) Eoceno superior, 2) Oligoceno inferior-medio, 3) Oligoceno medio-superior y 4) Aquitaniense (quizás incluyendo el final del Oligoceno superior).

3.2.3.2.- Molasa periNevado-Filábride ("Mármoles Conglomeráticos" post-mantos). (Cuaternario)

Se entiende aquí el término Molasa no como característica litológica o litofacies de un determinado tipo de roca - sino como un material acumulado en el margen de una zona que está en proceso de elevación después de una etapa tectónica y que constituye, por tanto, el registro de la elevación y erosión del relieve de dicha zona recién levantada.

Es en ese sentido como se denomina aquí Molasa periNevado-Filábride a unos "Mármoles Conglomeráticos" o mejor dicho, Conglomerados de cantos de mármoles (triásicos) situados en afloramientos muy discontinuos a lo largo de la periferia del dominio Nevado-Filábride y plenamente autóctonos y discordantes, a modo de sello stratigráfico, sobre el contacto de corrimiento del Alpujárride sobre el Nevado-Filábride.

En este punto es conveniente introducir una aclaración.

Para PUGA y DIAZ DE FEDERICO y para la escuela de Granada en general (veáse 3.2.1.1.2.) sólo existe una Formación de Matatufitas con "Mármoles Conglomeráticos" (y otros componentes como ortogneises melanocratos de naturaleza andesítica, cloritoesquistos, filitas y cuarcitas) de naturaleza vulcanosedimentaria, de edad cenozoica y afectada sólo por el segundo acontecimiento de metamorfismo alpino, que constituiría el único indicio de magmatismo calcoalcalino relacionado con la subducción generadora del metamorfismo de alta P/baja T, alpino, del Complejo de Sierra Nevada.

Desde el punto de vista reflejado en el presente Estudio no existe una única formación de "Mármoles Conglomeráticos"

cos" sino dos y ambas con significado absolutamente diferente. Por un lado, existe una formación o, mejor ciertos niveles situados a techo de la serie de Sabinas-Mulhacén que responden a las características litológicas descritas en el párrafo anterior. Esta formación debería denominarse como "mármoles conglomeráticos" pre-mantos, por ser anterior al corrimiento Alpujárride sobre el Nevado-Filábride.

Y, por otro lado, existe (tal y como se ha puesto de manifiesto claramente mediante una nueva cartografía de los alrededores de Lanjarón-Durcal -véase Plano I- que modifica -la aportada por el MAGNA) otra Formación de MARMOLES CONGLOMERÁTICOS exclusivamente, que está constituida por bloques de conglomerados análogos a los anteriores (con cantos de mármol triásicos procedentes de la erosión del Trías Nevado-Filábride) y que no se encuentra nunca cabalgada por el Alpujárride y si, por el contrario, siempre discordante sobre el contacto de corrimiento Alpujárride-Nevado Filábride (sellando, por tanto, el mismo, a lo largo de la periferia de Sierra Nevada o del Nevado-Filábride) por lo cual su edad debe ser probablemente cuaternaria, a juzgar por su suave disposición estructural, y su geomorfología, a modo de glacis, aparte de por la presencia de caliches que empastan a veces los diversos bloques entre sí, delatando la remoción reciente de estos últimos desde un lugar anterior hasta la zona donde ahora se encuentran.

Dichos conglomerados están generalmente (aunque no siempre) muy mineralizados (óxidos de Fe, principalmente) por lo cual suelen presentar un color pardo-amarillento y/o rojo-vino bastante oscuro y a menudo se trata de grandes afloramientos que llaman la atención por haber sido objeto de explotaciones mineras. En definitiva esta formación posee unas características (mineralización, potencia -de 10 a 20 m aproximadamente-, posición netamente discordante -de ahí el nombre de TERRENOS POST-MANTOS BÉTICOS (B)-, absolutamente heredadas (incluidas, por supuesto, las mineralizaciones) de otra formación anterior, más antigua (Eoceno?) de verdaderos "mármoles conglomeráticos" pre-Mantos (ver 3.2.1.1.2.) que han sido, prácticamente barridos por la erosión o cuyos afloramientos son en general muy pequeños, razón por la cual no han sido representados en Cartografía. El significado de esta formación es, pues, el de una Molasa postorogénica depositada como consecuencia de una fase de levantamiento y erosión de los bordes del Nevado-Filábride probablemente de edad muy reciente (Cuaternario). Podría decirse pues que los "mármoles conglomeráticos" post-mantos constituyen un conglomerado Cuaternario de bloques de conglomerados (eocenos?) compuestos fundamentalmente por cantos carbonatados del Triásico.

Por último se destaca aquí que, en la base del Neógeno del Valle de Lecrín y más concretamente en la "Base del tramo de Murchas" (datada como Burdigaliense inferior) se ha encontrado durante la realización del presente Estudio, una brecha mineralizada de color rojizo, con cantos de mármoles, esquistos grafitosos, anfíbolitas, etc. que posiblemente puede relacionarse con otro episodio anterior de erosión de "mármoles conglomeráticos" pre-Mantos.

3.2.4.- Terrenos Inter-Mantos Subbéticos

Dado que se distingue aquí tres fases de corrimiento - dentro de la Zona Subbética, los Terrenos Inter-Mantos Subbéticos divididos en dos grupos (Burdigaliense inferior y Burdigaliense superior-Langhiense) hacen referencia a los terrenos depositados entre la 1ª y 2ª fase (primer grupo) y los depositados entre la 2ª y 3ª (segundo grupo).

3.2.4.1.- Burdigaliense inferior (Formaciones Los Alamillos, Beas de Granada, Viñuela, Santana y Formación Fuente -Murcia-)

El Burdigaliense inferior está representado por una formación cuyos afloramientos principales y más característicos se muestran en la zona del Cortijo de los Alamillos (Sur de Diezma, en la Depresión de Guadix), Beas de Granada y a lo largo del corredor de Colmenar-Periana.

Los constituyentes de esta formación son principalmente brechas con cantos de Paleozoico y Permotrias del Alpujarride y Maláguide (a excepción de la Formación Santana cuyos cantos proceden del Subbético) y margas grises arenosas con "silexitas".

Estos sedimentos son claramente posteriores a los últimos mantos de corrimiento que afectan a los materiales de la Zona Bética s.str. ya que están fosilizando el contacto Maláguide-Alpujarride (Formación La Viñuela).

Pero, a la vez, estos terrenos son con gran probabilidad inmediatamente posteriores al corrimiento (finiaquitaniense) hacia el Norte del Subbético Meridional sobre el Subbético

co Medio (movimiento que coincidiría con un primer desplazamiento dextrorso importante del Accidente de Cádiz-Alicante) e inmediatamente anteriores al primer retrocabalgamiento (intra-Burdigaliense) del Subbético Medio y, parcialmente, del Subbético Meridional hacia el Sur que se produciría simultáneamente (Fase de divergencia, F.Jerez, 1979) con el primer corrimiento del Subbético Medio y Septentrional hacia el Norte (coincidiendo, a su vez, estos dos últimos movimientos, - con un segundo y más importante desplazamiento dextrorso del Accidente de Cádiz-Alicante).

3.2.4.2.- Burdigaliense superior-Langhiense inferior (Formación Espejos)

El Burdigaliense superior-Langhiense inferior apenas está representado en la parte meridional de las transversales de Granada y Málaga, al contrario de lo que ocurre en la transversal de Murcia-Almería (Formación Espejos, en el corredor de Velez-Rubio y más al Norte). De ahí que en la Leyenda General (Plano I) se haya asignado una edad fundamentalmente Burdigaliense inferior (3.2.4.1.) a los Terrenos Inter-Mantos Subbéticos.

No obstante, por su importante significado regional conviene poner de manifiesto la existencia, bien diferenciada a escala de la Cordillera, de los terrenos de esta edad cuya litología, bastante parecida a la del Burdigaliense inferior, está constituída fundamentalmente por margas verdes arenosas y silixitas con brechas y oliotostromas procedentes fundamentalmente de la Zona Bética s.str. (cantos de Paleozoico y Permotrías). El Burdigaliense superior-Langhiense está representado en el Valle de Lecrín (Murchas) donde se presenta acompañado por facies de arrecifes.

3.2.5.- Terrenos Post-Mantos en general

Son los terrenos depositados posteriormente a todos los fenómenos de corrimiento importantes acaecidos en las Cordilleras Béticas en general.

Estos terrenos constituyen el relleno fundamental o propiamente dicho de las Depresiones Interiores y de la Depresión del Guadalquivir.

La edad de los mismos abarca desde el Langhiense superior-Serravaliense (Mioceno medio) hasta el Cuaternario (Holoceno) ambos incluidos.

3.2.5.1.- ¿Langhiense superior? - Serravaliense (Formación La Peza: Limos con yesos)

Aflora de forma bastante restringida en el borde occidental de la Depresión de Guadix, borde oriental de la Depresión de Granada y Valle de Lecrín.

Se trata de arenas y arcillas de color rojo con niveles de conglomerados y gravas hacia la base, margas gris-azulado con abundante yeso y conglomerados, arenas y limos con niveles de calizas lacustres hacia la parte superior, si bien son frecuentes los cambios laterales de facies. Asociados a las calizas lacustres es frecuente encontrar niveles de lignito y de óxidos de Fe.

Esta formación fundamentalmente lacustre es correlacionable con los depósitos asimismo lacustres y con niveles de lignitos existentes en la Depresión Central de la Isla de Mallorca.

La potencia visible (borde oriental de la cuenca) es de unos 300 m pero en las zonas más profundas de la Depresión de Granada podría llegar al doble de ese espesor a juzgar por los datos geofísicos existentes.

3.2.5.2.- Tortonense inferior (Formación Quentar: Calcarenitas y Conglomerados marinos)

Aflora principalmente en los bordes oriental y meridional de la Depresión de Granada y también en la Depresión de Guadix y Valle de Lecrín.

Se considera aquí como Formación Quentar sólo al miembro inferior calcarenítico, ya que aunque en las Depresiones de Granada y Guadix el tránsito a las margas Superiores (Tortonense superior) parezca gradual, a escala de la Cordillera es clara la existencia de una discordancia entre el Tortonense inferior y el superior.

Es discordante sobre la Formación La Peza.

Está constituida por calcarenitas que hacia los bordes pasan a conglomerados con matriz calcarenítica.

La potencia visible (borde oriental de la cuenca) es de unos 100 m, si bien en las áreas más profundas de la Depresión de Granada podría llegar al doble de ese espesor, a juzgar por los datos geofísicos existentes.

3.2.5.3.- Tortonense superior (Margas marinas)

Aflora en el borde oriental de la Depresión de Granada y al Norte de Alhama y Arenas del Rey así como en el Valle de Lecrín y Depresión de Guadix.

Se trata de unas margas marinas de color gris-azulado transgresivas sobre las calcarenitas anteriores (Formación Quentar). Contienen lamelibranquios, gasterópodos y Dentalium aparte de una fauna abundante de foraminíferos que permiten dotar el Tortoniense superior.

La potencia visible (borde de la cuenca) es de 150 m aproximadamente aunque en las áreas más profundas de la Depresión de Granada podría llegar al doble de ese espesor, a juzgar por los datos geofísicos existentes.

3.2.5.4.- Tortoniense superior-terminal (Formación de Pinos-Genil: Conglomerados, Limos y Margas)

Aflora principalmente en el borde oriental de la Depresión de Granada y en el Valle de Lecrín.

Se incluye aquí a la Formación Dudar (Rodríguez Fernández, 1982) por considerar, a diferencia de este autor, que esta última no constituye una formación distinta sino un simple cambio lateral de facies de la Formación de Pinos Genil.

La litología es de conglomerados heterométricos con abundantes bloques de gran tamaño de esquistos, cuarcitas, etc., que pasan lateralmente (Formación Dudar) a margas y limos arenosos con potentes (5-10 m) intercalaciones de conglomerados igualmente heterométricos.

Esta formación tiene el carácter de Molasa depositada como consecuencia directa de la surrección de Sierra Nevada. Se trata de conos deltaicos o aluviales subaéreos que lateralmente penetran en medio marino (margas azules de la Formación Dudar).

La potencia visible (borde oriental de la cuenca) es de 300 m aproximadamente pero en las zonas más profundas de la Depresión de Granada podría alcanzarse el doble de dicho espesor, a juzgar por los datos geofísicos existentes.

3.2.5.5.- Messiniense inferior (Limos micáceos)

Aflora con bastante amplitud en las partes oriental y centro-meridional de la Depresión de Granada.

Se trata de una formación fluvio-lagunar de limos micáceos con intercalaciones de conglomerados en el área de Cenes y Jun, que hacia las partes meridional (Escúzar) y central (La Malá) de la Depresión intercalan en la base niveles de yeso primario y otros calcáreos con celestina así como limos rojos y, superiormente, turbiditas de yeso. Aquí se considera que el conjunto de esta formación está superpuesta (y, por tanto, es de edad más reciente) sobre la Formación de Pinos Genil (allí donde esta última existe) u otras más antiguas. Esto puede colegirse de la discordancia manifiesta entre la disposición monótonamente subhorizontal de esta formación en los alrededores de Dílar donde la misma aflora por debajo del Pliocuaternario o Conglomerado Alhambra (erroneamente interpretado en la cartografía MAGNA como Formación de Pinos Genil) y los fuertes buzamientos que al Oeste de Dílar presentan las formaciones más antiguas (Formación de Pinos Genil especialmente) las cuales desaparecen, además, bruscamente hacia el Oeste.

La potencia visible se estima en 450 m aproximadamente si bien puede alcanzar los 700-800 m en las áreas más profundas de la cuenca, a juzgar por los datos geofísicos existentes. No obstante, en la zona de Santa Cruz del Comercio, al Sur de Moraleda de Zafayona (borde Occidental de la cuenca)

la potencia se reduce fuertemente (50 m máximo), probablemente debido a la mayor estabilidad o menor subsidencia de este área durante el Mioceno superior.

3.2.5.6.- Mioceno terminal s.str.

Aflora abundantemente en las partes central, occidental y suroccidental de la Depresión de Granada.

Es una formación fundamentalmente lacustre constituida por margocalizas y margas con yesos y, hacia el techo, calizas lacustres e intercalaciones margosas (facies Pontiense) con niveles de lignito.

La potencia de esta formación es de 150 m aproximadamente. Es bastante probable que esta formación no esté presente bajo el Pliocuaternario en el área próxima a Granada-capital (dicho esto en relación con un eventual sondeo a situar en esta parte de la Depresión).

3.2.5.7.- Pliocuaternario

Aflora muy ampliamente hasta el punto de ocupar la mayor parte de la mitad septentrional de la Depresión de Granada, así como la mayoría de la de Guadix.

Es una formación bastante heterogénea con amplios cambios graduales de facies desde su caracter fluvial o fluvio-lacustre en las zonas oriental-meridionales hasta otro más claramente fluvio-lacustre o propiamente lacustre en las áreas septentrional-occidentales de la Depresión de Granada.

El primer ambiente (fluvial-fluviolacustre) se caracteriza por la presencia de conglomerados, arenas y limos de tonos asalmonados, si bien hacia el borde suroriental de la Depresión son predominantes los conglomerados con matriz arcillosa roja, relativamente heterométricos y a menudo con grandes bloques (aunque estos últimos en general no tan voluminosos ni frecuentes como en la Formación de Pinos Genil -3.2.4.4.-) procedentes del Bético s.str.; en el sector septentrional son predominantes, lógicamente los materiales de tríticos procedentes del subbético.

El segundo ambiente (fluviolacustre-lacustre) está representado por arenas, limos y margas con calizas lacustres.

La potencia deducida por sondeos (procedentes fundamentalmente de investigaciones sobre lignito) es de 75-100 m pudiendo estimarse un máximo de 150 m en las áreas de mayor subsidencia.

En cuanto a la edad cabe decir que aunque esta formación debe abarcar en principio todo el Plioceno (salvo falta de depósito o erosión posterior al mismo, lo cual no se considera probable en un área como la Depresión de Granada de carácter fundamental y persistentemente subsidente) ya que no se conoce ninguna otra formación interpuesta entre el Pontense (Mioceno terminal, 3.2.5.6.) y esta última, es indudable que, al menos en algunos sectores (Conglomerado Alhambra) esta formación alcanza al Cuaternario antiguo tal y como fue puesto de manifiesto por Aguirre (1957) mediante restos de mamíferos. Otra posibilidad es que las calizas lacustres atribuidas al Pontense sean en realidad más modernas (Plioceno), en cuyo caso la formación que se describe en este epígrafe pertenecería probablemente sólo al Cuaternario.

3.2.5.8.- Cuaternario

Se ha separado aquí cartográficamente (Plano I) sólo - dos tipos de Cuaternario. Por un lado, los materiales aluviales más actuales (Holoceno reciente, principalmente el Aluvial de la Vega de Granada). Y, de otra parte, el resto del Cuaternario constituido fundamentalmente (salvo excepciones, que a efectos prácticos no se han tenido en cuenta) por materiales más antiguos (Pleistoceno u Holoceno antiguo).

3.2.5.8.1.- Cuaternario antiguo

Se refiere fundamentalmente a la formación denominada Conglomerado Zubia de la Depresión de Granada y a los glaciares del Pleistoceno-Holoceno antiguo de la Depresión de Guadix, aunque también se han incluido algunos conos de deyección más modernos del área de Durcal.

El Conglomerado Zubia es una formación de conglomerados parcialmente con cemento calcáreo y cantos asimismo calcáreos provenientes de la erosión del Trías carbonatado Alpujarride (Manto del Trevenque, fundamentalmente). La potencia puede llegar a 100 m. Este conglomerado se hunde con un buzamiento en gran medida regional o primario de 5-10° bajo el Aluvial de la Vega de Granada. Esta formación es fundamentalmente posterior al Conglomerado Alhambra ya que puede observarse (área del Río Monachil) como sus niveles más bajos pasan lateralmente a las facies arcillosas rojas de aquel.

La potencia del Conglomerado Zubia puede alcanzar los 100 m (hay datos de sondeos que lo cortan bajo el Aluvial) aunque dada su estructura cuneiforme y el tipo de depósito deben existir fuertes limitaciones en cuanto a la extensión y potencia del mismo hacia los bordes.

3.2.5.8.2.- Cuaternario reciente o Aluvial

Se refiere principalmente al Aluvial de la Vega de Granada.

La litología es de arenas, gravas y arcillas que, junto con el Conglomerado Zubia constituyen un importante y extenso acuífero superficial y frío (sin interés geotérmico) en la parte centro-oriental de la Depresión.

La potencia alcanza los 250 m en las áreas de mayor acumulación según se deduce de los datos de sondeos mecánicos y geofísica eléctrica (S.E.V.).

3.3.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL

3.3.1.- Estructura general de las Cordilleras Béticas

Puesto que ya han sido expuestos al principio del capítulo de Geología (apartado 3.1.) los grandes rasgos de la estructura de las Cordilleras Béticas, sóloamente se añadirá aquí algunos aspectos complementarios.

Al Sur del Paleozoico de la Meseta y sobre él como basamento se entiende que se han constituido, a partir del triásico, los dominios sedimentarios de la Cobertera Tabular, Prebético y Subbético, según un ordenamiento de Norte a Sur.

La Cobertera Tabular y el Prebético son fundamentalmente autóctonos, si bien los fenómenos de cabalgamiento dentro de este último pueden llegar a ser muy importantes.

El Subbético, en cambio, está ampliamente corrido hacia el Norte sobre el Prebético.

El nivel de despegue más importante es el Keuper (Triásico) pero también existen importantes deslizamientos a nivel del Cretácico (Albense, generalmente).

Al Sur del "Contacto Límite" está la Zona Bética s.str., la cual probablemente pertenece a una placa distinta (Microplaca de Alborán) de la Placa Ibérica o Europea. La Microplaca de Alborán habría sufrido un desplazamiento de gran magnitud (centenares de kilómetros) hacia el Oeste.

Sólo a partir del final del Eoceno medio y especialmente durante el Mioceno inferior y medio parece haber una clara interacción entre la Microplaca de Alborán y la Placa Ibérica. Así la beligerancia de la primera sobre la segunda da lugar, entre otros fenómenos, a la "expulsión" y desenraizamiento prácticamente total del dominio Subbético Interno o Meridional el cual, generalmente, es desplazado hacia el Norte - por encima del Subbético inmediatamente septentrional. La continuación de la presión relativa (los esfuerzos relativos también podrían entenderse de modo inverso) de la Microplaca de Alborán sobre la Placa Ibérica origina, inmediatamente después, una "fase de divergencia" (Jerez, F. 1979) por lo cual el propio Subbético se estrecha, a modo de estructura en abanico (si bien con un flanco septentrional bastante más desarrollado que el meridional), superponiéndose sobre sí mismo y sobre sus márgenes respectivos (Prebético y Bético s.str.).

resulta sobrecorrido por el conjunto del Maláguide y unidades afines, como ya se mencionó (3.3.2.3.).

En lo que se refiere a la estructura interna del Alpujárride este se encuentra, a su vez, subdividido en una serie de mantos más o menos independientes y con diferencias -relativas también en la litología y tipo de metamorfismo. Con un criterio fundamentalmente geométrico-estructural (que parece, en principio, el más simple y directo para reordenar -las posiciones paleogeográficas primitivas, aunque sin pretender un rigor absoluto para lo cual habrían de tenerse en cuenta otros factores -metamorfismo, análisis litológico y estructural detallado, etc.-) se ha separado en cartografía - (Plano I) tres grandes conjuntos o mantos de corrimiento (Manto Inferior o de Lujar, Manto Intermedio o del Trevenque y Manto Superior o de los Guajares) a alguno (o algunos) de los cuales se han adscrito a veces determinadas unidades aisladas o submantos (mantos de orden menor, bien por su pequeña potencia o por su más reducida extensión lateral).

3.3.2.5.- Nevado-Filábride

El Nevado-Filábride, considerado en conjunto, es el autóctono relativo del Alpujárride y, por tanto (3.3.2.3.) también indirectamente del Maláguide s.str. No se conoce la existencia de ningún otro Complejo o Unidad que indique la aloctonía del Nevado-Filábride aunque, en hipótesis algunos autores (García Dueñas y otros, 1980) consideran que existen despegues muy importantes dentro de la Serie del Veleta, así como un cabalgamiento generalizado del Bético s.str. sobre el Subbético que se enraizaría bajo el Nevado-Filábride. Esta hipótesis es muy diferente de la adoptada en el presente trabajo donde se supone un "Contacto Límite" (Accidente de Cádiz-Alicante), a modo de desgarre dextrorso subvertical que

enfrentaría al mismo nivel al Nevado-Filábride con el Zócalo Paleozoico del Subbético.

En lo que se refiere a la estructura interna del Nevado-Filábride lo más destacable es la polémica existente en cuanto a la relación (tectónica o estratigráfica) entre la parte basal (que constituye el grueso del espesor del Nevado-Filábride con una potencia de unos 5.000 m) y el extremo terminal (cuyo espesor no sobrepasa los 200 m por lo general) de la serie Nevado-Filábride. En síntesis cabe decir que la Escuela de Granada aboga en favor de una relación tectónica con aloctonía de gran envergadura (definiendo un verdadero Manto del Mulhacén que se corresponde con la parte terminal de la Serie) mientras que la Escuela holandesa propugna la existencia de un contacto estratigráfico entre ambas partes. El argumento principal de la primera es la diferencia en el grado de metamorfismo entre las dos partes, mientras que la segunda arguye sobre la existencia de un conglomerado basal, cuya naturaleza y significado no es reconocido por aquella.

Sin pretensión de haber resuelto el problema (cuya discusión se saldría fuera de los límites de este trabajo) y habiendo constatado a lo largo de este estudio que existen argumentos a favor y en contra de una y otra hipótesis (aunque ninguno definitivo como para rechazar categóricamente alguna de las dos), las numerosas observaciones realizadas durante el mismo en la parte superior de la Serie Nevado-Filábride -inclinan la hipótesis aquí adoptada del lado que aboga en favor de la naturaleza fundamentalmente estratigráfica del contacto. Ello no es obstáculo para reconocer la evidencia de despegues tectónicos frecuentes en la parte alta del Complejo pero considerados aquí como fenómenos más o menos locales o de orden menor; así mismo tampoco se niega aquí la evidencia de las diferencias existentes en el grado de metamorfis

mo pero se piensa que ello no conduce, inevitablemente y como única explicación posible al establecimiento de un contacto de corrimiento. Muy al contrario, la gran constancia o uniformidad (a menudo enmascarada parcialmente por el corrimiento de las filitas alpujárrides, lo que ha podido llevar a algunos autores a desconfiar de dicha uniformidad invocando cambios laterales de facies) de la serie de la parte superior del Complejo Nevado-Filábride, tanto internamente como considerada en conjunto, a lo largo de muchos kilómetros (desde Guadix hasta la Alpujarra granadina pasando por la zona de Durcal-Lanjarón) así como la continuidad estructural y en el grado de tectonización observada en el tránsito vertical de una serie a otra, son más acordes, en principio, con la solución estratigráfica implícitamente adoptada aquí tanto en el Mapa como en los Cortes y Memoria (definición de una Serie del Veleta o Tramo basal y de una Serie del Mulhacén o Tramo terminal).

3.3.2.6.- Flychs terciarios de la "Zona Límite"

En la hipótesis adoptada aquí se considera a los flychs terciarios de la "Zona Límite" como autóctonos y/o paraautóctonos.

Por un lado forman parte de los Terrenos Post-Mantos Béticos s.str. y en ese sentido se sugiere que se depositaron autóctónamente en la "Zona Límite" posteriormente a los principales fenómenos de corrimiento acaecidos dentro de la Zona Bética s.str. Dicho depósito se realizó fundamentalmente sobre el Maláguide s.str. y las Unidades afines al Maláguide (Dorsales y Penibético de Ronda-Torcal) después del corrimiento de los mismos pero en determinadas transversales (transversal de Málaga) los depósitos de flychs alcanzaron también determinadas áreas (Sã de las Cabras-Archidona) del Subbético Meridional.

Por otro lado los flyschs terciarios son paraautóctonos en la medida en que las unidades sobre las que descansan y que constituyen su autóctono relativo están afectadas por la fase de retrocabalgamientos intra-Burdigaliense. Dado que entre los flyschs terciarios y las unidades mesozoicas sobre las que descansan existe un nivel de despegue, parte de esos flyschs alcanzan un verdadero grado de aloctonía como consecuencia de los citados retrocabalgamientos (v.gr. área de Colmenar-Periana).

Conviene añadir que fuera del área ocupada por el presente Estudio, concretamente en el tercio occidental de las Cordilleras Béticas, los flyschs terciarios depositados primitivamente en la "Zona Límite" y fundamentalmente sobre el Penibético de Ronda-Torcal alcanzan grados de aloctonía en general mucho mayores como consecuencia, por un lado, de los empujes centrífugos (hacia el Oeste y Noroeste) post-aquitanienses de la Zona Bética s.str. sobre la Subbética (que llevan a estos flyschs, en sucesivas etapas, a trasladarse gravitatoriamente, primero sobre el Subbético s.lato y, más tarde, sobre la Depresión del Guadalquivir -"Unidades del Guadalquivir" y "Olistostroma del Guadalquivir"-) y, por otro lado, a la existencia de un nivel de despegue generalizado hacia la base de los flyschs, debido a la composición particularmente arcillosa de los mismos (lo que podría explicar, en parte, la mecanización generalizada de los contactos entre los flyschs y el Penibético de Ronda-Torcal de tal modo que aquellos fueran "alóctonos en concreto" sobre este último, pero "autóctonos en conjunto" sobre el mismo).

3.3.2.7.- Molasa peri-Nevado Filábride

Como ya se dijo (3.2.3.2.) se denomina así a un Conglomerado Cuaternario de bloques de conglomerados de cantos de mármoles (del Triásico Nevado - Filábride)

tuados en pequeños afloramientos muy discontinuos a lo largo de la periferia del dominio Nevado-Filábride y plenamente autóctonos y discordantes, a modo de sello estratigráfico, sobre el contacto de corrimiento del Alpujárride sobre el Nevado-Filábride.

3.3.2.8.- Terrenos Inter-Mantos Subbéticos

Estos terrenos son fundamentalmente autóctonos dentro de la zona de estudio y también en las Cordilleras Béticas en general (exceptuando a las Unidades del Guadalquivir).

Los mismos se depositaron con facies bastante similares en las tres Zonas de las Cordilleras Béticas (Prebética, Subbética y Bética s.str.) por lo cual a partir del inicio de su depósito (y, especialmente, a partir del Burdigaliense superior-Langhiense inferior) no tiene sentido esa división en Zonas.

En el área objeto de estudio solo está bien representado el Burdigaliense inferior, cuyos depósitos ocupan preferentemente el área correspondiente a la "Zona Límite".

3.3.2.9.- Terrenos de Fosa o Cobertera (Post-Mantos en general)

Son terrenos plenamente autóctonos depositados en las denominadas Depresiones Interiores (v.gr. Depresión de Granada, Depresión de Guadix-Baza, etc.) originadas en el interior (cuencas intramontañosas) de las Cordilleras Béticas inmediatamente después de los últimos fenómenos de corrimiento (exceptuando al Olistostroma del Guadalquivir que es posterior).

La estructura de los mismos es la típica de los materiales de relleno de cubetas o fosas paulatinamente subsidentes, con transgresiones y regresiones del mar, frecuentes y rápidos cambios de facies (dependiendo de los cambios del área fuente), importantes aportes detríticos (conglomerados, etc.) y adaptación de las capas (discordancias progresivas, etc.) al funcionamiento periódico de fallas activas situadas en los bordes.

3.3.3.- Fases tectónicas principales

Los movimientos tectónicos principales que dieron lugar a la estructura actual de las Cordilleras Béticas, tuvieron lugar al final del Eoceno medio, al final del Aquitaniense o principios del Burdigaliense, y en el Mioceno medio, sin olvidar, por su importancia geotérmica, la actual fase comprensiva Cuaternaria (en la que la removilización actual de fracturas opera favorablemente sobre la permeabilidad de los almacenes).

Muy probablemente tanto el paleozoico del Nevado - Filábride como el del Alpujárride y Maláguide fueron afectados por la orogenia Hercínica pero los indicios de está última han desaparecido prácticamente debido a la sobreimposición posterior de la orogenia alpina que dio lugar a la formación de las Cordilleras Béticas.

La evolución durante el ciclo alpino ha sido compleja, de modo que, a lo largo del mismo, tuvieron lugar varias fases orogénicas superpuestas de diferente carácter. Como resultado de ello se desarrolló en la Zona Bética s.str. un metamorfismo plurifacial de grado bajo a medio, de carácter regional y una serie de traslaciones que dieron origen a un aplamamiento de mantos tal y como se observa hoy.

En la Zona Bética s.str. se distinguen cuatro fases de deformación sucesivas.

Una primera fase da una esquistosidad subparalela a la estratificación, que se aprecia sólo en los afloramientos - donde está presente S_0 .

La segunda fase, penetrativa, es la que origina la esquistosidad más relevante, la S_2 . Las venas de cuarzo durante o después de la S_1 , son plegadas isoclinalmente y los planos axiales, generalmente con un fuerte buzamiento, dan la esquistosidad S_2 .

La tercera, también muy visible, da sobre la esquistosidad S_2 , pliegues angulares (Chevron) de apretados a abiertos. Los planos axiales, generalmente con un fuerte buzamiento, dan la esquistosidad S_3 .

Por último, una cuarta fase de deformación origina pliegues abiertos cuyos planos axiales tienen también un gran buzamiento.

Estas fases de deformación han estado más o menos ligadas a otra de traslación que, en varias etapas, fue la responsable del apilamiento de mantos de corrimiento.

En cuanto a la edad del emplazamiento de los mantos - (que son las estructuras que más condicionan la geometría de la zona de estudio) de la Zona Bética s.str., debe situarse entre el final del Eoceno medio y el principio del Burdigalense (Mioceno inferior). La ausencia de sedimentos^(*), en los dominios Nevado-Filábride y Alpujarride, a partir del Triásico superior, lleva consigo, asimismo, la inexistencia de discordancias internas y sucesivas que marquen y sellen

(*) a excepción de los "mármoles conglomeráticos" pre-mantos (Eoceno?) del Nevado-Filábride

la anterior sucesión de movimientos. Desde el Triás superior hasta, al menos, el Eoceno superior, es muy probable que la Zona Bética s.str. estuviera conformada como un área relativamente estable, y prácticamente a nivel del mar, lo que explicaría la ausencia de procesos importantes tanto de erosión como de sedimentación. Al final del Eoceno medio tuvo lugar (probablemente ligado a movimientos importantes dentro de la Zona Bética s.str.), la formación de la Subzona Intermedia o Circumbética. Ligados a esa fase, ocurrieron también otros cabalgamientos hacia el Norte como, por ejemplo, el de la Unidad de Prat Mayor-Manzanete en Sa Espuña (este accidente sería posteriormente removilizado, en el Aquitaniense).

Al final del Aquitaniense y en el Burdigaliense inferior tuvieron lugar tres movimientos sucesivos, los dos primeros en un mismo sentido y el tercero en dos sentidos contrarios. Primeramente, el corrimiento hacia el Norte de parte del Alpujárride (Manto de Trevenque-Alfaguara) sobre la Dorsal (ventanas tectónicas al Sur de Sa Harana), así como el cabalgamiento general del frente de la Zona Bética s.str., asimismo hacia el Norte y sobre el Penibético de Ronda-Torcal experimentando en todo el sector occidental de la Cordillera. Es probable que dicho cabalgamiento generalizado esté ligado al emplazamiento definitivo de las peridotitas de Ronda, cuya ascensión se habría empezado a gestar fundamentalmente al final del Eoceno medio, ligada a una probable subducción del extremo occidental de la Microplaca de Alborán, desplazada paulatinamente hacia el Oeste a partir de dicha edad. En segundo lugar, el corrimiento hacia el Norte del Subbético Meridional o Interno (Sa de Orce, María, Gigante y Pericay, en la transversal de Almería, y Sas de Parapanda y Harana en la transversal de Granada, y después, el deslizamiento de parte del Subbético hacia el Sur, sobre la Subzona Intermedia (Dorsal-Maláguide) simultáneamente con el deslizamiento de otra

parte del Subbético hacia el Norte (Fase de Divergencia; Jerez, F. 1979). Probablemente, estos dos últimos movimientos estuvieron dinámicamente ligados en origen, al funcionamiento dextrorso del accidente de desgarre de Bullas-Crevillente; en un primer tiempo, se "expulsaría" de su posición paleogeográfica (Por problemas de espacio) al Subbético Meridional o Interno que iría a deslizarse gravitatoriamente sobre el Subbético; y más tarde, estos dos juntos retrodeslizarse, hacia el Sur, sobre el dominio Dorsal-Maláguide. Según ello y, aunque parezca aparentemente contradictorio, los anteriores movimientos de dirección NNO-SSE estarían ligados en origen a esfuerzos de componente principal aproximadamente E-O (es decir, a grosso modo, transversal a la anterior) que son los que habrían dado lugar al desgarre de Bullas-Crevillente.

En el Mioceno Medio (intra-Langhiense) tienen lugar los corrimientos gravitatorios del Subbético hacia el Norte (fuera de la zona de estudio) y los retrocabalgamientos (de menor envergadura que los anteriores) del mismo hacia el Sur (que operan como una removilización de los del mismo sentido ocurridos en el Burdigaliense inferior).

Después de la formación de las cadenas montañosas, en las Cordilleras Béticas se desarrolló un amplio periodo distensivo que sobreimpuso una estructura aberrante respecto de la anterior, dando lugar a una serie de depresiones interiores o cuencas post-mantos (Granada, Guadix-Baza, Almería, etc.). Esta etapa queda marcada, en su inicio, por la gran discordancia de base del Mioceno (generalmente parte superior del Mioceno medio -Serravaliense-) que conforma el contacto entre los materiales Pre-Mantos o Terrenos del Substrato y los de relleno o Terrenos de Fosa o Cobertera.

Por último, a partir del Cuaternario Medio y hasta la actualidad, ha tenido lugar una nueva etapa de compresión que ha ocasionado un importante plegamiento de fondo en las Cordilleras Béticas en general y una removilización de numerosas y antiguas fracturas puesta de manifiesto, entre otros fenómenos, por la presencia de una importante actividad sísmica con las repercusiones beneficiosas que todo ello tiene sobre la permeabilidad de los posibles almacenes geotérmicos.

En cuanto a discordancias de ámbito regional ligadas a los movimientos anteriores, hay que destacar la del Eoceno superior sobre los terrenos dorso-maláguides (observada especialmente bien al Norte de Sa Espuña); la del Burdigaliense-Langhiense, posterior a los primeros movimientos subbéticos; y por último, la del Mioceno medio-superior (Serravaliense - Tortoniense) que constituye la base los terrenos post-mantos 2.

3.3.4.- Neotectónica y Sismotectónica

Como proceso geológico más interesante desde el punto de vista geotérmico, hay que destacar el cambio de régimen tectónico que se produce durante el Cuaternario antiguo en todas las Béticas. La fase distensiva anterior pasa a ser compresiva y, como resultado, lo que se obtiene es el cambio de funcionamiento de fallas preexistentes; las que, en época anterior, funcionaron como normales, en este momento lo hacen en desgarre dextro o sinistro.

Baste decir que la tectónica cuaternaria afecta en general a todas las Cordilleras Béticas, aunque su actividad queda lógicamente mucho mejor reflejada en las áreas deprimidas donde se han depositado los terrenos más recientes; especialmente los Campos de Níjar y Dalías y el Medio y Bajo An

darax en la Depresión de Almería; el Valle del Guadalentín (Murcia) y desembocadura del Segura (Torrevieja-Alicante), la Depresión de Granada en general, la Depresión de Guadix-Baza, etc.

Otro campo relacionado directamente con la Neotectónica es el de la Sismotectónica. Así, pueden señalarse ciertas estructuras tectónicas que están o pueden estar relacionadas con la generación de terremotos, en particular las fallas que, por su actividad en épocas geológicas recientes, pueden ser objeto de asociaciones neotectónicas y sísmicas. Los ejemplos de sismos más o menos alineados con accidentes importantes son particularmente abundantes y bien manifiestos en las Depresiones de Granada y Almería. (Ver Plano I).

Las direcciones predominantes de las fracturas (Vidal, F.; Sanz de Galdeano, C y De Miguel, F. 1984) son N 70-100 E, N 120-150 E y N 10-30E. Las mismas presentan importantes saltos verticales.

Dentro de la Depresión de Granada hay sectores más subsidentes (Santa Fe-Granada, Padul-Durcal y al NE de Sierra Elvira) que otros. Aquellos están relacionados con fracturas de dirección N 120-150 E, principalmente.

La mayor sismicidad actual está relacionada con los sectores más subsidentes y con las fracturas del Sur de la Depresión.

Los focos de los sismos son superficiales en su mayoría salvo los de 1954 y 1973 que fueron muy profundos y el del 20 de junio de 1979 considerado como subcortical.

4.- HIDROGEOTERMIA

Previamente se desea advertir como introducción general a este Capítulo que el contenido (Hidrogeotermia) del mismo, especialmente en lo referente a datos cuantitativos (alimentación, descargas, niveles piezométricos, recursos, balances, reservas y características hidráulicas fundamentalmente) no constituye propiamente el objeto de este estudio por lo cual simplemente se ha pretendido exponer una cuantas referencias hidrogeológicas, geoquímicas, geotermométricas, etc. que sirviesen de marco complementario a la base geológica cuya elaboración constituía el objetivo fundamental de este trabajo.

En el presente Capítulo se trata de la Hidrogeología - aplicada a la Geotermia. Es decir, un análisis de los distintos almacenes o acuíferos presentes en la zona de estudio (agrupado según los sistemas hidrogeológicos definidos en los mismos) que, en principio, puedan tener interés geotérmico - debido, principalmente, a la profundidad relativamente grande alcanzada por los citados almacenes.

Este enfoque hidrogeológico de los problemas que, en cualquier estudio geotérmico resulta útil y necesario, aunque en modo alguno excluyente, viene a ser aún más imprescindible en la presente zona de estudio donde, por diversos conductos (geología, geoquímica, geotermometría, etc.) parece poder excluirse la existencia de una verdadera alta entalpía (no así la media o incluso media-alta entalpía, con temperaturas de hasta 150° C), así como la noción de "provincia geotérmica" ligada a fenómenos más o menos locales relacionados, a su vez, con posibles cámaras magmáticas así mismo locales. El conjunto de datos geológicos, hidrogeológicos, geofísicos, geoquímicos, geotermométricos, etc., que se posee actualmente sobre la zona de estudio apoyan la idea de la existencia de flujos de calor más o menos importantes pero, en cualquier caso, de carácter regional (es decir, ligados a fenómenos de ámbito geográfico muy extenso y, a la vez, continuo) y no local, por cual el concepto de "provincia geotérmica" hay que relacionarlo más bien, en este caso, con el de sistema hidrogeotérmico, es decir un sistema hidrogeológico "en profundidad"

definido, como cualquier otro sistema de ese tipo, por sus límites hidrogeológicos y regido por una dinámica parecida (alimentación, descarga, recursos, reservas, etc.) si bien destacando su carácter geotérmico esencial, que estaría constituido por los mecanismos de adquisición y transporte del calor en profundidad.

Aparte, y como idea general que viene a apoyar lo expresado más arriba, cabe adelantar el hecho, comprobado en otras zonas (Campo de Cartagena, Almería, etc.) de las Cordilleras Béticas con problemas parecidos a los de la presente, de que los gradientes geotérmicos más o menos fuertemente - anómalos y de carácter local detectados en áreas diversas, - siempre pueden explicarse utilizando razonamientos pura y simplemente hidrogeológicos (generalmente transporte de agua caliente a través de fallas, desde acuíferos profundos hasta otros más superficiales).

Y, por último, abundando en lo anterior, otrosí cabría decir de las diversas anomalías geoquímicas, las cuales, aunque no provengan propiamente del almacén acuífero sino que tengan un origen más profundo, éste parece ser en cualquier caso, también de carácter regional, por lo que el acuífero - se las apropia y distribuye en profundidad de tal modo que el conjunto formado por un mismo tipo de anomalías (o superposición de anomalías) geoquímicas detectadas en superficie, puede relacionarse más o menos exactamente con la extensión y distribución espacial de un determinado sistema hidrogeotérmico en profundidad.

4.1.- ROCAS ALMACEN

Todas las rocas almacén que poseen un cierto interés geotérmico, en la zona de estudio, son de tipo carbonatado.

Las principales rocas almacén pertenecen al Triásico medio superior y Jurásico (Lías inferior)^(*). No obstante, localmente, también pueden tener interés geotérmico los depósitos del Tortonense inferior.

En el Paleozoico, tanto del Nevado-Filábride como del Alpujárride y Maláguide, por su carácter predominantemente esquistoso o grauwaquico (impermeable) no existen almacenes de interés.

El Permotriásico (Triásico inferior) es asimismo esquistoso-cuarcítico (Nevado-Filábride), filítico-cuarcítico (Alpujárride) o arcilloso (Maláguide y Unidades afines) por lo cual también carece de interés.

En el Triásico medio-superior, predominan los mármoles (Nevado-Filábride y, en parte, Alpujárride) o bien las dolomías y calizas (Alpujárride) constituyendo, en ambos dominios buenos almacenes geotérmicos.

No existen, como ya se dijo, depósitos significativos de edad situada entre el Triásico superior y el Mioceno medio-superior dentro de la Zona Bética s.str. a excepción del Maláguide y Unidades afines y de los "mármoles conglomeráticos" (Eoceno?) del Nevado-Filábride.

En el Jurásico hay que resaltar por sus buenas características hidrogeológicas en general, las dolomías y calizas del Lías inferior tanto de las Unidades afines al Maláguide s.str. (el Jurásico de este último se encuentra casi totalmente erosionado por lo cual resulta ocioso hacer mención del mismo) como del Subbético sensu lato (Subbético Medio y Meridional).

(*) Salvo en el caso de los "mármoles conglomeráticos" (Eoceno?) del Nevado-Filábride

El resto del Jurásico, el Cretácico, el Eoceno inferior y medio, los terrenos desde el Eoceno superior al Aquitanien se incluído, así como los depósitos Inter-Mantos Subbéticos (Burdigaliense inferior y Burdigaliense superior-Langhiense) son fundamentalmente impermeables por la gran abundancia de margas que todos incluyen.

En los Terrenos de Fosa o Cobertera, sólo cabe destacar como posibles almacenes las calcarenitas y conglomerados del Tortoniense inferior que se encuentran casi en la base del relleno Mio-Plio-Cuaternario de la Depresión de Granada.

4.2.- ROCAS SELLO

Las rocas sello presentes en la zona de estudio consisten bien en formaciones de esquistos y/o filitas con cuarcitas del Alpujárride (cuando se trata de almacenes en el substrato Nevado-Filábride o dentro del propio Alpujárride) o de grauwacas o cuarcitas más arcillas (a techo del Alpujárride o base del Maláguide) o bien en potentes formaciones de margas, en el caso del Jurásico Cretácico, Paleogeno y Mioceno inferior del Subbético y Unidades afines al Maláguide, a menudo con intercalaciones de calizas y/o areniscas en bancos lo suficientemente delgados y separados entre sí, como para mantener el caracter impermeable del conjunto de la formación o incluso de margas y limos (en el Neógeno-Cuaternario de los Terrenos Post-Mantos).

El Paleozoico y Permotriás del Nevado-Filábride constituyen un conjunto impermeable potente (5.000 m mínimo) y continuo situado al muro del sistema hidrogeotérmico más profundo de la zona de estudio.

El Permotrías al menos del Manto de Lújar (Alpujárride inferior), constituye el muro impermeable de las dolomías y calizas del mismo manto, a la vez que el techo impermeable del acuífero geotérmico Nevado-Filábride.

El Paleozoico y Permotrías del Manto del Trevenque (Alpujárride intermedio) constituyen el techo impermeable del Alpujárride inferior, a la vez que el muro impermeable de las dolomías, mármoles dolomíticos y calizas del propio Manto del Trevenque.

El Paleozoico y Permotrías del Manto de los Guajares - (Alpujárride superior) constituyen el techo impermeable del Alpujárride intermedio, a la vez que el muro impermeable del almacén albergado en los Mármoles del propio Manto de los Guajares.

El Paleozoico y Permotrías del Manto del Maláguide s. str. y Unidades afines al Maláguide constituyen el techo impermeable del Alpujárride superior, a la vez que el muro impermeable de las dolomías y calizas del Lías inferior del propio Manto citado.

El Trías del Subbético s.lato (Subbético Medio y Meridional) constituyen el muro impermeable de las dolomías y calizas liásicas del propio Subbético, a la vez que el techo impermeable de las unidades afines al Maláguide s.str. (en la medida en que, eventualmente, el Subbético se encuentra retrocabalgando a estas últimas).

Por último, el Mioceno margoso-limoso conforma el sello fundamental, a techo, de los acuíferos de mayor interés geotérmico de la zona de estudio, situados en el substrato. Este mioceno constituye, a la vez, el techo y muro impermeables

del acuífero geotérmico albergado en su seno, correspondiente a las calcarenitas y conglomerados del Tortoniense inferior.

4.3.- ACCIDENTES RELACIONADOS CON LAS MANIFESTACIONES TERMALES

Del estudio geológico e hidrogeotérmico de la zona se deduce que existe prácticamente siempre una correlación entre la presencia de manifestaciones termales y la de accidentes tectónicos generalmente de gran magnitud (principalmente cuando se trata de manifestaciones con temperatura de surgencia alta).

Así, los Baños de Alicún de las Torres (acuífero Subbético) están perfectamente alineados con el gran accidente de desgarre de Cádiz-Alicante (o Bullas-Crevillente) de dirección ENE-OSO y que separa en profundidad, la Zona Bética s. str. de las Zonas Subbética y Prebética. Otros ejemplos de alineación con este mismo accidente, fuera de la zona de estudio, son los Baños de Zuñar, Mula, Archena y Fortuna.

Los Baños de Graena (acuíferos Alpujarride y/o Nevado-Filábride) están como mínimo relacionados con fallas de desgarre de dirección NNO-SSE (directriz Guadiana Menor o Río Segura, Valle de Lecrin, etc.) tan corrientes en las Cordilleras Béticas. Otras manifestaciones relacionadas con accidentes de esta misma directriz, fuera de la Zona de estudio, son los Baños de Archena.

Las manifestaciones termales de Sierra Elvira están relacionadas con accidentes de directriz parecida a la de los Baños de Graena y, por otro lado, muy probablemente también

con discontinuidades (posibles fallas de gravedad) detectadas por gravimetría (veáse Plano I) de directriz aproximadamente bética (paralelas al accidente de Cádiz-Alicante).

Los Baños de Alhama de Granada están relacionados con un muy probable accidente de borde de la Depresión de Granada que limita a Sierra Gorda por el Este, de la misma directriz (NO-SE) (Sierra Elvira o Valle de Lecrín) ya señalada anteriormente y, a la vez, con otra falla de gravedad Este-Oeste, asimismo constituyente del borde meridional de la citada Depresión, de modo que dicha manifestación termal quedaría situada así en el cruce de ambos accidentes.

Los Baños de La Malá están claramente en relación con la presencia de un semi-"horst" del substrato Alpujárride de limitado dentro de la Depresión de Granada, por una falla de gravedad situada al Sur del balneario y de dirección Este-Oeste, es decir paralela a la que constituye el borde meridional de la misma depresión y que se acaba de citar.

Las manifestaciones termales del Valle de Lecrín se sitúan, análogamente a los Baños de Alhama de Granada, en el cruce de fallas NO-SE (directriz Valle de Lecrín) con otras E-O (probablemente en relación con la génesis de la subcuenca o entrante de Albuñuelas).

Los Baños de Lanjarón están ubicados, desde una perspectiva regional en el cruce del "lineamiento del borde occidental de Sierra Nevada" de dirección NNE-SSO con el corredor tectónico del borde Norte de Sierra Tejeda y las Alpujarras de dirección E-O y, desde un punto de vista más local alineados en la Falla del Río Salado (NNO-SSE). Otra manifestación relacionada con una falla de la misma directriz que

el lineamiento occidental de Sa Nevada, pero fuera de la Zona de estudio, es la de Baños de Fuensanta (Murcia).

Por último, la ubicación del fenómeno termal de las Fuentes de Albuñol no necesita fundamentarse en la presencia de una determinada falla (sin desechar, por eso, su existencia) sino que constituiría simplemente la lógica descarga natural del sistema hidrogeotérmico albergado en las calizas y dolomías del Manto de Lújar (Alpujárride inferior), cuya precisa situación es coherente hidrogeológicamente por constituir uno de los pocos puntos de esa zona donde afloran dichos materiales permeables y a la vez, el de menor altitud topográfica de todos ellos (otra cuestión aparte de la situación es la explicación del por qué del fenómeno termal en si, pero esto se trata en otro apartado -ver 4.5. -).

Por el contrario, no es clara la presencia en el área de estudio de fallas con directrices tan señaladas como las ONO-ESE (v.gr. Falla de Alhama de Almería-Illar), NE-SO (Horst de Guardias Viejas) y ENE-OSO (Falla del Guadalentín) que dan lugar a manifestaciones termales tan importantes como las que a lo largo de esos accidentes se encuentran.

Así pues de la atenta observación de la ubicación concreta de los distintos fenómenos termales incluidos dentro del presente Estudio así como de la paralela consideración de la posición del resto de las manifestaciones termales más importantes de las Cordilleras Béticas (Cartagena, Murcia, Almería, etc.) se deduce que en la práctica totalidad de los casos los diferentes puntos termales estan siempre más o menos (a menudo casi perfectamente) alineados con accidentes - generalmente importantes de gran penetración (frecuentemente se trata de desgarrres) vertical que, en bastantes casos, se cruzan precisamente en el lugar donde se produce la manifestación termal.

4.4.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO DE BAÑOS DE LANJARON O DEL NEVADO-FILABRIDE

Se tratará aquí de un único sistema hidrogeotérmico del Nevado-Filábride, a sabiendas de que muy probablemente existen importantes desconexiones hidrogeológicas, no por falta de continuidad estratigráfica de la serie carbonatada en sí, sino más bien por la presencia comprobada de importantes accidentes verticales (faltas de gravedad y desgarre) o de otro tipo que, eventualmente, puedan inducir la constitución de "pantallas" impermeables mediante desplazamientos laterales y/o verticales de los tres constituyentes estructurales del sistema (almacén, techo y muro del acuífero).

4.4.1.- Formación acuífera

MARMOLES CIPOLINICOS del Triásico Medio-superior y "MARMOLES CON GLOMERATICOS" (Eoceno?) pre-mantos de la parte alta del Complejo Nevado-Filábride. Eventualmente (si la fracturación local es suficiente) pueden entrar a formar parte del acuífero los gneises fundamentalmente situados en la base de dichos mármoles (aunque también intercalados entre los mismos) e incluso los esquistos inferiores (v.gr. manantial ferruginoso nº1, en el Arroyo Salado-Lanjarón-).

4.4.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura

El MURO del acuífero está constituido por los esquistos y cuarcitas del Permotrías y Paleozoico del propio Complejo Nevado-Filábride.

El TECHO del acuífero viene definido, generalmente, por las filitas y cuarcitas (Permotrías) y, en su caso, también por los esquistos del Paleozoico (en la medida en que, eventualmente, estos últimos esten presentes en la base del Man

to) ambos del Manto de Lújar (Alpujárride inferior).

Los LIMITES HIDROGEOLOGICOS laterales estan señalados, por una parte, por todo el borde de Sierra Nevada (a lo largo del cual se sitúan los afloramientos y subafloramientos de los marmoles Nevado-Filábrides) que constituye, en sí, un gran afloramiento del muro del acuífero.

En lo que se refiere a la definición del resto de los límites del sistema se entra de lleno en el terreno de la especulación geológico-regional en la que, por el momento y dada la gran dificultad de la zona de estudio, caben diversas hipótesis coherentes consigo mismas pero en parte contradictorias entre sí, de modo que la definición de aquellos límites hidrogeológicos está condicionada a la elección previa de una u otra de aquellas hipótesis. Esto ha sido lo obligado en un trabajo como el presente (en el que se trata de orientar a corto o medio plazo, posibles realizaciones prácticas -v.gr. sondeos profundos-) por lo cual y, dentro de una prudente reserva respecto a otras posibles interpretaciones (siempre y cuando las mismas sean coherentes consigo mismas y con el mayor número posible de los datos fiables establecidos hasta el momento) aquí se ha adoptado un idea particular y concreta de la tectónica regional (principalmente en lo referente al origen cinemático y edad de constitución de las relaciones geométricas entre los distintos complejos de la Zona Bética s.str. y, a su vez, entre el conjunto de estos últimos y la Zona Subbética) cuya descripción se ahorra ya que queda explícita y gráficamente puesta de manifiesto en los diversos mapas y esquemas y, principalmente, en los cortes estructurales, incluidos en el Plano I, así como en diversos epígrafes del Capítulo 3 (Geología).

La ESTRUCTURA, a grosso modo, consiste en un gran cierre perianticlinorio (se refiere al anticlinorio constituido por el núcleo de Sierra Nevada) cuyos límites (veáse el párrafo anterior) se salen fuera de la zona de estudio por el Este, son, en principio, indefinibles por el Oeste y únicamente pueden concretarse, como límite máximo, por el Norte, estando definido este último por el Accidente de Cádiz - Alicante.

4.4.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura

La ALIMENTACION se lleva a cabo, en principio y por un lado, por infiltración directa del agua de lluvia a través - de los afloramientos de los mármoles triásicos del Complejo Nevado-Filábride que están ubicados a lo largo de los bordes septentrional, occidental y meridional de Sierra Nevada. Pero por otro lado, debe existir una alimentación indirecta, relativamente importante a partir de los cauces fluviales, ya que esos afloramientos de los mármoles están a menudo atravesados por los principales ríos y arroyos de la región los cuales reciben aportes regulares debido a los períodos de deshielo.

Teniendo en cuenta la superficie total (10 km) de infiltración, considerando un 25% de lluvia útil sobre la pluviometría (750 mm) estimada sobre los afloramientos permeables y aplicando un coeficiente de infiltración del 35% (pequeño, dadas las fuertes pendientes aunque en ocasiones pueda ser mayor por efecto de las nevadas, dada la altura relativamente elevada de la mayoría de las áreas de infiltración), la alimentación obtenida es de $0,65 \text{ hm}^3/\text{año}$. A esto habría que añadir, como se ha expresado más arriba, la infiltración indirecta a través de los cauces fluviales que representa un aporte difícil de evaluar.

Las únicas DESCARGAS de este acuífero actualmente conocidas dentro de la zona de estudio, están constituidas por las fuentes termales de Los Baños de Lanjarón y, posiblemente (se trata de un tema que aquí se apunta aunque se sale de los límites de este estudio) también por la descarga termal de Los Baños de Graena (es evidente que en Graena existe además un acuífero Alpujárride pero es probable que la relativamente pequeña profundidad alcanzada por este último no sea suficiente para explicar las elevadas temperaturas -88º C - deducidas allí por geotermometría química.

Los diferentes manantiales termales de Los Baños de Lanjarón totalizan un caudal de 8 l/s, equivalente a 0,25 hm³/año. Las fuentes termales de Los Baños de Graena representan 10 l/s, equivalentes a 0,3 hm³/año.

La TEMPERATURA de surgencia es en Los Baños de Lanjarón, de 26-28º (Manantiales de Baños y Ferruginoso, respectivamente) y, en Los Baños de Graena de 41ºC.

La temperatura deducida, en estudios anteriores, por geotermometría química es de 120-150º C para Baños de Lanjarón y de 88º C para Baños de Graena.

La profundidad media (allí donde la potencia del Neógeno Post-Mantos se estima en 1.500 m) alcanzada por el almacén carbonatado Nevado-Filábride bajo la Depresión de Granada sería del orden de 4.000 m (La profundidad máxima, en las zonas donde se estima que el Neógeno Post-Mantos alcanza su máxima potencia -3.000 m- podría ser hasta de 5.000-6.000 m).

Si a la profundidad media anterior se aplica un gradiente medio normal y constante (considerando, como explicación del fenómeno termal, que la adquisición del calor se realiza

simplemente a medida que la circulación del agua de infiltración progresa en profundidad a través de rocas cada vez más calientes) de 0,033°C/m, se obtendrían temperaturas en almacén de 147°C, las cuales se corresponden bastante bien con las deducidas por geotermometría química.

4.4.4.- Nivel piezométrico. Recursos, Balance y Reservas. Características hidráulicas

El NIVEL PIEZOMETRICO del acuífero carbonatado del Nevado-Filábride viene dado, en principio, por la cota (670 m. s.n.m. -Depósito de Baños-) de los manantiales termales de Baños de Lanjarón (y, eventualmente, por la cota -950 m.s.n.m.- de los Baños de Graena).

Los RECURSOS totales mínimos, de acuerdo con la descarga natural de Baños de Lanjarón son de 0,25 hm³/año.

El BALANCE entre alimentación (0,65 hm³/año) y recursos (0,25 hm³/año) mínimos resulta algo desequilibrado (a no ser que se tuviera en cuenta a los recursos -0,3 hm³/año- que representan los Baños de Graena) a favor de la primera, por lo cual puede pensarse en una descarga subterránea vertical y hacia arriba del sistema Nevado-Filábride hacia otros acuíferos termales situados en un nivel superior (Alpujárride) o bien en descargas directas de los mármoles por manantiales -frios de caudal aún no suficientemente bien evaluado.

Las RESERVAS totales para un área mojada de 1.000 km², 25 m de potencia media y una porosidad eficaz del 5-10% (aunque por tratarse de un acuífero confinado debería hablarse más bien de coeficiente de almacenamiento, sólo se trata de dar una somera idea del volumen total de agua caliente alber-

gada en el almacén y en teoría susceptible de transportar el calor contenido en el mismo) son de 1.250-2.500 hm³.

Las CARACTERISTICAS HIDRAULICAS deben ser, en general, bastante buenas debido a la importante permeabilidad por fracturación y, eventualmente, karstificación que, a priori, pueden presentar los mármoles Nevado-Filábrides.

4.4.5.- Areas más favorables para la prospección y explotación (Plano I)

La posibilidad de alcanzar directamente el acuífero Nevado-Filábride bajo la Depresión de Granada resulta prohibitiva ya que, además de tratarse del sistema hidrogeotérmico estructuralmente más bajo de entre los pertenecientes al substrato, existe la dificultad añadida del enorme espesor de Neógeno allí presente. No obstante, cabe la posibilidad de pensar que en áreas muy restringidas y una vez alcanzado (en un teórico sondeo geotérmico) el substrato bético permeable (Alpujárride superior, seguramente) puede existir cierta conexión hidrogeotérmica a través de fallas que afecten a dicho substrato y pongan en conexión el almacén Nevado-Filábride (más profundo y, por tanto, más caliente y a mayor presión) con los acuíferos más superiores (de diferentes mantos alpujárrides).

Así pues, en principio y en lo que se refiere al área objeto de estudio (se dejan aparte las zonas meridionales de la Depresión de Guadix -Baños de Graena- y Baza, el Valle del Almanzora y las Cuencas de Vera y Huerca Overa, cuyo estudio sería de interés por ser allí los espesores locales de Neógeno existentes sobre el Nevado-Filábride mucho menos importantes), las AREAS MAS FAVORABLES para la prospección y explotación del sistema hidrogeotérmico Nevado-Filábride -

son aquellas zonas de afloramiento de los materiales del subtrato (generalmente Alpujárride) y próximas al borde del dominio Nevado-Filábride donde o no existe cobertera del Neógeno o esta última no es muy potente. Resultan así, como áreas más interesantes, los alrededores meridionales de Lanjarón hasta el Río Guadalfeo como límite Sur (incluyendo la pequeña Depresión de Orjiva), y el borde oriental del Valle de Lecrín entre Niguelas y Tablate (sería de interés investigar la posibilidad que aquí se apunta, de una relación geotérmica entre alguna o algunas de las aguas del Valle de Lecrín - en una de ellas la termometría geoquímica dió 138º C - con el almacén Nevado-Filábride, ya que esta última temperatura resulta muy difícil de justificar sólo en base a la presencia de acuíferos alpujárrides bajo el valle de Lecrín; de confirmarse dicha posibilidad, la zona del Valle de Lecrín constituiría quizás un área aún más favorable en muchos aspectos - mejores accesos, topografía más favorable, inexistencia de perímetros de protección de aguas minerales, mejores condiciones naturales del entorno para posibles aprovechamientos de la energía geotérmica, etc. - que la de Lanjarón, para una futura prospección y explotación geotérmicas de dicho almacén).

4.5.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO MULTICAPA DEL ALPUJARRIDE

Por razones de sencillez y para evitar reiteraciones - se trata aquí como un único sistema multicapa del Alpujárride de lo que, en realidad, constituye tres sistemas hidrogeotérmicos superpuestos entre sí y a priori bien diferenciados mediante importantes capas impermeables intermedias aunque, eso sí, no necesariamente encontrándose siempre los tres, a la vez, en una misma vertical.

Además, y por otro lado, podría decirse para cada uno de esos tres "subsistemas" del Alpujárride algo similar a lo

ya expresado (veáse 4.4.) para el Sistema de Baños de Lanja-
rón respecto a la muy probable existencia de desconexiones -
hidrogeológicas debidas a causas tectónicas.

4.5.1.- Formaciones acuíferas

Manto inferior o de Lújar: DOLOMIAS OSCURAS Y CALIZAS
predominantes con intercalaciones de margocalizas, argilitas,
calcoesquistos y filitas, del Triásico medio-superior.

Manto intermedio o del Trevenque: DOLOMIAS, MARMOLES -
DOLOMITICOS, MARMOLES con intercalaciones esquistosas y CALI-
ZAS, del Triásico medio-superior.

Manto superior o de los Guajares: MARMOLES con biotita
y MARMOLES con tremolita del Triásico medio-superior.

4.5.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura

El MURO del almacén inferior o de Lújar está constituí-
do por las Filitas y Cuarcitas del Permotrías del propio Man-
to. El Muro del almacén intermedio o del Trevenque, por las
Filitas y Cuarcitas del Permotrías más los Esquistos con es-
taurolita y clorita y Esquistos con biotita, epidota y pla-
gioclasa del Manto del mismo nombre. El Muro del almacén -
acuífero superior o de Los Guajares, por la formación de es-
quistos con biotita, Cuarcitas, Esquistos negros grafitosos
con sillimanita, estaurolita y andalucita y Gneises migmalíti-
cos y Migmatitas pertenecientes, en conjunto, al Paleozoico-
Permotrías asimismo del propio Manto de los Guajares.

El TECHO del almacén inferior o de Lújar es el Muro del
almacén intermedio o del Trevenque. El techo de este es, a
su vez, el Muro del almacén superior o de Los Guajares. En

fin, el techo de este último está constituido por el Paleozoico (Grauwacas, Filitas, Calizas y Cuarцитas) y Permotrias (Areniscas, Conglomerados y Arcillas rojas con yesos) del Maláguide s.str. y Unidades afines al mismo, o bien directamente por la cobertera neógena post-mantos de la Depresión de Granada (en el tercio meridional de la misma).

Los LIMITES HIDROGEOLOGICOS laterales también dependen, en sentido estricto, del subsistema hidrogeotérmico que se considere y además puede repetirse aquí practicamente punto por punto lo que ya se dijo (veáse 4.4.2.) respecto a la definición de los mismos en el sistema del Nevado-Filábride. Categóricamente, pues, sólo pueden señalarse más o menos claramente los límites siguientes. Por una parte, todo el borde de Sierra Nevada (a lo largo del cual estan situados los afloramientos de las filitas y cuarcitas del Alpujárride inferior) constituye un límite para el almacén del Manto inferior o de Lújar; este mismo almacén es, además, la única formación acuífera del Alpujárride que tiene cierta continuidad estructural e hidrogeológica (bien asegurada, al Sur de Sierra Nevada -v.gr. sistema hidrogeotérmico de Albuñol, de gran extensión lateral y gran espesor acuífero-) hacia el Este. Por el contrario, se supone que el acuífero del Manto Intermedio o del Trevenque no tiene una buena continuidad por el Este más alla de los propios límites orientales de la Depresión de Granada (debido a que el Alpujárride intermedio situado al Sur de Sa Harana tiene una posición tectónica más superficial y moderna -veáse tectónica 3.2.- que la del situado más al Oeste) y del Valle de Lecrín; por el Sur, los límites máximos de este subsistema vienen señalados aproximadamente por las estribaciones meridionales de Sierra Tejeda y Sierra Almirajara. Por último, el acuífero del Manto de Los Guajares tiene como límites máximos, oriental y meridional, los mismos bordes de la Depresión de Granada. Los limites

occidentales de los tres subsistemas son indefinibles (aunque es previsible que, al menos los dos subsistemas superiores, alcancen hasta el propio borde occidental de la Depresión de Granada) y, en cuanto al límite Norte, éste estaría definido, como máximo, por el Accidente de Cádiz-Alicante.

La ESTRUCTURA es la de tres grandes mantos de corrimiento de gran envergadura superpuestos entre sí y, en conjunto, sobre el Complejo Nevado-Filábride. Lógicamente esta estructura tectónica relativamente sencilla y primitiva resulta complicada, posteriormente, por pliegues, retrocabalgamientos y juegos diversos de fallas de gravedad y desgarre que afectaron a la región en general.

4.5.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura

La ALIMENTACION debe realizarse, en principio, separadamente para cada uno de los tres subsistemas alpujárrides, si bien en la misma forma. Así pues, dicha alimentación o recarga se lleva a cabo por infiltración directa del agua de lluvia a través de los afloramientos de los distintos materiales carbonatados, ya citados, del Triásico Alpujárride que se sitúan, considerando el conjunto de los tres sistemas, a todo el alrededor de Sierra Nevada, entre los Valles de Lecrín y Arenas del Rey y también a lo largo de las Sierras de Tejeda y Almijara. Pero, por otro lado y al igual de lo que se mencionó para el caso del acuífero Nevado-Filábride, debe existir además una alimentación indirecta relativamente importante a partir de los cauces fluviales ya que esos afloramientos carbonatados están a menudo atravesados por los principales ríos y arroyos de la región los cuales, en bastantes casos (principalmente en los cauces situados en el perímetro de Sierra Nevada) reciben aportes relativamente regulares debido a los periodos de deshielo.

A la hora de cuantificar mínimamente la infiltración - sí conviene (por lo que pueda tener de significativo en el momento de contrastar con la situación y características -entre ellas, el caudal- de las distintas descargas termales de la región) tener en cuenta cada subsistema por separado. Así la zona de infiltración del Alpujárride inferior o de Lújar está bien definida limitándose a la propia Sierra de Lujar y "ventanas de la región de Albuñol" y al borde nororiental de Sierra Nevada, entre La Peza y el Cerro de Huenes. La zona de infiltración del subsistema Alpujárride intermedio o del Trevenque es la más grande, con mucho, de los tres subsistemas alpujárrides e incluso de todos los sistemas de interés geotérmico incluidos dentro de la zona de estudio. En cuanto a la zona de infiltración del Alpujárride superior o de Los Guajares es de extensión real mínima (de sólo unos pocos km^2 al Sur de Alhama) ya que la parte más importante (situada en la Sierra de los Guajares) de los afloramientos carbonatados del Manto de Los Guajares debe estar más bien en conexión hidrogeológica con el almacén del Alpujárride intermedio (veáse cartografía, Plano I) que con el del propio subsistema de Los Guajares.

Por lo dicho y también por lo que se añadirá más adelante (veáse párrafo siguiente, DESCARGAS) la estimación que sigue se refiere sólo al subsistema Alpujárride intermedio o del Trevenque. Teniendo en cuenta la superficie (650 km^2 , descontada una parte importante que drena hacia el Mediterráneo y no hacia la Depresión de Granada) de infiltración considerando un 25% de lluvia útil sobre la pluviometría (750 mm de media) estimada sobre los afloramientos permeables y aplicando un coeficiente de infiltración del 40%, la alimentación obtenida es de $49 \text{ hm}^3/\text{año}$ (1.550 l/s aproximadamente).

Al igual que se ha hecho con la infiltración, a la ho-

ra de cuantificar y calificar las diferentes DESCARGAS, conviene analizar cada una de ellas (o grupo de las mismas) por separado tratando de ponerlas en relación con el sistema que mejor justifique la existencia de las mismas en base a una simple lógica hidrogeológica. Y respecto a esto es preciso aclarar que el hablar de descargas se refiere a la circulación profunda (circulación hidrogeotérmica), la cual puede ser hasta cierto punto independiente de la circulación subterránea que da lugar a los manantiales de aguas frías relacionados con los mismos almacenes.

Así, el subsistema inferior o de Lújar descarga probablemente al Norte, por los Baños de Graena (veáse 4.4.3. donde este fenómeno termal se explica, al menos en parte, también en relación con el Nevado-Filábride) y, con seguridad, al Sur, por los manantiales de Albuñol (y, más al Oeste, ya fuera de la zona de estudio, por Fuente Marbella -Berja-); esto quiere decir que la escorrentía subterránea profunda (circulación hidrogeotérmica) de este subsistema se dirige, fundamentalmente, hacia el exterior de la zona de estudio. (*)

El subsistema intermedio o del Trevenque (en el que se incluye a los mármoles de Sierra Tejeda y Sierra Almirajara) es responsable, probablemente, no sólo de las pequeñas manifestaciones termales del Valle de Lecrín (veáse, no obstante, 4.4.5.) y La Malá (cuya adscripción a este subsistema resulta más o menos evidente) sino también de la, en principio, mucho más enigmática fuente de Los Baños de Alhama de Granada. Así, no es lógico que esta fuente pertenezca al acuífero de Sa Gorda-Unidad de Zafarraya (Subbético Meridional) por tratarse, este último, de un acuífero superficial y frío cuya continuidad estructural (y, por tanto hidrogeológica) bajo la Depresión de Granada es más que discutible y cuyo nivel máxi

(*) Otra posible descarga de este sistema sería el manantial de Bañuelos (2 l/s, 33° C)

mo de profundidad (el Subbético constituye el nivel estructural superior en la zona de estudio en general) sería, en cualquier caso insuficiente para explicar el grado de termalismo allí existente (aparte existen razones hidrogeológicas -com. oral de M. del Valle- como la constancia del caudal y mayor nivel piezométrico de Los Baños de Alhama (780 m.s.n.m.) con respecto al Manantial de Guaro, a 700 m.s.n.m. -este último es capaz de secarse en verano mientras el otro permanece con caudal constante-, todo lo cual aboga por una independencia de la manifestación de Baños de Alhama con respecto al Subbético). Tampoco es lógico relacionar a esta manifestación con el sistema hidrogeotérmico del Maláguide y Unidades afines -ya que, como se verá (4.6.) el área de alimentación de este último es insuficiente para justificar el caudal (110 l/s) de Los Baños de Alhama. Y, por último, lo mismo cabe decir respecto al subsistema del Alpujárride superior o de Los Guajares. Parece pues, por eliminación, que el manantial de Alhama sólo puede justificarse con un sistema a la vez estructural e hidrogeológicamente bien "enraizado" en profundidad - (que justifique la temperatura -40°C-) y, a la vez, suficientemente bien alimentado (adviértase que la infiltración estimada sólo para los mármoles de Sa Tejeda es de 6-9 hm³/año -200-300 l/s- más que suficientes para justificar los 110 l/s -3,5 hm³/año- del manantial de Alhama) que no puede ser otro, por tanto, que el constituido por los mármoles de Sierra Tejeda y Sierra Almijara (subsistema Alpujárride intermedio o del Trevenque). De lo anterior se deducirá que el hecho de que el agua termal de Alhama aflore en contacto con calizas jurásicas (probablemente de la Unidad de Zafarraya-Subbético Meridional-) no indicaría más que una conexión última, a modo de vía fácil de salida del agua termal, de origen profundo con el acuífero jurásico, facilitada por la naturaleza permeable de los citados materiales jurásicos. Por otro lado y como ya se dijo (veáse 4.3.), también contribuye a fijar la ubicación

concreta de Los Baños de Alhama la presencia de dos importantes accidentes (de direcciones E-W y NNO-SSE) de borde de la Depresión de Granada que se cruzan precisamente en ese punto. (*)

El subsistema superior o de Los Guajares debe tener una descarga prácticamente nula como corresponde a su reducida área de alimentación, si bien dicho subsistema puede también, en principio (según se deduce de su posición estructural e hidrogeológica) estar asociado a la descarga de Baños de Alhama.

Las temperaturas de surgencia, así como las deducidas, en estudios anteriores, por geotermometría química, de las distintas manifestaciones termales son las siguientes:

		<u>T (º C)</u>	
	- Bañuelos	33	
	- Baños de Graena	41	
Grupo del Albuñol	}	- Las Morañas	23
		- Manantial del Río	26
		- El Molino	26
		- El Esperac	26
		- La Alberca	
Grupo del Valle de Lecrín	}	- Urquizar Sur	25
		- Urquizar Norte	24
		- Bacamías	23
		- Otros manantiales (Durcal, Lecrín y Melegís)..	24-25
	- La Malá	28	
	- Alhama de Granada	45	

(*) Otras posibles descargas de este acuífero son los manantiales termales de Lobres (NO de Salobreña)

Las profundidades medias (allí donde la potencia del Neógeno Post-Mantos se estima en 1.500 m) alcanzadas por los distintos almacenes o subsistemas hidrogeotérmicos del Alpujárride bajo la Depresión de Granada serían del orden de - 2.000 m (Alpujárride superior), 2.500 m (Alpujárride intermedio) y 3.000-3.500 m (Alpujárride inferior) (las profundidades máximas, en las áreas donde se estima que el Neógeno Post-Mantos alcanza su máxima potencia -3.000 m- podrían ser hasta de 3.500 m, 4.000 m y 4.5000-5.000 m, respectivamente).

Si a las profundidades medias anteriores se aplica un gradiente medio normal y constante de 0,033º C/m, se obtendrían temperaturas de almacén de 80º C (Alpujárride superior), 95-100º C (Alpujárride intermedio) y 110-130º C (Alpujárride inferior). Como se ve la temperatura del Alpujárride intermedio (probable responsable de las descargas de Alhama y La Malá) se corresponde bastante bien con las obtenidas por geotermometría química en muestras de agua de esas mismas fuentes termales.

4.5.4.- Nivel piezométrico. Recursos, Balance y Reservas. Características hidráulicas

Los niveles piezométricos a priori posiblemente relacionados con el subsistema hidrogeotérmico del Alpujárride inferior son el de Los Baños de Graena (950 m.s.n.m.), Fuentes de Albuñol (280 m.s.n.m.) y los del grupo de manantiales fríos (900 m) situados entre los ríos Genil y Monachil, en el contacto Alpujárrides-Neógeno.

El nivel piezométrico del subsistema hidrogeotérmico del Alpujárride intermedio puede estimarse en base a la cota absoluta de los manantiales termales de Alhama de Granada - (780 m.s.n.m.), La Malá (730 m.s.n.m.) y grupo del Valle de

Lecrín (630-680 m.s.n.m.). En cuanto a niveles piezométricos de descargas frías relacionadas con este sistema, se tiene como más representativos los de los manantiales del Nacimiento del Río Alhama (970 m.s.n.m., 235 l/s) y Játar (1.000 y 1.020 m.s.n.m., 60 y 100 l/s) al suroeste, Pinos del Valle (740 m.s.n.m., 20 l/s), Zaza (680 m.s.n.m., 40 l/s), Hoya Artera (690 m.s.n.m., 10 l/s) y manantiales diversos drenados hacia el Río Albuñuelas (820 m.s.n.m., 80 l/s) en el Valle de Lecrín, y por último, el manantial de Huenes (1.450 m, 50-100 l/s) que drena las dolomías del Trevenque y la fuente de Los Berros (930 m.s.n.m., 30 l/s) situada junto al río Dilar.

El nivel piezométrico del subsistema hidrogeotérmico - del Alpujarride superior es desconocido al no existir descargas representativas del mismo aunque no debe ser, en principio, muy diferente del de los dos anteriores subsistemas bajo la Depresión de Granada.

Los RECURSOS del subsistema inferior no cabría evaluarlos aquí por tratarse de recursos hidrogeotérmicos que tanto en su vertiente septentrional (probablemente representada, al menos en parte, por Los Baños de Graena) como en la meridional (Fuentes de Albuñol y Fuente Marbella, principalmente), se dirigen fundamentalmente hacia regiones situadas fuera de la objeto del presente estudio y, en cualquier caso, la evaluación plena de los mismos sólo puede realizarse en un marco más extenso que abarcase a esas regiones sobre las que este subsistema se prolonga.

Los recursos hidrogeotérmicos del subsistema Alpujarride Intermedio están representados por el caudal conjunto de Los Baños de Alhama (110 l/s), La Malá (7 l/s) y grupo Durcal-Valle de Lecrín (50-60 l/s, conjuntamente), es decir un

total de 5 hm³/año, aproximadamente.

Los recursos hidrogeotérmicos propios del subsistema Alpujárride superior son inexistentes (dada la estructura "colgada" de los afloramientos del mismo) si bien dicho acuífero puede ser alimentado subterráneamente por otros más inferiores (v.gr. Alpujárride intermedio) por debajo de la Depresión de Granada.

En conjunto, el BALANCE entre alimentación en general y descarga o recursos termales es, como se ve, claramente favorable a la primera, por lo cual hay que pensar en la existencia de dos tipos de circulación hasta cierto punto independientes, una más superficial e importante en cuanto a recursos que da lugar a diversos manantiales fríos y otra, de menor volumen, más profunda y con recorridos generalmente mayores que sería la responsable de las surgencias termales.

Las RESERVAS totales (volumen de agua caliente contenido en el almacén) del subsistema inferior serían, en la Depresión de Granada (de acuerdo con las hipótesis tectónicas expuestas en el Plano I y considerando sólo la parte que posee una cobertera impermeable potente -Neógeno Post-Mantos-), para un área mojada de 150 km² (sector situado al Sureste de Granada), 500 m de potencia media y una porosidad eficaz del 5%, de 3.750 hm³. En la vertiente meridional (región de Albuñol), las reservas mínimas (considerando sólo hasta el meridiano de Motril, y sin tener en cuenta, por tanto que este acuífero podría extenderse bastante más al Oeste y Noroeste hasta enlazar con el substrato de la Depresión de Granada) para un área mojada de 500 km², 1.000 m de potencia media y una porosidad eficaz del 5%, serían de 25.000 hm³.

Las reservas totales del subsistema intermedio en la Depresión de Granada (de acuerdo con los mismos supuestos anteriores), para un área mojada de 400 km^2 , 500 m de potencia media y una porosidad eficaz del 5%, serían de 10.000 hm^3 .

Las reservas totales del subsistema superior en la Depresión de Granada es posible que sean relativamente reducidas si, como parece poder extrapolarse de los afloramientos - en los bordes de la Depresión de Granada, este almacén se encontraría bastante erosionado ya antes del depósito de la covertera neógena (lo que puede corroborarse parcialmente por algunos subafloramientos del paleozoico del Alpujárride superior situados dentro de la citada Depresión).

Así pues, las reservas totales del sistema hidrogeotérmico multicapa del Alpujárride bajo la Depresión de Granada serían del orden de 15.000 hm^3 .

Las CARACTERISTICAS HIDRAULICAS deben ser, en principio, buenas debido a la importante permeabilidad por fracturación y, eventualmente karstificación que, a priori, pueden presentar los distintos materiales carbonatados del Alpujárride en general. Como datos concretos, se tiene valores de permeabilidad entre 3×10^5 y 3×10^6 (IGME, Síntesis hidrogeológica de la Cuenca del Guadalquivir) que indicarían un acuífero mediocre aunque se piensa que estos valores puntuales deben estar por debajo de la permeabilidad media del sistema, el cual posee probablemente conductos muy transmisivos que separan bloques de menor permeabilidad interna.

4.5.5.- Áreas más favorables para la prospección y explotación (Plano I)

Las AREAS MAS FAVORABLES para la prospección y explotación del subsistema inferior o de Lújar están constituidas -

por las zonas de baja topografía próximas a la costa mediterránea entre el meridiano de Motril y el de Berja. Así se tiene las Vegas de Motril, Rambla de Albuñol, etc., es decir - allí donde la baja cota permite acercarse más en una eventual perforación, a los afloramientos (Sa de Lújar, "ventanas" de Albuñol, etc.) del almacén situado bajo la cobertera impermeable de paleozoico de los mantos superiores con objeto de poder atravesar un menor espesor de esta última. También - constituyen zonas muy favorables todo el Valle de Lecrín donde la presencia de este sistema está prácticamente asegurada (como se deduce de los datos geológicos de superficie) y lo mismo cabría decir de la parte de la Depresión de Granada situada al Este y Sur-Sureste de la capital aunque aquí las dificultades topográficas y/o los importantes espesores de Neógeno a atravesar constituyen obstáculos a tener en cuenta (a ello hay que sumar el hecho de que tanto en el Valle de Lecrín como en la Depresión de Granada, después del Neógeno - Post-Mantos y antes de alcanzar el Alpujárride inferior habría que atravesar el Alpujárride intermedio y, eventualmente, también el Alpujárride superior). En cuanto al resto de la Depresión de Granada no se puede, con los datos actuales, - afirmar ni negar la presencia del almacén Alpujárride inferior al Oeste del meridiano de Granada.

El área más favorable para la prospección y explotación del subsistema intermedio es el tercio meridional de la Depresión de Granada, más o menos al Sur de una línea que pasa por el centro de Granada-capital, 2 km al Norte de La Malá y 4 km al Norte de la cabecera del pantano de los Bermejales (veáse Plano I). Efectivamente, al Sur de esa línea debe encontrarse prácticamente con plena seguridad el almacén Alpujárride intermedio (como lo atestigua el pequeño afloramiento del mismo, en La Malá) directamente o casi (es bastante probable, en cualquier caso, que se interponga una cober-

tera más o menos potente de Alpujárride superior) bajo el Neógeno Post-Mantos, mientras que al Norte de esa línea la posibilidad de que dicho almacén exista es menor (al estar basada sólo en una hipótesis y aunque esta última se propugne, en este trabajo, como la más posible) y, en caso afirmativo, estaría presente fundamentalmente por debajo de los materiales del Maláguide s.str. y Unidades afines (es improbable aunque no descartable que también estuviera, a la vez, por encima -veáanse Cortes Hidrogeotérmicos en Plano I- tal y como ocurre en la transversal de Sa Harana -veáse Geología Estructural, 3.2.-) y, en la parte más septentrional, aún por debajo del Subbético. Por otro lado, y dentro del área situada al Sur de la línea ya citada, existe un área privilegiada constituida por el semi-"horst" de La Mala, donde en un entorno de unos 2-3 km en dirección N-S y de unos 6-8 km en dirección E-O la cobertura de Neógeno es bastante probable (según se deduce, además, por los datos geofísicos y gravimétricos) que no supere los 1.000 m (tanto menos potente cuanto más cerca del afloramiento Alpujárride de La Malá).

En fin, el área más favorable para la prospección y explotación del subsistema superior es también el tercio meridional de la Depresión de Granada y coincide, por tanto, con el mismo área de esta zona ya indicada en la prospección del subsistema intermedio.

4.6.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO DEL MALAGUIDE S.STR. Y UNIDADES AFINES

Aunque aquí se trata de un único sistema hidrogeotérmico, puede aplicarse punto por punto lo ya expresada para el sistema de Baños de Lanjarón (4.4.) y sistema Alpujárride - (4.5.) respecto a la muy probable existencia de desconexiones hidrogeológicas debidas a causas tectónicas.

4.6.1.- Formación acuífera

DOLOMIAS Y CALIZAS OOLITICAS Y MICRITICAS del Jurásico en general, y, principalmente del Lías inferior, pertenecientes al Maláguide s.str. y Unidades afines (Dorsal y Penibético de Ronda-Torcal).

4.6.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura

El MURO del acuífero está constituido por las arcillas rojas con yesos, areniscas y conglomerados del Permotriás más grauwacas, filitas, calizas y cuarcitas del Paleozoico del propio Complejo Maláguide s.str. y Unidades afines.

El TECHO del acuífero, en la única zona (Depresión de Granada) donde este último tiene interés geotérmico, viene de finido por las tres coberteras siguientes (las dos primeras de las cuales pueden faltar en caso de discordancias erosivas): 1) inferiormente, la propia cobertera Cretácico-Eoceno medio de margas y calizas del dominio Maláguide s.str. y Unidades afines; 2) en medio, los flyschs terciarios de la "Zona Límite"; y 3) superiormente, la cobertera neógena postmantos de la Depresión de Granada.

Los LIMITES HIDROGEOLOGICOS laterales son relativamente claros por el Sur y bastante menos por el Norte ya que, en general, se trata de una estrecha banda de materiales jurásicos que se apoya meridionalmente sobre el resto de la Zona Bética s.str. mientras que se hunde (en la hipótesis estructural adoptada aquí) septentrionalmente bajo la Zona Subbética (a este último respecto puede repetirse aquí lo que ya se dijo respecto a la definición de los límites -4.4.2. y 4.5.2.- en los sistemas Nevado-Filábride y Alpujárride). Así pues, por el Sur este sistema no debe sobrepasar una línea (Plano I) -

que se extiende aproximadamente por el pasillo de Colmenar, Sur de Sierra Gorda, centro de Granada-capital, 3 km al NE del Embalse de Quentar, Albuñuelas y Fonelas.

La ESTRUCTURA general es la de un manto de corrimiento de gran envergadura superpuesto al Complejo Alpujárride y retrocabalgado posteriormente por el Subbético. Lógicamente, esta estructura tectónica relativamente sencilla y primitiva resulta interiormente complicada con pliegues, retrocabalgamientos y fallas inversas hacia el Sur y otras de gravedad y desgarre que afectaron a la región en general, después del corrimiento.

4.6.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura

La ALIMENTACION se lleva a cabo por infiltración del agua de lluvia a través de los afloramientos de las dolomías y calizas jurásicas de las Unidades afines al Maláguide s. str. (ya que el Jurásico de este último se encuentra prácticamente erosionado) que están situados principalmente al Sur de S^a Harana y en la zona de Colmenar-Periana. También es factible que al Sur de S^a Harana exista una pequeña alimentación suplementaria motivada por alguna descarga subterránea de las dolomías triásicas del Manto del Trevenque que allí se encuentran, al menos parcialmente (en la medida en que las filitas permotriásicas de base del manto pueden estar más o menos laminados), directamente en contacto con el almacén Jurásico de la Dorsal s. lato el cual aflora en "ventana" tectónica bajo aquellas.

De acuerdo con la superficie total (50 km²) de infiltración, considerando un 25% de lluvia útil sobre la pluvio-

metría (700 mm) y aplicando un coeficiente de infiltración del 35%, la ALIMENTACION obtenida es de aproximadamente $3 \text{ hm}^3/\text{año}$ (95 l/s).

No se conoce ninguna DESCARGA propiamente termal (es decir con temperatura, bien de surgencia o deducida por termometría geoquímica, suficientemente alta) de la que pueda afirmarse que esté ligada exclusivamente al sistema hidrogeotérmico de las Unidades afines al Maláguide s.str. Y, por el contrario, puede decirse que la mayoría de las manifestaciones termales de la zona de estudio están más o menos claramente relacionadas con sistemas hidrogeotérmicos distintos del presente. Únicamente cabe señalar la probabilidad de que las diferentes manifestaciones termales de Sierra Elvira cuya ligazón con el Jurásico del Subbético medio (4.7.) es evidente, constituyan también, al menos en una pequeña parte, la expresión de la descarga termal principal del almacén jurásico de las Unidades afines al Maláguide. Aparte cabe señalar el manantial de Baños de Vilo, con temperatura de surgencia de 21°C (70°C por termometría geoquímica y que, aunque nace en relación con materiales jurásicos carbonatados afines al Subbético, procedería, como mínimo, de las Unidades (afines al Maláguide) situadas inmediatamente por debajo, o incluso de otras aún más profundas (Alpujárride).

El manantial de Baños de Sa Elvira tenía un caudal de 160 l/s o $5 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Cruz San Julian y García Rossell, 1972), hoy día compensado por la apertura de varios pozos termales en sus cercanías (Planta asfáltica de Cantarrana, Paulino Lizanos y Cementerio de Atarfe).

La TEMPERATURA de surgencia de Los Baños de Sierra Elvira es de 32°C . La temperatura deducida, en estudios anteriores por geotermometría química es de $70\text{-}90^\circ\text{C}$.

La profundidad media (allí donde la potencia del Neógeno post-mantos se estima en 1.500 m) alcanzada por el almacén carbonatado de las Unidades afines al Maláguide bajo la Depresión de Granada sería del orden de 1.500 m (la profundidad máxima, en las áreas donde se estima que el Neógeno - Post-Mantos alcanza su máxima potencia -3.000 m- podrían ser hasta de 3.000 m).

Si a la profundidad media anterior se aplica un gradiente medio normal y constante de 0,033°C/m, se obtendría una temperatura en almacén de 65°C la cual resulta algo inferior a la deducida por geotermometría química para los Baños de Sierra Elvira.

4.6.4.- Nivel piezométrico. Recursos, Balance y Reservas. Características hidráulicas

El nivel piezométrico a priori más probablemente relacionado con el sistema hidrogeotérmico de las Unidades afines al Maláguide es el de Los Baños y sondeos de Sierra Elvira (580 m.s.n.m.), salvo que se considere (lo cual es mucho más probable) a estas manifestaciones termales como procedentes en exclusiva del acuífero Subbético Medio (4.7.).

Otros niveles piezométricos importantes de referencia, aunque más bien en relación con la circulación de aguas frías dentro del sistema son el del manantial de Fuente Grande de Alfacar (1.100 m y 100-200 l/s) y el del nacimiento del río Fardes (1.240 m, 150 l/s).

Los RECURSOS hidrogeotérmicos serían como máximo equivalentes al caudal (160 l/s, 5 hm³/año) de los Baños de Sa Elvira, salvo que se considere, como ya se dijo, a estas manifestaciones termales como originarias en exclusiva del Sub

bético. Esta última es, en realidad la hipótesis más probable, dado que el volumen de las descargas directas, y frías (v.gr. la de Fuente Grande de Alfacar, 100-200 l/s ó 3-6 hm³/año y la del nacimiento del río Fardes, 150 l/s ó 4,5 hm³/año, sin tener en cuenta otras más pequeñas que podrían añadirse) del acuífero ligado a las Unidades afines al Maláguide, es más que suficiente para equilibrar el BALANCE entre alimentación (3 hm³/año) y descarga.

Las RESERVAS totales para un área mojada de 100 km², 200 m de potencia media y una porosidad eficaz del 5% son de 1.000 hm³.

Las CARACTERISTICAS HIDRAULICAS son en general bastante buenas debido a la importante permeabilidad por fracturación y, eventualmente, karstificación que presentan las calizas y dolomías jurásicas de las Unidades afines al Maláguide.

4.6.5.- Áreas más favorables para la prospección y explotación

El área más favorable para la prospección y explotación de este sistema (dejando aparte la Depresión de Guadix que no es objeto de este Estudio aunque contribuya a completar el marco regional del mismo) es el tercio central de la Depresión de Granada entendiendo por tal (Plano I) el comprendido entre un límite meridional que pasara por el centro de Granada-capital, 2 km al Norte de La Malá y 4 km al Norte de la cabecera del Pantano de los Bermejales, y otro límite septentrional definido por una línea extendida desde 4 km al Sur de Baños de Alhama hasta el extremo occidental de Sa Harana (junto al Río Blanco) pasando a unos 2 km al Sur de Sierra El vira. Efectivamente, en el sector comprendido entre las dos líneas acabadas de definir debe encontrarse, prácticamente

con plena seguridad, el almacén jurásico de las Unidades afines al Maláguide (como puede extrapolarse, mínima y fiablemente, de la importante continuidad y presencia de los afloramientos jurásicos de esas Unidades a lo largo del borde septentrional de la zona Bética s.str. en general y en los dos bordes -oriental y occidental- de la Depresión de Granada en particular) directamente o casi (sin que se interponga en todo caso, más que su propia cobertera estratigráfica Cretácico-Aquitaniense) bajo el Neógeno Post-Mantos, mientras que, al Norte de dicho sector, es bastante probable que las Unidades afines al Maláguide se encuentren por debajo del Subbético s.lato (Subbético Meridional y/o Subbético Medio) tal y como es lógico esperar a juzgar por el amplio y claro retrocabalgamiento de dicho Subbético sobre la zona Bética s.str., accidente que, de forma constante, se observa a lo largo de los sectores central y oriental de las Cordilleras Béticas, y, particularmente, en los dos bordes (occidental y oriental) de la Depresión de Granada.

Por otro lado, junto al límite septentrional del sector acabado de citar, concretamente entre 4 y 6 km al SE de Santa Fe (según una línea que uniera esta población con la de Chimeneas) existe (según se deduce por datos gravimétricos y sísmicos) un área privilegiada constituida probablemente por una zona alzada del substrato en la que, a no ser que se trate de Trías Subbético (el cual, en ese caso, probablemente -enlazaría con el Trías de Moraleda de Zafayona), se encontrarían las Unidades afines al Maláguide bajo una cobertera de Neógeno que no superaría los 1.000 m.

4.7.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO DEL SUBBETICO MEDIO

El Subbético Interno o meridional no presenta interés geotérmico dada su peculiar y elevada posición estructural (totalmente alóctona sobre el Subbético Medio o bien ampliamente retrocabalgada sobre las Unidades afines al Maláguide) lo que induce a pensar que debe estar muy precariamente representado bajo los Terrenos Post-Mantos de la Depresión de Granada.

El Subbético Medio constituye el sistema hidrogeotérmico estructuralmente más elevado de entre los pertenecientes al Substrato en general y aunque desde este punto de vista - pueda tener un menor interés geotérmico (en principio, a menor profundidad alcanzada, menor temperatura) presenta ciertas ventajas indudables respecto a los demás acuíferos del substrato, como son : 1) una mayor y mucho menos problemática accesibilidad; en definitiva mayor seguridad a la hora de investigar y explotar el acuífero mediante un posible sondeo, 2) una mayor extensión o superficie asegurada de acuífero; - 3) una mejor conexión hidrogeológica interna entre las distintas partes profundas del acuífero y entre estas últimas y las áreas de alimentación (mayores posibilidades, por tanto, de renovación de los recursos). Y todo ello debido, fundamentalmente, al carácter autóctono o paraautóctono del Subbético Medio en esta transversal que tiene como consecuencia una estructura bastante más sencilla y continua de este dominio respecto de los otros dominios o complejos tectónicos.

4.7.1.- Formación acuífera

DOLOMIAS Y CALIZAS OOLITICAS Y/O MICRITICAS del Lías inferior del Subbético Medio o Subbético s.str.

4.7.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura

El MURO del acuífero está constituido por las arcillas rojas y verdes del Triásico del Subbético medio.

El TECHO del acuífero está definido por la propia cobertera Cretácico-Aquitaniense o Burdigaliense inferior del dominio Subbético Medio a la que hay que añadir, en el área correspondiente a la Depresión de Granada, la cobertera neógena correspondiente a los Terrenos Post-Mantos.

Los LIMITES HIDROGEOLOGICOS laterales vienen definidos por una "cortina" más o menos continua de materiales impermeables triásicos que afloran o subafloran desde Alicún de las Torres, Villanueva de las Torres y Alicún de Ortega al Este, pasando al Norte de Alamedilla y Guadahortuna, y Sur de Montillana, Alcala la Real y Montefrío, hasta dar la vuelta por Loja, Moraleda de Zafayona y, probablemente (bajo los Terrenos Post-Mantos), Sur de Sierra Elvira. No obstante, la continuidad de esa barrera impermeable triásica no está bien asegurada, especialmente en el sector oriental (Campotejar - Guadahortuna - Alamedilla) por lo cual no es descartable una alimentación suplementaria como consecuencia de la prolongación de este acuífero hacia el Subbético situado más al Norte de dicho sector.

La ESTRUCTURA interna es relativamente sencilla y bastante continua, formada por pliegues generalmente suaves y simétricos si bien, en conjunto, este sistema se encuentra, al menos en su borde meridional, retrocabalgado sobre el de las unidades afines al Maláguide.

4.7.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura

La alimentación se lleva a cabo por infiltración del agua de lluvia a través de los afloramientos de las dolomías y calizas liásicas del Subbético Medio que están ubicados - principalmente en las sierras del Norte de la Depresión de Granada (desde los alrededores de Montefrío hasta el Puerto del Zegrí) y en el Mencil.

De acuerdo con la superficie (130 km^2) de infiltración considerando un 25% de lluvia útil sobre la pluviometría (600 mm en las sierras al Norte de la Depresión de Granada) y aplicando un coeficiente de infiltración del 35%, la alimentación obtenida es de unos $7 \text{ hm}^3/\text{año}$ (220 l/s).

Las DESCARGAS termales principales están situadas en el límite occidental del sistema y son, concretamente, las de los Baños de Alicún de las Torres (80 l/s , $2,5 \text{ hm}^3/\text{año}$) y Alicún de Ortega. También las manifestaciones termales de Sierra Elvira (160 l/s , $5 \text{ hm}^3/\text{año}$) están evidentemente relacionadas con este sistema (hay que tener en cuenta que la posición tectónica regional del Jurásico Subbético de Sierra Elvira es muy similar al de Alicún de las Torres, ambos aproximadamente alineados en el "Contacto Límite" Bético Subbético).(*)

Las TEMPERATURAS de surgencia son de 34° C (Alicún de las Torres), 23° C (Alicún de Ortega) y 32° C (Baños de Sierra Elvira). Las temperaturas deducidas en estudios anteriores por geotermometría química son de $60-70^\circ \text{ C}$, $60-70^\circ \text{ C}$ y $70-90^\circ \text{ C}$, respectivamente para cada una de las manifestaciones citadas.

La profundidad media alcanzada por el almacén carbonatado jurásico (referida no sólo al área de la Depresión de

(*) Asimismo podrían estar relacionados los cinco pozos termales (20° C) del área de la Romilla (2 km al O de Chauchina) con anomalías de Litio y Flúor -com. oral de A.Castillo-. Y, análogamente, los manantiales termales de Las Torres (6 km al Sur de Colomera), según se deduce de los datos de García-Rossell, L. (1979).

Granada sino también a las amplias zonas -v.gr. área de Torre Cardela -Alamedilla- donde dicho almacén se encuentra recubierto por su propia y potente cobertera Cretácico - Aquitaniense) del Subbético Medio puede estimarse en unos 1.500 m.

Si a la profundidad media anterior se aplica un gradiente de $0,033\% \text{ C/m}$ se obtendría una temperatura en almacén de $65\% \text{ C}$, la cual se corresponde casi exactamente con la deducida por geotermometría química (excepto para el caso de Sa Elvira, donde esta última resulta algo mayor).

4.7.4.- Nivel piezométrico. Recursos, Balance y Reservas. Características hidráulicas

Los niveles piezométricos más representativos del sistema hidrogeotérmico del Subbético Medio son evidentemente - el de Baños de Alicún de las Torres (780 m.s.n.m.) y Alicún - de Ortega (770 m.s.n.m.) en el extremo oriental y el de Baños de Sierra Elvira (580 m.s.n.m.) correspondiente al extremo occidental. En el supuesto de que no haya desconexiones hidrogeológicas importantes (lo que no es de esperar por tratarse de un sistema con estructura relativamente sencilla y continua), los niveles anteriores pondrían de manifiesto la existencia de un gradiente hidráulico de 0,33 por ciento, que equivale a un salto piezométrico de 200 m en una distancia de aproximadamente 60 km), y un sentido de flujo de ENE hacia OSO.

Los recursos hidrogeotérmicos que son la suma de las distintas descargas termales ya citadas de este sistema, representan aproximadamente, $7,5 \text{ hm}^3/\text{año}$ (240 l/s).

Así pues, el BALANCE entre alimentación ($7 \text{ hm}^3/\text{año}$) y recursos ($7,5 \text{ hm}^3/\text{año}$) está, en el caso de este sistema, bas

tante bien equilibrado. Además y dado que no existen otras descargas frías de volumen importante en relación directa con este sistema, ello implica que éste es un sistema hidrogeotérmico genuino, en el sentido de que la mayor parte de sus aguas experimentan recorridos de carácter termal de modo que las entradas de agua fría (lluvia) y las salidas termales es tan aproximadamente equilibradas en cuanto a volumen.

Conviene hacer notar, por último, que ese equilibrio - en el balance de este sistema confirma, a su vez, la hipótesis de la pertenencia exclusiva de las manifestaciones termales de Sierra Elvira a este sistema, alejando la posibilidad de que dichos fenómenos termales estén en relación con el sistema de las Unidades afines al Maláguide (vease 4.6.3. y 4.6.4.).

Las RESERVAS totales para un área mojada de 700 km^2 , - 200 m de potencia media y una porosidad eficaz del 5%, son de 7.000 hm^3 .

Las CARACTERISTICAS HIDRAULICAS son en general bastante buenas debido a la importante permeabilidad por fracturación y, eventualmente, karstificación que presentan las calizas y dolomías jurásicas del Subbético Medio. Como datos concretos se tiene valores de transmisividad comprendidos entre 10^{-1} y 10^{-3} y coeficientes de almacenamiento de orden de 2×10^{-3} .

4.7.5.- Áreas más favorables para la prospección y explotación

Las áreas donde en principio sería posible la explotación hidrogeotérmica del acuífero Subbético son de dos tipos:

a) áreas donde afloran los Terrenos del Substrato; y b) áreas pertenecientes a la Depresión de Granada.

En el primer caso está el polígono formado por Piñar - Torre Cardela - Alamedilla - Pedro Martinez - Moreda y sus alrededores que constituye una zona donde la estructura general del sistema es extraordinariamente sencilla, suave y continua (se trata, a grosso modo, de un gran sinclinal) y en la que la presencia del almacén carbonatado del Lías inferior - está asegurada a profundidad suficiente (del orden de 1.500 m) que justifique su temperatura moderadamente alta (60 - 70° C, según geotermometría química en Alicún de las Torres) y bajo una cobertera uniformemente impermeable de materiales - del Jurásico medio-superior, Cretácico, Paleógeno y Aquitaniense relativamente potente (1.500 m, aproximadamente, de acuerdo con la profundidad del almacén expresada más arriba).

En cuanto a las áreas pertenecientes a la Depresión de Granada, las mismas deben quedar limitadas entre una línea septentrional extendida de Deifontes a Loja y una línea meridional que vaya aproximadamente desde Baños de Alhama hasta el extremo occidental de Sa Harana pasando a unos 2 km al Sur de Sierra Elvira. Sin embargo, a efectos prácticos, conviene tener en cuenta dos aspectos desfavorables que son: a) es bastante probable que al Oeste de Sierra Elvira (más concretamente, en el triangulo de Baños de Alhama - Moraleda de Zafayona - Sierra Elvira) el Subbético esté principal y/o casi exclusivamente representado por amplias extensiones de Trías (es decir que el Trías de Moraleda de Zafayona se extiende ampliamente hacia el Sur y Este bajo Terrenos Post-Mantos) no estando presente, por tanto el acuífero Jurásico del Subbético Medio; y b) que el resto de la zona, situada al Este-Noreste de Sa Elvira, está constituida (según se deduce por datos geofísicos) por un área de hundimiento o gran sub-

sidencia dentro de la Depresión de Granada por lo cual el al macén hidrogeotérmico del Jurásico Subbético alcanzaría allí profundidades prohibitivas. De estos dos factores desfavorables citados se deduce, en fin, que el área más favorable, dentro de la Depresión de Granada, para la prospección y explotación geotérmica del Jurásico Subbético Medio se reduce, con los datos actuales, a los alrededores de Sierra Elvira.

4.8.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO DEL TORTONIENSE INFERIOR (CALCARENITAS Y CONGLOMERADOS MARINOS)

Constituye el sistema hidrogeotérmico más elevado de entre todos los presentes en la zona de estudio, pero aunque desde este punto de vista pueda tener un menor interés geotérmico (en principio, a menor profundidad alcanzada, menor temperatura) presenta, al igual de lo que se dijo para el Subbético Medio, ciertas ventajas indudables respecto a determinados acuíferos del substrato, como son: 1) una mayor y mucho menos problemática accesibilidad; en definitiva, mayor seguridad a la hora de investigar y explotar el acuífero mediante un posible sondeo; 2) una mayor extensión o superficie asegurada de acuífero; 3) una mayor conexión hidrogeológica interna entre las distintas partes profundas del acuífero y entre estas últimas y las áreas de alimentación (mayores posibilidades, por tanto, de renovación de los recursos). Y todo ello debido al carácter absolutamente autóctono de esta formación calcarenítica (al igual que el resto de los Terrenos Post-Mantos de los cuales forma parte) del Tortonienense inferior que debió depositarse (y sobre cuyos depósitos - cabe esperar, en principio, que estén bien conservados) a lo largo y ancho de una gran parte de la Depresión de Granada.

4.8.1.- Formación acuífera

CALCARENITAS BIOCLASTICAS, CONGLOMERADOS Y ARENAS DEL Tortoniense inferior.

4.8.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura

El MURO del acuífero está constituido por la formación de arcillas, arenas y limos rojos y de margas y limos grises con yeso del Serravaliense que constituyen la base de los Terrenos Post-Mantos en general.

El TECHO del acuífero está definido por el resto de las formaciones margosas y limosas, fundamentalmente impermeables (a excepción del Cuaternario Aluvial), a pesar de contener intercalaciones conglomeráticas, que constituyen el grueso de los Terrenos Post-Mantos y que se extienden desde el Tortoniense superior al Cuaternario.

Los LIMITES HIDROGEOLOGICOS laterales son muy difíciles o aleatorios de establecer sin una base suficiente (como es el caso) de datos geofísicos (sísmica de reflexión y S.E. V. de AB amplio, principalmente) aunque, por lo que puede extrapolarse a partir del estudio de los muchos afloramientos de la formación calcáreo-detritica del Tortoniense inferior existentes principalmente a lo largo de los bordes meridional y oriental de la Depresión de Granada, cabe esperar una presencia, extensión y continuidad relativamente considerables de dicha formación calcarenítica (y, por lo mismo, del acuífero geotérmico que ella representa) bajo la parte central de la Depresión de Granada (veáse esquema correspondiente en Plano I) y, específicamente, bajo Granada-capital.

La ESTRUCTURA es de esperar que sea en general sencilla, a grosso modo tabular, aunque con las lógicas deformaciones por adaptación a un relleno de fosa activa con accidentes verticales de origen distensivo (presencia de "horst" y "graben" más o menos locales) y otros de origen compresivo (pliegues suaves) ambos en relación con distintas etapas neotectónicas.

4.8.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura

La ALIMENTACION se lleva a cabo por infiltración del agua de lluvia a través de los afloramientos de la formación calcáreo-detritica del Tortoniense inferior existentes principalmente en los bordes meridional y oriental de la Depresión de Granada. Además puede existir cierta alimentación suplementaria indirecta o subterránea allí donde (especialmente en la parte meridional de la Depresión) dicha formación se pone en contacto directo con formaciones carbonatadas (acuíferos del substrato (Trías Alpujarride, generalmente).

De acuerdo con la superficie total (40 km^2) de infiltración, considerando un 25% de lluvia útil sobre la pluviometría (500 mm en los bordes meridional y oriental de la Depresión de Granada) y aplicando un coeficiente de infiltración del 35%, la alimentación obtenida es de $1,75 \text{ hm}^3/\text{año}$ - (55 l/s).

No se conoce ninguna DESCARGA propiamente termal de la que pueda afirmarse que esté ligada claramente (aunque no fuese exclusivamente) al sistema hidrogeotérmico del Tortoniense inferior. Y viceversa, y por el contrario, puede decirse que la mayoría de las manifestaciones termales de la zona de estudio están más o menos claramente relacionadas con sistemas hidrogeotérmicos distintos del presente.

En hipótesis, puede pensarse que debido a la pequeña carga piezométrica del acuífero (en razón de las bajas cotas alcanzadas generalmente por los citados afloramientos), es posible que la parte de la alimentación que realmente se constituya en recarga termal (es decir, con largo recorrido en profundidad), se manifieste más tarde en forma de descarga difusa hacia otros acuíferos superiores (v.gr. Cuaternario de la Vega de Granada), o bien quede enmascarada por salidas termales de mayor volumen y nivel piezométrico más alto correspondientes a otros sistemas hidrogeotérmicos (v.gr. Baños de Sierra Elvira, del Subbético).

La profundidad media (allí donde la potencia del Neógeno Post-Mantos se estima en 1.500 m) alcanzada por el almacén carbonatado-detritico del Tortoniense inferior en la Depresión de Granada sería del orden de 1.100 m (la profundidad máxima, en las áreas donde se estima que el Neógeno Post-Mantos alcanza su máxima potencia -3.000 m- podría ser de hasta 2.500 m).

Si a la profundidad media anterior se aplica un gradiente de 0,0330 C/m se obtendría una temperatura en almacén de unos 500 C.

4.8.4.- Nivel piezométrico. Recursos, Balance y Reservas. Características Hidráulicas

El nivel piezométrico de este acuífero es desconocido en general (no hay apenas datos sobre surgencias representativas o captaciones de aguas frías en el mismo) y más aún, si cabe, en el aspecto hidrogeotérmico al no existir, como ya se mencionó, ninguna descarga termal claramente ligada a este sistema.

Los RECURSOS en general (aguas frías y termales), de acuerdo con lo establecido al hablar de la alimentación pueden establecerse como máximo en 1,75 hm³/año.

Las CARACTERISTICAS HIDRAULICAS deben ser en principio variables según la composición litológica local (la cual por el carácter parcialmente detrítico de esta formación, es relativamente variable de un lugar a otro de la cuenca). No obstante, puede afirmarse en general que dichas características deben ser relativamente más mediocres que las del resto de los acuíferos de interés geotérmico de la zona de estudio, cuyos almacenes se encuentran en general bastante más fracturados al haber sido afectados por etapas tectónicas diversas y más antiguas como corresponde a la edad de los Terrenos del Substrato (aparte de la Neotectónica común a todos los materiales de la Zona de estudio).

4.8.5.- Áreas más favorables para la prospección y explotación

Dejando aparte la Depresión de Guadix (en la cual la formación acuífera calcarenítica del Tortoniense inferior está indudablemente presente con unas características litológicas, hidrogeotérmicas y estructurales muy parecidas a las de la Depresión de Granada) que no es el objeto directo del presente Estudio, es obvio que el interés geotérmico de este sistema está centrado en la Depresión de Granada y, más probablemente en la parte central de la misma (incluyendo a Granada-capital). Ahora bien, dado que actualmente se carece de un apoyo geofísico suficiente para determinar los límites hidrogeológicos laterales (veáse 4.8.2.) no se puede, rigurosamente, concretizar o delimitar áreas de mayor y menor interés dentro de esa amplia zona central (Plano I) de la citada Depresión.

4.9.- CONCLUSIONES GEOTERMICAS: HIPOTESIS EXPLICATIVAS SOBRE LA EVENTUALIDAD DE LA EXISTENCIA Y LOCALIZACION DE ANOMALIAS DE GRADIENTE Y MANIFESTACIONES TERMALES

En base a la experiencia directa obtenida en la observación e interpretación puntual de las distintas anomalías geotérmicas en las diversas áreas de las Cordilleras Béticas (v.gr. Campo de Cartagena, Depresión de Almería, Cuenca de Mula, etc.), donde se posee un mayor cúmulo de datos (geoquímicos, geofísicos, etc.) de interés geotérmico, se puede avanzar, a título de hipótesis, las siguientes conclusiones de carácter general, es decir con aplicación sobre un ámbito regional amplio que en este caso estaría constituido por las Cordilleras Béticas.

1) En la Zona Bética s.str. (incluyendo la "Zona Límite") el zócalo ha reaccionado a los esfuerzos plegándose juntamente con la cobertera post-paleozoica, al contrario de lo que ocurre en las Zonas Externas (Subbético y Prebético) donde existe un zócalo rígido insolidario respecto a una cobertera despegada a nivel del Triás.

2) El hecho anterior está en relación con la existencia de una microplaca tectónica (Placa de Alborán), diferenciada entre las grandes Placas Africana e Ibérica (o Europea). La placa de Alborán coincidiría a grosso modo, con las denominadas Zonas Internas Bético-Rifeñas (incluyendo el actual Mar Mediterráneo, situado entre ambas). Sin entrar en el origen último de los esfuerzos principales, en la práctica, ocurre como si la "patria" de estos últimos estuviera ubicada en las citadas Zonas Internas (dado lo inadecuado del término, es preferible utilizar la denominación de Zona Bética s.str. -veáse anteriormente, Capítulo de Geología) de tal modo que la Placa de Alborán habría tenido (sobre todo desde

el Eoceno superior y hasta la actualidad) una beligerancia tectónica mucho más acusada que las otras dos (Africana y Europea), a medida que se desplazaba de Este a Oeste, apretándose como una cuña contra el Arco de Gibraltar. En lo que se refiere a las Cordilleras Béticas, el límite lateral entre ambas placas (Alborán e Ibérica o Europea) estaría constituido por el Accidente de Bullas-Crevillente que actuaría a modo de desgarre dextrorso.

3) La mayor actividad tectónica de la Zona Bética s. str. con respecto a las Zonas Subbética y Prebética, implicaría una mayor maleabilidad (menor rigidez) de la corteza en la primera (una de cuyas consecuencias lógicas sería el plegamiento solidario del zócalo), en cuyo origen podría estar un mayor flujo de calor (provocado, a su vez, por una mayor actividad físico-química, desintegración de elementos radiactivos, corrientes de convección, etc., a niveles más inferiores -Manto-) en el área del Bético s.str., con respecto al Subbético y Prebético.

Ello, unido a que, en la Zona Bética s.str., la cobertura postpaleozoica es en general mucho más delgada (en el Alpujárride y Nevado-Filábride no hay sedimentos post-triásicos) que en las Zonas Subbética y Prebética o, incluso, inexistente (en una gran parte del Nevado-Filábride y, en menor medida, en el Alpujárride, afloran directamente los esquistos del Paleozoico) conlleva el que (haciendo abstracción de la naturaleza litológica de los terrenos atravesados) el flujo pueda ser aún más intenso en las primeras.

A lo anterior podría añadirse el hecho de que, en general, en las Zonas Subbética y Prebética hay una mayor proporción de rocas carbonatadas (pocas conductoras) al contrario

que en el Bético s.str. donde predominan materiales de mayor conductividad en general (esquistos, filitas, etc.).

Por otro lado, ésta, a priori, mayor intensidad de flujo en la Zona Bética s.str. podría, en principio, justificar los, al parecer, mayores gradientes observados en la misma (respecto a las zonas Subbética y Prebética) si bien y, a menudo, los gradientes altos de carácter local pueden ser explicados mediante hipótesis hidrogeológicas más o menos simples, sin necesidad de apelar a causas de orden regional todavía no bien fundamentadas debido a la escasez de datos geofísicos (medidas regionales de gradiente, etc.).

4) Otro enfoque explicativo, de tipo estructural, para las diferencias observadas en los valores de gradiente entre las distintas zonas de las Cordilleras Béticas en general y de la Zona Bética s.str. en particular, podría ser el siguiente:

- a) Las Cordilleras Béticas (haciendo abstracción de fases tectónicas menores) se han estructurado, fundamentalmente, en dos etapas: a) una etapa de compresión situada entre el final del Eoceno medio y la mitad del Mioceno Medio; y b) otra etapa de distensión desde el Mioceno medio al Cuaternario, (la etapa de compresión actual existente desde el Cuaternario medio, lo que hace es reafirmar, mediante pliegues de fondo de gran radio, muchas de las estructuras de compresión anteriores).
- b) Mediante la etapa de compresión, el terreno queda estructurado en amplios anticlinorios y sinclinorios alternantes. Dado que los anticlinorios son fuertemente atacados por la erosión (así se muestran la mayoría de ellos hoy día, sobre todo en lo que se refiere a la Zona Bética s.str.), disminuyendo apreciablemente, por tanto, el espesor

de la cobertera, ello puede devenir (abstrayendo otros posibles fenómenos compensatorios) en un incremento del flujo en los núcleos de los mismos. Además y, en general, en los anticlinorios, se produce una "extensión" (y consiguiente adelgazamiento) de la corteza debido a la fracturación (v.gr. anticlinal de Sa Almagrera, con sondeos geotérmicos en una red de fallas profundas), mientras que en los sinclinorios, se manifiesta una "acumulación" (con engrosamiento) de materia, todo lo cual favorece la hipótesis anterior.

- c) Mediante la etapa de distensión, por fallas normales o de gravedad, se crean zonas "distendidas" ("graben" o fosas) con adelgazamiento de la corteza separadas por "horst" intermedios que, lógicamente, quedan engrosados (aunque pueden no cambiar en espesor absoluto si el comportamiento ante los esfuerzos es rígido) por relación a los anteriores; por lo mismo dicho anteriormente, la disminución del espesor de la corteza en las áreas de distensión o fosas que coinciden, por otro lado, con las cuencas post-mantos 2, (Depresiones Interiores), puede conducir a priori a un mayor valor relativo del flujo de calor en estas últimas. Esa disminución del espesor está probablemente, a su vez, en relación con el hecho de que la inmensa mayoría de las manifestaciones volcánicas relativamente recientes (desde el Mioceno superior al Pliocuaternario) de las Cordilleras Béticas, se encuentran emplazadas en la Zona Bética s.str. y, dentro de estas últimas, sobre y entre los sedimentos post-mantos 2 (es decir, en general, dentro del perímetro de estas cuencas). Y, además, es importante tener en cuenta que la presencia, en las cuencas post-mantos, de una potente cobertera generalmente impermeable (que suele faltar en las áreas anticlinorias) es decisiva para la existencia de yacimientos geotérmicos.

d) No obstante lo anterior, hay que advertir que, en el caso concreto de las Cordilleras Béticas, a menudo los posibles efectos de los dos fenómenos (compresión y extensión) anteriores, se contraponen sobre el terreno (y por tanto, en cierto modo, se neutralizan) dado que las cuencas post-mantos 2 (extensión) coinciden frecuentemente con áreas - sinclinatorias (compresión) (v.gr. Depresión de Almería). No obstante, también se da el caso contrario (depresión post-mantos, en la Zona Bética s.str. y situada sobre anticlinorio; v.gr.: Campo de Cartagena y alineación Baños de Mula - Baños de Archena), lo cual, según lo dicho más arriba, constituiría, en principio, el tipo de zona más favorable, desde el punto de vista estructural, para la prospección geotérmica.

5) Por último, otro enfoque explicativo, de tipo hidrogeológico y carácter general, para la justificación de determinados y altos valores de gradiente que, aunque de carácter local, son frecuentes en las cuencas post-mantos 2 (v.gr. alineación Baños de Mula - Baños de Archena, "horst" de Guardias Viejas - Almería, Campo de Cartagena en general, y semi-"horst" de La Malá, en la Depresión de Granada), es el que sigue: más o menos alejados de los bordes de las cuencas post-mantos, existen áreas de mayor gradiente geotérmico que suelen coincidir con aquéllas donde el substrato se encuentra estructuralmente más elevado (mediante "horst" u otro tipo de accidente) y que generalmente, están delimitados en profundidad, por fallas subverticales. Pues bien, dichos gradientes anómalos podrían explicarse, en hipótesis, por la interconexión, a través de dichas fallas, entre dos acuíferos (corrientemente se trata del mismo almacén, rotas y desniveladas sus partes entre sí por efecto de la fractura) del substrato situados a distinta profundidad; la circulación, segu-

ramente por convección, que se produciría en el plano o superficie de la falla, permitiría la mezcla de los dos acuíferos con el consiguiente transporte de calor desde el más profundo hasta el más superficial, el cual, gracias a este aporte de calor foráneo y "extra", trasplantado permanentemente ahí por una vía (la falla) y a una velocidad extraordinariamente rápida, impondría hacia arriba un flujo de calor y un gradiente superiores a los normales de la zona que le corresponderían para una profundidad determinada y relativamente pequeña.

6) Del punto anterior (5), se deduce la importancia de la Hidrogeología aplicada a la Geotermia. Es decir, un análisis de los distintos almacenes o acuíferos presentes en las Cordilleras Béticas (agrupados según los sistemas hidrogeológicos definidos en los mismos) que, en principio, puedan tener interés geotérmico debido, principalmente, a la profundidad relativamente grande alcanzada por los citados almacenes.

Este enfoque hidrogeológico de los problemas que, en cualquier estudio geotérmico resulta útil y necesario, aunque en modo alguno excluyente, parece ser el más adecuado para las Cordilleras Béticas donde, por diversos conductos (geología, geoquímica, geotermometría, etc.) parece poder excluirse la existencia de alta entalpía (no así la media entalpía, con temperaturas de hasta 150º C), así como la noción de "provincia geotérmica" ligada a fenómenos más o menos locales relacionados, a su vez, con posibles cámaras magmáticas así mismo locales. El conjunto de datos geológicos, hidrogeológicos, geofísicos, geoquímicos, geotermométricos, etc., que se posee actualmente sobre la zona de estudio apoyan la idea de la existencia de flujos de calor más o menos importantes pero, en cualquier caso, de carácter regional (es decir, ligados a fenómenos de ámbito geográfico muy extenso y, a la vez, continuo) y no local, por lo cual el concepto de "provincia

geotérmica" hay que relacionarlo más bien, en este caso, con el de sistema hidrogeotérmico, es decir, un sistema hidrogeológico "en profundidad" definido como cualquier otro sistema de ese tipo, por sus límites hidrogeológicos y regido por una dinámica parecida (alimentación, descarga, recursos, reservas, etc.) si bien destacando su carácter geotérmico esencial, que estaría constituido por los mecanismos de adquisición y transporte del calor en profundidad.

Aparte, y como idea general que viene a apoyar lo expresado más arriba, cabe adelantar el hecho, comprobado en diversas áreas (Campo de Cartagena, Almería, Cuenca de Mula, Depresión de Granada, etc.) con problemas parecidos dentro de las Cordilleras Béticas, de que los gradientes geotérmicos más o menos fuertemente anómalos y de carácter local detectados en áreas diversas, siempre pueden explicarse utilizando razonamientos pura y simplemente hidrogeológicos (generalmente transporte de agua caliente a través de fallas, desde acuíferos profundos hasta otros más superficiales).

Y, por último, abundando en lo anterior, otrosí cabría decir de las diversas anomalías geoquímicas, las cuales, aunque no provengan propiamente del almacén acuífero sino que tengan un origen más profundo, éste parece ser, en cualquier caso, también de carácter regional, por lo que el acuífero se las apropia y distribuye en profundidad, de tal modo que el conjunto formado por un mismo tipo de anomalías (o superposición de anomalías) geoquímicas detectadas en superficie, puede relacionarse, más o menos exactamente, con la extensión y distribución espacial de un determinado sistema hidrogeotérmico en profundidad.

De todo lo anterior se deduce que las principales áreas de interés geotérmico en las Cordilleras Béticas son, a grosso

modo, las denominadas Depresiones o Cuencas Post-Mantos en general. En cuanto al mayor o menor interés relativo de cada una de estas últimas, depende, fundamentalmente, de la magnitud y tipo de acuíferos (en función de sus características hidráulicas, temperatura y profundidad, principalmente) que albergue el substrato de las mismas. Lo mismo puede decirse del interés relativo de las distintas zonas dentro de una misma Depresión.

Por otro lado y, fuera de las áreas ocupadas por las Depresiones Interiores, existen también otros sistemas hidrogeotérmicos generalmente (aunque no siempre) a menor profundidad y temperatura pero, en cambio, geométrica o hidrogeológicamente mejor definidos como consecuencia, lógicamente, de una más clara exposición de los afloramientos y de los fenómenos termales relacionados con los mismos.

Por otro lado, es conveniente tener en cuenta que, a menudo, los sistemas hidrogeotérmicos del substrato de las cuencas neógenas no son más que la continuación estructural e hidrogeológica en profundidad de los otros sistemas definidos en superficie y en el exterior de las citadas cuencas, asegurando, estos últimos, la alimentación de los primeros.

Por fin, y aparte de los sistemas hidrogeotérmicos en los terrenos del substrato s.lato (es decir, en los Terrenos Pre-Mantos, constituyan o no, estos últimos, la base de una cuenca neógena determinada) hay que mencionar la existencia, dentro de la propia estructura interna de algunas Depresiones, de otros acuíferos con interés geotérmico, generalmente indirecto, es decir inducido por los sistemas más profundos y calientes pertenecientes al substrato s.str.

5.- BIBLIOGRAFIA

5.1.- GEOGRAFIA Y GEOLOGIA

Geografía

- Memoria del conjunto provincial de GRANADA E 1:200.000. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL.

Geología

- Como cartografía de base se ha utilizado fundamentalmente Las Hojas del MAGNA (2ª ó 1ª serie) realizadas hasta la fecha por el IGME y comprendidas dentro de la región de estudio (ver relación del total de Hojas, en 2.1.1.).
- Como cartografía complementaria, se utilizaron los Mapas 1:100.000 de:
 - . VERA, J.A. (1969) "Estudio Geológico de la Zona Subbética en la transversal de Loja y sectores adyacentes". Mem. IGME. Tomo LXXII, y del
 - . IGME (1981) "Exploración geológico-minera de la cuenca lignitífera de Granada".
- Como trabajos de caracter regional o de síntesis en los que se basan algunas de las hipótesis tectónico-paleogeográficas planteadas en este Estudio, estan los dos siguientes:

- . JEREZ, Fernando (1979) "Contribución a una nueva síntesis de las Cordilleras Béticas". Bol. Geol. y Min. T XC - VI pp. 503-555.
- . JEREZ, Fernando (1980) "Propuesta de un nuevo modelo tectónico general para las Cordilleras Béticas". XXVI Congreso Geológico Internacional. Paris. (Publicado Bo. Geol. y Min. T.XCII - I Año 1981 (pp. 1-18).
- En cuanto a trabajos geológicos utilizados, de gran interés para la zona de estudio se destacará algunos de los más completos y recientes;
 - . "Mapa sismotectónico de España". Hoja Piloto de GRANADA - E 1:100.000. IGME (1983).
 - . El borde mediterráneo español: evolución del orógeno bético y geodinámica de las depresiones neógenas". Principales resultados y conclusiones. Proyecto subvencionado por C.A.I.C.Y.T. y C.S.I.C. Granada, 1984.
 - . DABRIO, C.J. y al (1978) "Rasgos sedimentarios de los conglomerados miocénicos del borde noreste de la Depresión de Granada". Estudios Geol., 34, 89-97.
 - . DELGADO, F. y al (1981) "Observaciones sobre la estratigrafía de la formación carbonatada de los mantos alpujarrides (Cordillera Bética)". Estudios Geol., 37, 45-57.
 - . RODRIGUEZ FERNANDEZ, J. (1982) "El Mioceno del Sector Central de las Cordilleras Béticas". Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

5.2.- HIDROGEOLOGIA Y GEOTERMIA

Hidrogeología

- BENAVENTE, J. y al (1981) "Síntesis hidrogeológica de la vertiente mediterránea de la provincia de Granada". Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada.
- FERNANDEZ-RUBIO, R. (1981) "Captación de aguas subterráneas mediante sondeos horizontales en Lanjarón (Granada)" Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada.
- PULIDO, A. (1980) "Datos hidrogeológicos sobre el borde occidental de Sierra Nevada". Fundación Juan March. Serie Universitaria, 123.
- "Posibilidades de regulación de los manantiales de la Cuenca del Guadiana Menor y alta del Guadalquivir". MOPU (1982).
- "Síntesis hidrogeológica de la Cuenca del Guadalquivir". IGME (1983).
- "Estudio hidrogeológico de la Cuenca Sur. Sector Occidental". IGME (1983).

Geotermia

- "Inventario general de manifestaciones geotérmicas en el territorio nacional". IGME (1974-75).
- "Estudio geotérmico preliminar de las Depresiones de Granada, Guadix-Baza y Almería". IGME (1977-78).
- "Estudio geotérmico de la Depresión de Granada". IGME (1979).

- "Estudio hidrogeotérmico de la comarca del Campo de Níjar". IGME (1980-82).
- "Estudio geoquímico de las manifestaciones termales de Granada, Almería y Murcia". PEN-ADARO (1982-83).
- "Estudio geotérmico preliminar en el área de La Fuensanta - Velez Rubio - Lorca - Alhama de Murcia". IGME (1982-83).
- "Estudio geotérmico de la Depresión de Almería". IGME(1982-83).
- "Estudio geotérmico preliminar de Andalucía Occidental". - IGME (1982-83).

Y otros, como:

- GARCIA-ROSSELL, L. y al (1979) "Nuevos datos sobre las aguas termales de la provincia de Granada". II Simposio Nacional de Hidrogeología.
- RODRIGUEZ GORDILLO, J. y al (1981) "Hidroquímica y termalismo de las aguas de Lanjarón". Simposio sobre el agua en Andalucía. Granada.
- FERNANDEZ RUBIO, R. (1981) "Investigación hidrogeológica del sector de Lanjarón". Informe por encargo de Aguas de Lanjarón, S.A.

5.3.- MINERIA

- ARANA, R. (1973) "Investigaciones Mineralógicas en Sierra Nevada". Tesis doctoral. Universidad de Granada.

- SANZ DE GALDEANO, C. (1976) "Nuevo yacimiento de celestina en la Depresión de Granada. Estudio geológico y mineralógico". Estudios geol. 32, 435-442 (1976).

- LOPEZ AGUAYO, F. (1979). "Alteraciones termales de rocas metamórficas en el sector de Lanjarón (Granada)". Soc. Esp. Mineralogía. Vol. Extra 1, 113-122.