



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

**EXPLORACION DE AZUFRE BIOGENICO EN VARIAS AREAS DE LA PENINSULA (CALATAYUD-TERUEL, FORTUNA-ALHAMA-LORCA-MAZARRON, ANDARAX, GUADIX-BAZA Y CONIL.**

**- M E M O R I A -**

---



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

11284

**EXPLORACION DE AZUFRE BIOGENICO EN VARIAS AREAS DE LA PENINSULA (CALATAYUD-TERUEL, FORTUNA-ALHAMA-LORCA-MAZARRON, ANDARAX, GUADIX-BAZA Y CONIL.**

**- M E M O R I A -**

**COMPANIA GENERAL DE SONDEOS, S.A.**

Madrid, Junio de 1991

**M-490**

## **INDICE**

---

# INDICE

	Pags.
<b>1.- INTRODUCCION</b> .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	2
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.3. ZONAS DE ESTUDIO. MARCO GEOGRAFICO-GEOLOGICO .....	4
1.4. INVESTIGACION Y TRABAJOS REALIZADOS .....	8
1.5. EQUIPO DE TRABAJO .....	10
<b>1.5.1. Resumen estadístico de los trabajos realizados</b> .....	11
<b>2.- DESCRIPCION DE AREAS</b> .....	13
2.1. CUENCA DE LORCA .....	13
<b>2.1.1. Situación geográfica y geológica</b> .....	13
<b>2.1.2. Los materiales del borde</b> .....	15
<b>2.1.3. Litoestratigrafía</b> .....	17
<b>2.1.4. Tectónica</b> .....	27
<b>2.1.5. Estudio geológico-Minero</b> .....	32
2.1.5.1. Estudios anteriores .....	32
2.1.5.2. Descripción de las series .....	50
2.1.5.3. Indicios .....	55
<b>2.1.6. Resumen y Conclusiones</b> .....	66
<b>2.1.7. Recomendaciones</b> .....	72
2.2. CUENCA DE FORTUNA-ALHAMA .....	74
<b>2.2.1. Situación geográfica y geológica</b> .....	74
<b>2.2.2. Los materiales del borde</b> .....	76
<b>2.2.3. Litoestratigrafía</b> .....	79
<b>2.2.4. Tectónica</b> .....	86

	<b>Pags</b>
<b>2.2.5. Estudio geológico-Minero</b> . . . . .	89
2.2.5.1. Estudios anteriores . . . . .	89
2.2.5.2. Descripción de las series . . . . .	93
2.2.5.3. Indicios . . . . .	99
<b>2.2.6. Areas Seleccionadas</b> . . . . .	111
<b>2.2.7. Resumen y conclusiones</b> . . . . .	125
<b>2.2.8. Recomendaciones</b> . . . . .	130
<b>2.3. CUENCA DE MAZARRON</b> . . . . .	132
<b>2.3.1. Situación Geográfica-Geológica</b> . . . . .	132
<b>2.3.2. Materiales de borde</b> . . . . .	136
<b>2.3.3. Litoestratigráfica</b> . . . . .	138
<b>2.3.4. Tectónica</b> . . . . .	141
<b>2.3.5. Estudio Geológico-Minero</b> . . . . .	142
2.3.5.1. Estudios anteriores . . . . .	142
2.3.5.2. Descripción de series . . . . .	143
<b>2.3.6. Resumen y Conclusiones</b> . . . . .	147
<b>2.3.7. Recomendaciones</b> . . . . .	148
<b>2.4. CUENCA DE CALATAYUD - TERUEL</b> . . . . .	149
<b>2.4.1. Situación Geográfica - Geológica</b> . . . . .	149
<b>2.4.2. Los materiales del borde</b> . . . . .	151
<b>2.4.3. Litoestratigrafía y características Generales de los Depósitos</b> .	156
<b>2.4.4. Litoestratigrafía del Sector de Libros</b> . . . . .	160
<b>2.4.5. Tectónica. Evolución tectosedimentaria</b> . . . . .	169
<b>2.4.6. Estudio Geológico Minero</b> . . . . .	171
2.4.6.1. Estudios anteriores . . . . .	171
2.4.6.2. Descripción de las Series . . . . .	185
2.4.6.3. Indicios . . . . .	193
<b>2.4.7. Resumen y Conclusiones</b> . . . . .	200
<b>2.4.8. Recomendaciones</b> . . . . .	204

	<b>Pags</b>
2.5. CUENCA DE BAZA . . . . .	205
2.5.1. Situación Geográfica y Geológica . . . . .	205
2.5.2. Los materiales del borde . . . . .	210
2.5.3. Litoestratigrafía . . . . .	213
2.5.4. Tectónica . . . . .	215
2.5.5. Estudio Geológico-Minero . . . . .	218
2.5.5.1. Catastro Minero . . . . .	218
2.5.5.2. Estudios anteriores . . . . .	220
2.5.5.3. Descripción de las Series . . . . .	222
2.5.5.4. Indicios . . . . .	224
2.5.6. Areas seleccionadas . . . . .	226
2.5.7. Resumen y Conclusiones . . . . .	226
2.5.8. Recomendaciones . . . . .	231
2.6. CUENCA DEL ALMERIA . . . . .	232
2.6.1. Situación Geográfica y Geológica . . . . .	232
2.6.2. Márgenes de la Cuenca . . . . .	233
2.6.3. Litoestratigrafía . . . . .	239
2.6.4. Tectónica . . . . .	244
2.6.5. Estudio Geológico-Minero . . . . .	245
2.6.5.1. Catastro Minero . . . . .	245
2.6.5.2. Estudios Anteriores . . . . .	247
2.6.5.3. Descripción de Series . . . . .	250
2.6.5.4. Indicios . . . . .	257
2.6.6. Resumen y Conclusiones . . . . .	263
2.6.7. Recomendaciones . . . . .	267
2.7. ZONA DE CADIZ . . . . .	268
2.7.1. Situación Geográfica y Geológica . . . . .	268
2.7.2. Litoestratigrafía . . . . .	273
2.7.3. Tectónica . . . . .	277

	<b>Pags</b>
<b>2.7.4. Estudio Geológico-Minero . . . . .</b>	<b>280</b>
2.7.4.1. Catastro Minero . . . . .	281
2.7.4.2. Estudios Anteriores . . . . .	283
2.7.4.3. Descripción de las Series . . . . .	284
2.7.4.4. Indicios . . . . .	288
<b>2.7.5. Areas Seleccionadas . . . . .</b>	<b>292</b>
<b>2.7.6. Resumen y Conclusiones . . . . .</b>	<b>294</b>
<b>2.7.7. Recomendaciones . . . . .</b>	<b>297</b>
<b>3.- SONDEOS . . . . .</b>	<b>299</b>
<b>4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .</b>	<b>306</b>

**A N E X O S:**

- Nº 1.- ANALISIS DE MUESTRAS
- Nº 2.- CATASTRO MINERO
- Nº 3.- FICHAS DE INDICIOS

## INDICE DE FIGURAS

- A.- SITUACION GEOGRAFICO-GEOLOGICA DE LAS CUENCAS DE LORCA, FORTUNA-ALHAMA, MAZARRON, ALMERIA Y BAZA
- B.- SITUACION GEOGRAFICO-GEOLOGICA DE LA CUENCA DE CALATAYUD-TERUEL
- C.- SITUACION GEOLOGICA DEL AREA DE CADIZ
- 1.- SITUACION GEOGRAFICA DE LA CUENCA DE LORCA
- 2.- SITUACION GEOLOGICA DE LA CUENCA DE LORCA
- 3.- ESQUEMA TRANSVERSAL DE LA CUENCA DE LORCA
- 4.- MORFOLOGIA IDEALIZADA DE LA CUENCA DE LORCA. ESQUEMAS
- 5a-b.- INTERPRETACION DE LAS EVAPORITAS DEL SE DE S<sup>a</sup> TERCIA
- 6.- ESQUEMA TECTONICO DE LA CUENCA DE LORCA
- 6a.- ESQUEMA TECTONICO DE LA CUENCA DE LORCA
- 7.- DISPOSICION GENERAL DE LAS ANTIGUAS LABORES MINERAS DE LA SERRATA DE LORCA
- 8.- DETALLE DE LAS ENTRADAS A LOS PLANOS INCLINADOS
- 9.- DETALLE DE LA MINERALIZACION EN EL INDICIO 953-1 (FUENTE DEL CHORRILLO)
- 10.- ESQUEMA DEL NIVEL SUPERIOR DEL INDICIO 953-2
- 11.- DETALLE DE LA MINERALIZACION EN EL NIVEL INFERIOR DEL INDICIO 953-2
- 12.- POSICION DE LOS DOS BANCOS MINERALIZADOS DEL INDICIO 953-5 Y DETALLE DE CADA UNO DE ELLOS
- 13.- DETALLE DEL AFLORAMIENTO DEL INDICIO 953-4
- 14.- TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS A FAVOR DE FRACTURAS
- 15.- POSIBILIDADES DE AZUFRE BIOGENICO EN LA CUENCA DE LORCA ATENDIENDO A SUS POSIBLES PROCESOS GENETICOS



- 16.- SITUACION GEOGRAFICA DE LA CUENCA DE FORTUNA-ALHAMA
- 17.- ESQUEMA TECTONICO DE LA CUENCA DE FORTUNA-ALHAMA
- 18.- ASPECTO DEL NIVEL MINERALIZADO EN EL SECTOR DE FORTUNA ABANILLA
- 19.- HABITOS DE LA CELESTINA DE LA HORTICHUELA
- 20.- ESQUEMA DE LAS PRINCIPALES FRACTURAS DE LA CUENCA FORTUNA-ALHAMA. SECTOR LIBRILLA-ALCANTARILLA
- 21.- HIPOTESIS DE AREAS CON MAYORES POSIBILIDADES DE AZUFRE EN LA CUENCA DE FORTUNA-ALHAMA
- 22.- SITUACION GEOGRAFICA DEL AREA DE MAZARRON
- 23.- DISPOSICION DE LA CUENCA DE MAZARRON
- 24.- SITUACION GEOLOGICA DE LA CUENCA DE MAZARRON
- 25.- ESQUEMA LITOESTRATIGRAFICO DE LA CUENCA DE MAZARRON
- 26.- ESQUEMA TECTONICO DE LA CUENCA DE MAZARRON
- 27.- CORTE POR LA RAMBLA DE VILLALBA
- 28.- CORTE POR EL BARRANCO DE LOS TOLLOS
- 29.- PLANO DE SITUACION DE LA CUENCA DE CALATAYUD-TERUEL
- 30.- SITUACION GEOLOGICA DE LA CUENCA DE CALATAYUD-TERUEL
- 31.- DISTRIBUCION ESQUEMATICA DE LAS FACIES DEL TERCARIO CONTINENTAL EN LAS CUENCAS DE CALATAYUD (ZONA DE DAROCA-CALAMOCHA) Y (TERUEL-ALFAMBRA)
- 32.- DISTRIBUCION DE LITOFACIES TERCARIAS
- 33.- ESQUEMA DE CIRCULACION DE FLUIDOS EN LA SERIE ROJA
- 34.- ESQUEMA TECTONICO DE LA CUENCA DE CALATAYUD-TERUEL Y SUBDIVISION DE LA MISMA EN TRES SUBCUENCAS
- 35.- CORRELACION DE LOS SONDEOS EFECTUADOS EN LIBROS PARA LA INVESTIGACION DE PIZARRAS BITUMINOSAS

- 36.- CORTE ESQUEMATICO EN EL Bº DE LAS MINAS
- 37.- CIRCULACION DE FLUIDOS RESTRINGIDOS A NIVELES DETRICIOS GROSEROS (ARENAS-CONGLOMERADOS)
- 38.- HABITOS DEL AZUFRE EN EL INDICIO 612-1
- 39.- REEMPLAZAMIENTO DE ORGANISMOS POR AZUFRE
- 40.- HABITOS DEL AZUFRE
- 41.- ESQUEMA DE DEPOSICION DE LA SERIE DE INTERES
- 42.- ESQUEMA DE HIPOTESIS GENETICAS DE LA FORMACION DE AZUFRE
- 43.- SITUACION GEOGRAFICA DE LA CUENCA DE BAZA
- 44.- SITUACION GEOLOGICA DE LA CUENCA DE BAZA
- 45.- CUADRO ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DE BAZA
- 46.- SITUACION DE INDICIOS Y COLUMNAS LITOESTRATIGRAFICAS
- 47.- SITUACION GEOGRAFICA DE LA CUENCA DE ALMERIA
- 48.- SITUACION GEOLOGICA DE LA CUENCA DE ALMERIA
- 49.- ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DE ALMERIA
- 50.- SITUACION DE INDICIOS Y COLUMNAS LITOESTRATIGRAFICAS
- 51.- SITUACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE CADIZ
- 52.- SITUACION GEOLOGICA DE LA ZONA DE CADIZ
- 53.- PRINCIPALES ESTRUCTURAS Y AFLORAMIENTOS TRIASICOS DEL AREA DE CADIZ
- 54.- SITUACION DE INDICIOS Y COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS
- 55.- CORTE GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LA UNIDAD EVAPORITICA DE LA C. DE ALMERIA
- 56.- EJEMPLO DE LOS OBTENIDOS POR RADIOMETRIA

- 57.- AREA DE INTERES DEL COTO MINERO DE HELLIN
- 58.- CORTE ESQUEMATICO DE LAS EVAPORITAS EN LA CUENCA DE ALMERIA
- 59.- ESQUEMA DE LA DISPOSICION DE AFLORAMIENTOS DE YESO EN LA C. DE ALMERIA
- 60.- ESTRUCTURA DE LOS NIVELES EN LA C. DE ALMERIA

## INDICE DE PLANOS

- Nº 1.- MAPA GEOLOGICO. CUENCA DE FORTUNA-ALHAMA DE MURCIA. ESQUEMA DE SITUACION Y LEYENDA.
- Nº 2.- MAPA GEOLOGICO. CUENCA DE FORTUNA-ALHAMA DE MURCIA. SECTOR FORTUNA-ALCANTARILLA
- Nº 3.- MAPA GEOLOGICO. CUENCA DE FORTUNA-ALHAMA DE MURCIA. SECTOR LORCA-MAZARRON
- Nº 4.- MAPA GEOLOGICO. CALATAYUD-TERUEL. ESQUEMA DE SITUACION Y LEYENDA
- Nº 5.- MAPA GEOLOGICO. CALATAYUD-TERUEL. SECTOR CALATAYUD
- Nº 6.- MAPA GEOLOGICO. CALATAYUD-TERUEL. SECTOR DAROCA
- Nº 7.- MAPA GEOLOGICO. CALATAYUD-TERUEL. SECTOR MONREAL DEL CAMPO-MONTALBAN
- Nº 8.- MAPA GEOLOGICO. CALATAYUD-TERUEL. SECTOR TERUEL
- Nº 9.- MAPA GEOLOGICO. CALATAYUD-TERUEL. SECTOR LIBROS
- Nº 10.- MAPA GEOLOGICO. CUENCA DE GUADIX-BAZA. ESQUEMA DE SITUACION Y LEYENDA
- Nº 11.- MAPA GEOLOGICO. GUADIX-BAZA. SECTOR CASTILLEJAR
- Nº 12.- MAPA GEOLOGICO. GUADIX-BAZA. SECTOR BENAMAUREL

Nº 13.- MAPA GEOLOGICO. CUENCA DE ANDARAX-ALMERIA. ESQUEMA DE SITUACION Y LEYENDA.

Nº 14.- MAPA GEOLOGICO. CUENCA DE ANDARAX-ALMERIA

Nº 15.- MAPA GEOLOGICO. AREA DE CADIZ. ESQUEMA DE SITUACION Y LEYENDA

Nº 16.- MAPA GEOLOGICO. AREA DE CADIZ. SECTOR CONIL

Nº 17.- MAPA GEOLOGICO. AREA DE CADIZ. SECTOR ARCOS DE LA FRONTERA

Nº 18.- MAPA GEOLOGICO DE FORTUNA-ABANILLA (1:25.000)

Nº 19.- MAPA GEOLOGICO DE ALCANTARILLA-LIBRILLA (1:25.000)

Nº 20.- MAPA GEOLOGICO DE BENAMAUREL (1:25.000)

Nº 21.- MAPA GEOLOGICO DE ANDARAX (1:25.000)

Nº 22.- MAPA GEOLOGICO DE CONIL (1:25.000)

Nº 23.- MAPA GEOLOGICO DE ARCOS DE LA FRONTERA (1:25.000)

Nº 24.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-3

Nº 25.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-4

Nº 26.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-5

Nº 27.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-8

Nº 28.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-9

Nº 29.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-10

Nº 30.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-11

Nº 31.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-12

Nº 32.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-13

Nº 33.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-14

Nº 34.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-15

Nº 35.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-16

Nº 36.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-17

Nº 37.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-18

Nº 38.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-19

Nº 39.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-20

Nº 40.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 953-C-21

Nº 41.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 976-C-1

Nº 42.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 976-C-2

Nº 43.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 976-C-3

- Nº 44.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 590-C-1
- Nº 45.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 612-C-1
- Nº 46.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 612-C-2
- Nº 47.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 612-C-3
- Nº 48.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 613-C-1
- Nº 49.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 972-C-1
- Nº 50.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 972-C-2
- Nº 51.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 972-C-3
- Nº 52.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 972-C-4
- Nº 53.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 1045-C-2
- Nº 54.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 1045-C-3
- Nº 55.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 1045-C-4
- Nº 56.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 1045-C-5
- Nº 57.- COLUMNA SEDIMENTOLOGICA 1045-C-6
- Nº 58.- COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA 1048-C-1
- Nº 59.- COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA 1048-C-2

Nº 60.- COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA 1062-C-1

Nº 61.- COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA 1062-C-2

Nº 62.- COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA 1073-C-1

Nº 63.- COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA 1073-C-2

Nº 64.- COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA 1073-C-3

Nº 65.- COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA 1073-C-4

Nº 66.- COLUMNA DEL SONDEO ARCOS-1

Nº 67.- COLUMNA DEL SONDEO ALMERIA-1

Nº 68.- COLUMNA DEL SONDEO ALMERIA-2



## **1.- INTRODUCCION**

---

## 1.1. ANTECEDENTES

A partir de la crisis de la energía y materias primas minerales se observa, en el conjunto nacional, una clara tendencia hacia el incremento progresivo de la falta de autonomía en el abastecimiento de la industria, lo que indica una progresión del consumo sectorial más rápida que la correspondiente a la producción minera.

En el caso del azufre esa tendencia se acentúa al estar afectados los medios de producción, de este elemento en España, por las presiones mediambientales, además de por la depreciación del mercado de metales, ya que la mayor parte de esa producción procede del tratamiento del sulfuros metálicos (piritas de Huelva).

Por otro lado, el mercado de exportación español de las piritas ha bajado fuertemente debido a la gran competencia del azufre elemental principalmente del - azufre Frasch - de México, USA, Canadá y Polonia. Todos estos han entrado en el mercado europeo haciendo decrecer las exportaciones españolas al menos un tercio del nivel de los años sesenta. Un aumento del mercado interior compensó, en pasadas décadas, esa disminución en las exportaciones, basado sobre todo en el incremento de la producción de fertilizantes.

Debido a que el azufre es un elemento imprescindible en la industria y agricultura, existiendo una demanda creciente en países en desarrollo, sobre todo con grandes reservas de rocas fosfatadas y para la industria de manufactura de fertilizantes además de para nuevos usos que los grandes países productores están poniendo a punto; demanda, que debido a la crisis del Golfo, será más difícil de cubrir ya que importantes productores como Irak y Kuwait han dejado de suministrar al mercado unos 2.000.000 de toneladas de este elemento, el Instituto Tecnológico y Geominero de España elaboró este proyecto - Exploración de Azufre Biogénico en varias áreas de la Península (Calatayud-Teruel, Fortuna-Alhama, Lorca, Mazarrón, Andarax, Guadix-Baza y Conil), al objeto de llevar a cabo las directrices fundamentales del Plan Nacional de Abastecimientos de

Materias Primas Minerales como son las del, desarrollo preferente y selectivo de los recursos nacionales, mejora de la seguridad y la economía en el abastecimiento complementario procedente del exterior, desarrollo de tecnología minera propia y creación de sectores de seguridad, principalmente.

El ITGE, mediante concurso público, adjudicó la realización de este proyecto a la Compañía General de Sondeos, S.A.

## 1.2. OBJETIVOS

El objetivo final previsto en el proyecto está dirigido a conocer las posibilidades en cuanto a azufre biogénico de las cuencas de Baza, Benahadux-Gador-Andarax, Conil, Fortuna-Alhama de Murcia, Lorca, Mazarron y Calatayud-Teruel.

Para llegar a conseguir este objetivo final se han obtenido los objetivos parciales siguientes:

- Recopilación, análisis y estudio de la bibliografía existente, así como la actualización del catastro minero.
- Determinación de la geología y características de los indicios estudiando la intensidad de metasomatismo y su entorno. Correlación de los niveles mineralizados.
- Estudio del comportamiento litológico-estructural que controla las mineralizaciones, mediante estudios litológicos, sedimentológicos y tectónicos.
- Determinación de los sectores con mayores posibilidades mediante el análisis e interpretación, a nivel cuencal, de todos los resultados obtenidos.

### 1.3. ZONAS DE ESTUDIO. MARCO GEOGRAFICO-GEOLOGICO

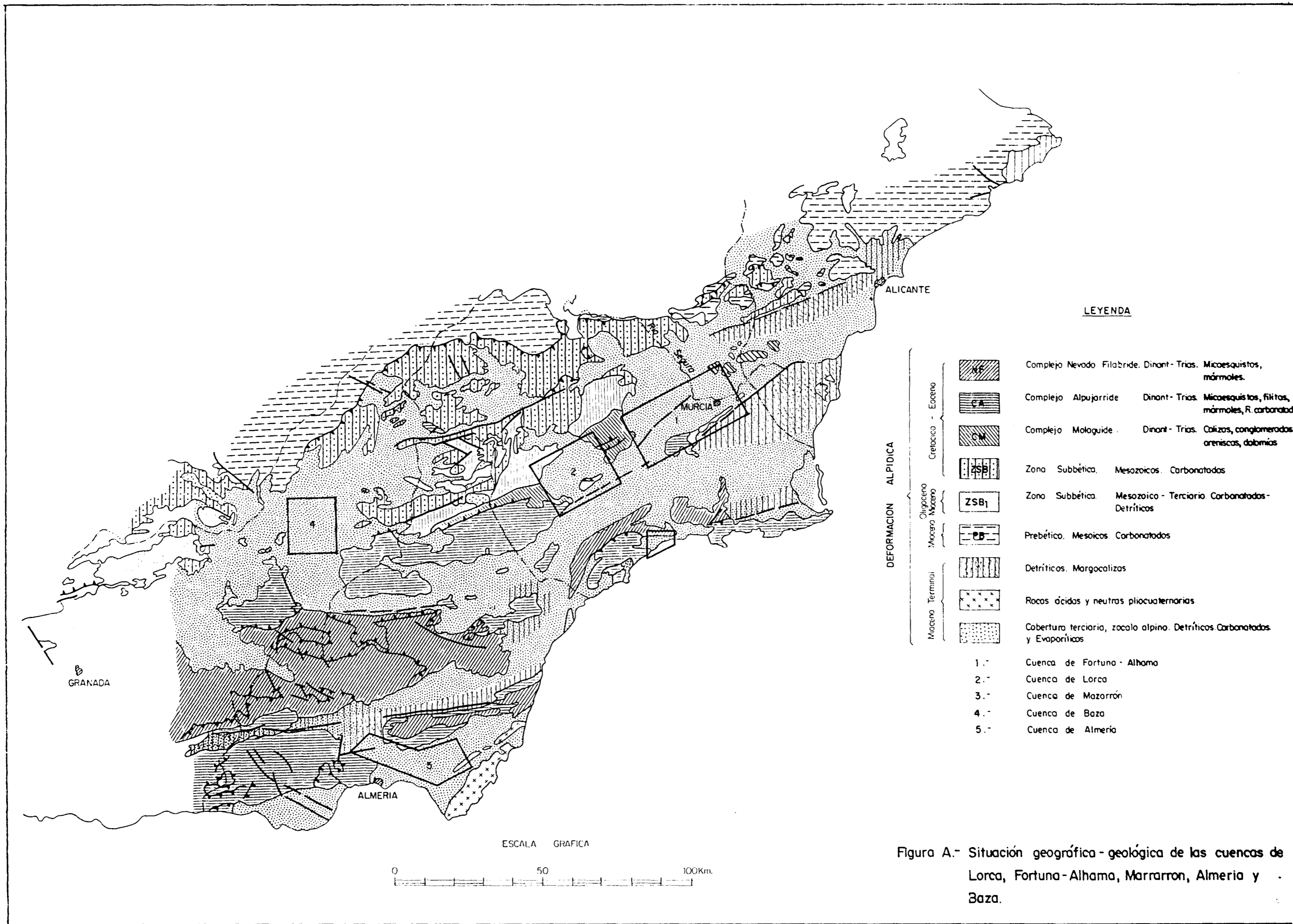
Las zonas de estudio se pueden agrupar en tres conjuntos bien diferenciados atendiendo al contexto geológico en donde encajan.

La cuenca de Calatayud-Teruel (Figura B) que comprende las fosas denominadas de Calatayud-Daroca-Montalban y Teruel-Alfambra y que en este trabajo se ha subdividido en las subcuencas de Calatayud-Montalban, Calamocha-Teruel y Teruel-Alfambra, se sitúa en el ámbito de la Cordillera Ibérica. El sector de Libros, en donde se encuentran las manifestaciones y antiguas labores de explotación de azufre nativo se ubica en el extremo Sur de la denominada, subcuenca de Teruel-Alfambra (4 de la Figura B).

El conjunto de la cuenca terciaria se encuentra flanqueado por la S<sup>a</sup> de Albarra-cín y las Parameras de Molina al Oeste, por la S<sup>a</sup> de Javalambre al Sur y por las sierras de Vicor, Cucalón y Gudar al Este. Estando separadas las depresiones principales por las sierras Palomera y San Justo.

Un segundo conjunto está constituido por las denominadas cuencas de Fortuna-Alhama, Lorca, Mazarrón, Baza y Almería, todas ellas depresiones neógenas incluida en las Cordilleras Béticas, esencialmente en su sector o dominio oriental (Figura A) y con unas características litoestratigráficas y estructurales muy semejantes, así como en las concernientes a la mineralización de azufre elemental.

Y por último un tercer conjunto al que pertenece la zona de Cádiz (Figura C) y que también se enclava en el dominio de las Cordilleras Béticas, en su sector occidental, dentro del contacto del Subbético Medio en la denominada Zona Circumbética y la Depresión del Guadalquivir.



**LEYENDA**

DEFORMACION ALPIDICA	Cretacico - Eoceno	NF	Complejo Nevado Filabride. Dinant - Trias. Micasquistos, mármoles.	
		CA	Complejo Alpujarride. Dinant - Trias. Micasquistos, filitas, mármoles, R. carbonatad.	
		CM	Complejo Molaguide. Dinant - Trias. Calizas, conglomerados, areniscas, dolomias	
	Oligoceno - Mioceno	ZSB	Zona Subbética. Mesozoicos. Carbonatados	
		ZSB <sub>1</sub>	Zona Subbética. Mesozoico - Terciario Carbonatados - Detríticos	
	Mioceno Terminal	PB	Prebético. Mesozoicos Carbonatados	
		[Hatched]	Detríticos. Margocalizas	
		[Stippled]	Rocas ácidas y neutras pliocuaternarias	
			[Dotted]	Cobertura terciaria, zocalo alpino. Detríticos Carbonatados y Evaporíticos
			1.-	Cuenca de Fortuna - Alhama
		2.-	Cuenca de Lorca	
		3.-	Cuenca de Mazarrón	
		4.-	Cuenca de Baza	
		5.-	Cuenca de Almería	

ESCALA GRAFICA

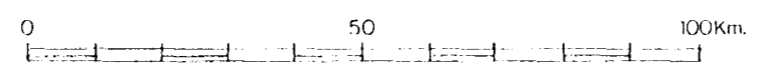
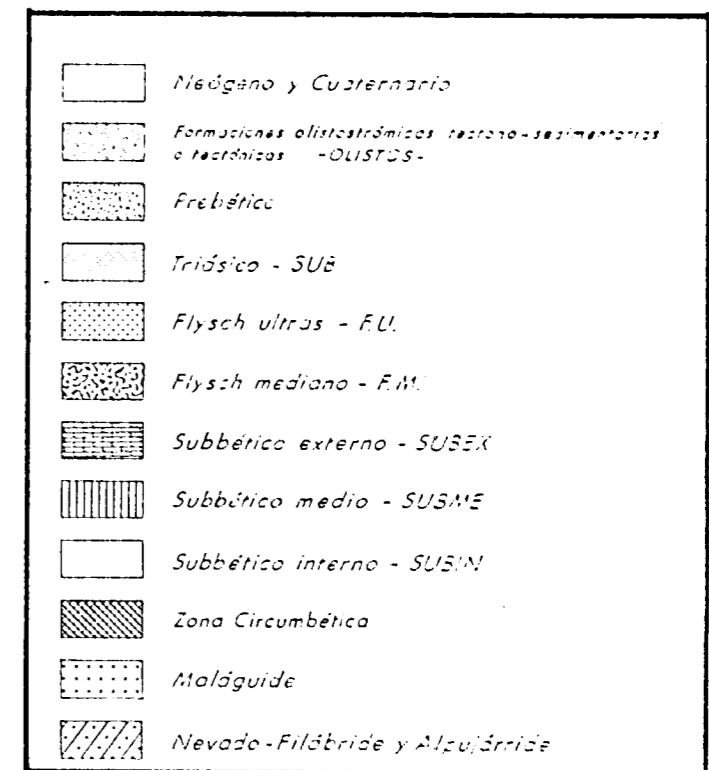


Figura A.- Situación geográfica - geológica de las cuencas de Lorca, Fortuna-Alhama, Marrarron, Almeria y Baza.



**LEYENDA**



ESCALA GRAFICA

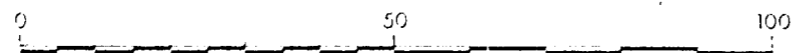
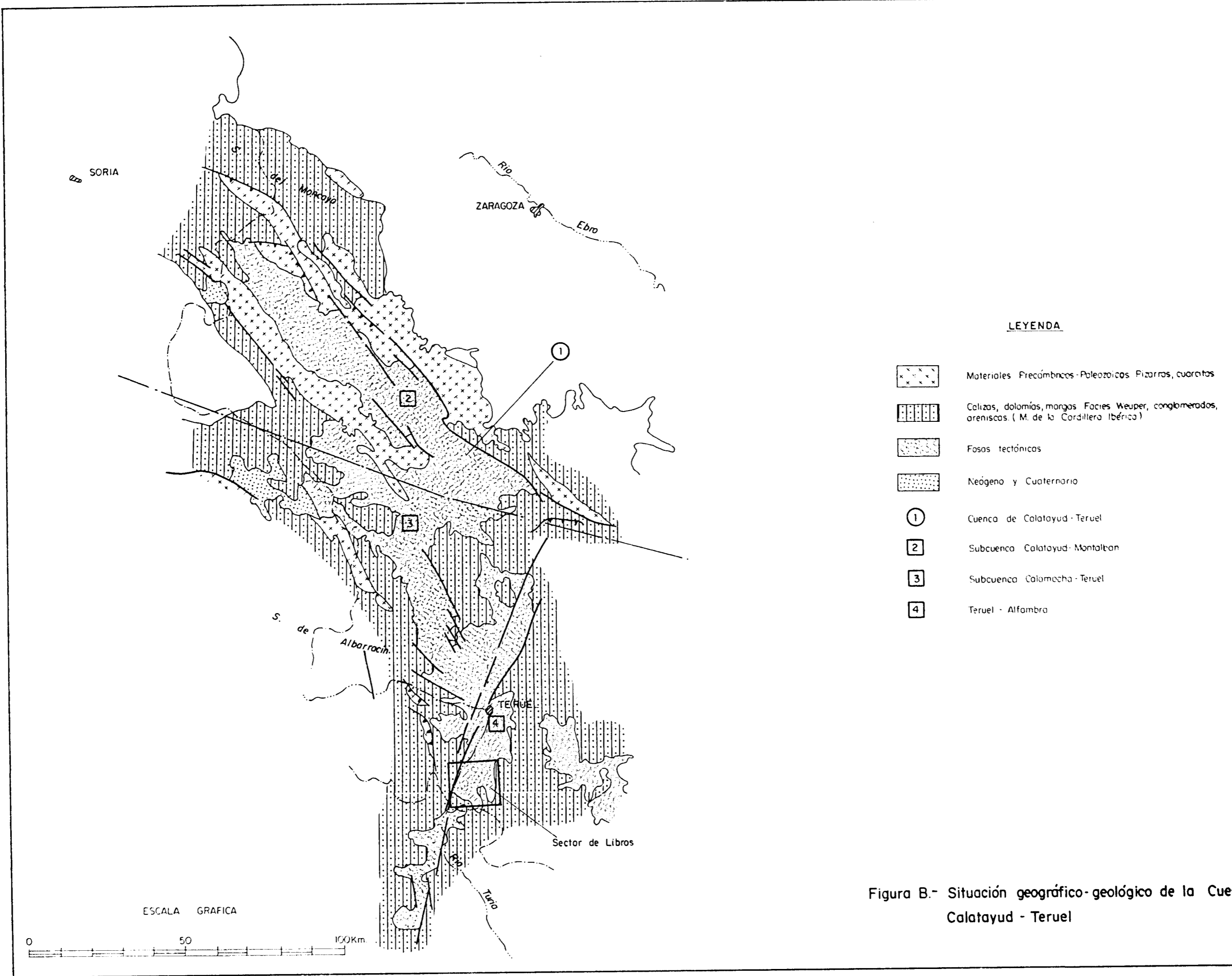


Figura C.- Situación geológica del área de Cadiz



**LEYENDA**









-  Materiales Precámbricos-Paleozoicos Pizarras, cuarcitas
-  Calizas, dolomías, margas Facies Weuper, conglomerados, areniscas ( M. de la Cordillera Ibérica)
-  Fosas tectónicas
-  Neógeno y Cuaternario
-  1 Cuenca de Calatayud-Teruel
-  2 Subcuenca Calatayud-Montalbán
-  3 Subcuenca Calamocha-Teruel
-  4 Teruel - Alfambra

Figura B.- Situación geográfico-geológico de la Cuenca de Calatayud - Teruel

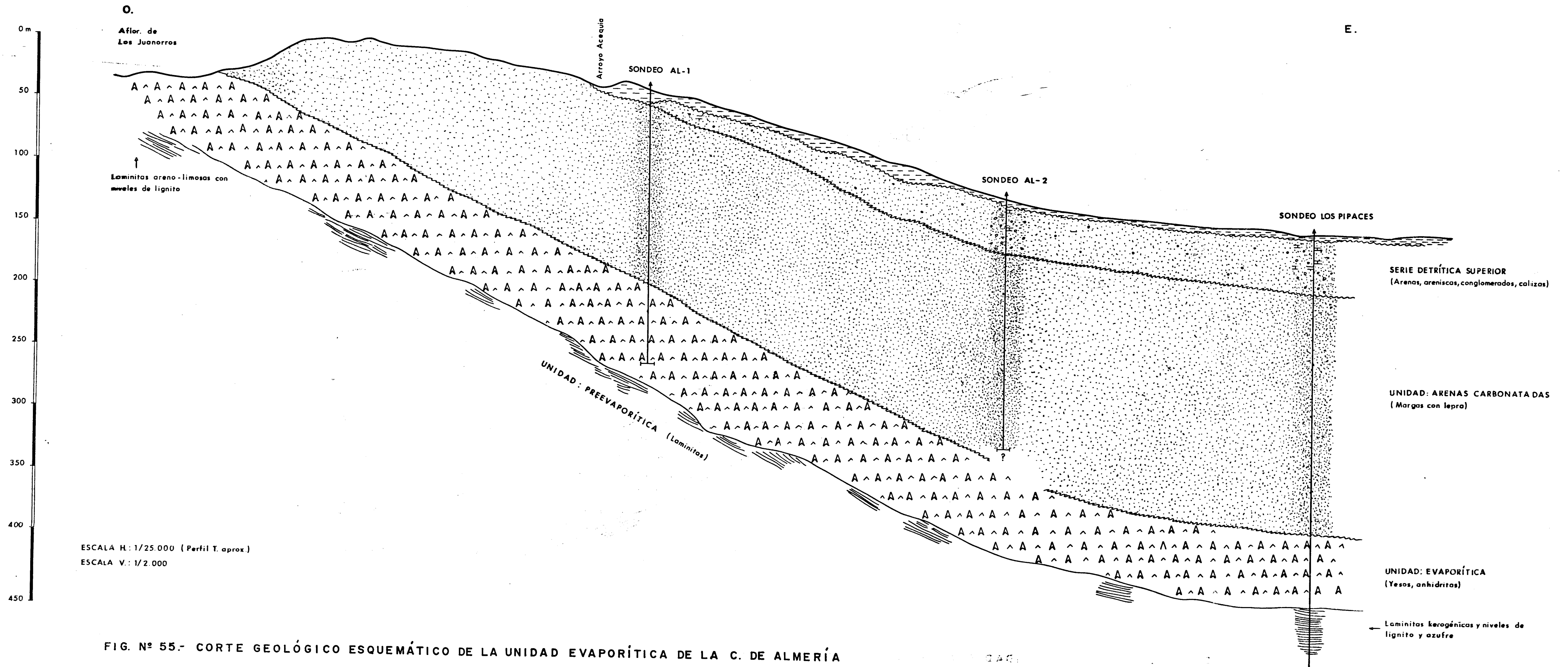


FIG. Nº 55.- CORTE GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO DE LA UNIDAD EVAPORÍTICA DE LA C. DE ALMERÍA



#### 1.4. INVESTIGACION Y TRABAJOS REALIZADOS

La metodología llevada a cabo durante la realización de este proyecto a estado condicionada por las características especiales que presenta el encontrar un depósito de azufre de interés económico y las directrices fijadas para ello, sobre todo teniendo en cuenta que un yacimiento explotable, de este elemento, siempre se encontrara oculto y posiblemente muy lejos, dentro de un mismo contexto geológico, de sus manifestaciones superficiales, inclusive de mayor espectacularidad.

Por lo anterior el estudio ha procurado alcanzar el máximo conocimiento posible en toda la extensión de las diferentes cuencas en donde existen indicios de azufre elemental.

De esta manera, se procedió en primer lugar a una recopilación estudio y análisis de la bibliografía geológico y minera de las distintas cuencas así como de los trabajos de geofísica y sondeos petrolíferos y mineros efectuados en ellas.

También se llevo a cabo un estudio fotogeológico de cada una de las cuencas.

Con todos los datos obtenidos se realizaron los mapas geológicos a escala 1:100.000, previos, en donde se marcaron las zonas, sectores y puntos de interés a visitar en el campo.

Esta primera fase de trabajo ha estado facilitada por la experiencia de los técnicos que han participado en el proyecto, en todas las zonas y cuencas a estudiar, además del claro conocimiento sobre la problemática del azufre y las directrices fijadas para conseguir los objetivos propuestos.

Para comprobar y/o ampliar los sectores a prospectar se realizó, en segundo lugar, una visita a cada una de las Jefaturas de Minas de las provincias correspondientes en donde se ubican las zonas de estudio, como: Cadiz, Granada,

Almeria, Murcia y Teruel. En ellas se recopilaron toda la información minera antigua referida al azufre, demarcaciones y labores mineras, así como de la referida al Estroncio, Bario y aguas minero-medicinales, elementos en relación con los depósitos de azufre.

De todos estos trabajos se dedujeron las zonas con indicios de azufre, cuencas donde estan enclavadas y sectores dentro de ellas, sin manifestaciones minerales visibles, pero con posibilidades por coincidir en ellas otro tipo de factores fundamentales en la formación de azufre elemental.

Con todos los datos obtenidos se elaboraron los mapas geológicos a escala 1:100.000 de todas las cuencas incluidas en el estudio: Calatayud-Teruel; Fortuna-Alhama, Lorca, Mazarrón, Andarax (Almeria), Guadix-Baza y Cadiz (Conil y Arcos de la Frontera).

Sobre los sectores seleccionados se realizó la segunda fase de la investigación consistente en: levantamiento geológico de los indicios y de perfiles litoestratigráficos-sedimentológicos, generales de las cuencas.

Con los datos obtenidos se seleccionaron seis zonas de mayor interés, dos en la cuenca de Fortuna-Alhama, una en Guadix-Baza, una en Almeria y dos en Cadiz. Otras zonas interesantes, como Benahadux y Gador, por ejemplo, no fueron seleccionadas para estudios de detalle y cartografía geológica a escala 1:25.000 por estar ocupadas actualmente por permisos de investigación.

Sobre las zonas seleccionadas se realizó la cartografía geológica a escala 1:25.000 y 1: 10.000 si bien todas se presentan a la primera escala citada para mayor comodidad de lectura y obtención de conclusiones.

Posteriormente y en tres puntos seleccionados se han realizado sondeos mecánicos con recuperación de testigo continuo, uno en el sector de las antiguas minas de azufre de Arcos de la Frontera y los otros dos en la cuenca de Almería.

Anteriormente, a esta última fase de la explotación, se visitaron todas las zonas de interés en compañía del especialista polaco en depósitos de azufre. Dr. B. Kubica. Los datos y conclusiones aportados por este técnico figuran al final del Informe.

Con todos los datos obtenidos se procedió a concretar las secuencias litoestratigráficas, diferenciación de unidades que conforman las cuencas y a especificar los momentos propicios de formación de azufre biogénico, teniendo en cuenta las vicisitudes tectónicas, para determinar los sectores específicos de las cuencas en donde aplicar las siguientes fases de la investigación.

## 1.5. EQUIPO DE TRABAJO

El conjunto de los estudios realizados en este proyecto ha estado dirigido por el Dr. Ingeniero de Minas del ITGE, D. Miguel Angel Zapatero Rodríguez.

El equipo técnico de CGS, S.A. ha estado constituido por D. José Luis Reyes García, coordinador y responsable del proyecto y D. J. Carlos Feixas Rodríguez y D. Javier Avila Elviro, geólogos, colaboradores habituales de esta compañía.

Se ha contado asimismo con la colaboración de otros técnicos de CGS que anteriormente habrán trabajado en algunas de las cuencas objeto de la exploración.

Los análisis de aguas han sido efectuados en los Laboratorios de ENADIMSA.

Se ha contado con la colaboración del especialista polaco en depósitos de azufre biogénico Dr. B. Kubica, en campo y gabinete.

### 1.5.1. RESUMEN ESTADISTICO DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

- Recopilación, estudio y análisis de la bibliografía . . . . . 7 cuencas
- Actualización del Catastro Minero (Almería, Cadiz, Granada, Murcia, Teruel)
- Localización y estudio de indicios . . . . . 51 indicios
- Estudio y correlación de los niveles de interes, 1:25.000 . . . . . 6 areas
- Análisis estructural del área y su contorno, 1:25.000 . . . . . 6 áreas
- Columnas sedimentológicas . . . . . 6.959 m.
- Estudio estratigráfico-sedimentológico de los testigos de sondeos . . . . . 600 m
- Análisis e interpretación de cuencas, 1:100.000 . . . . . 7 cuencas
- Perforación . . . . . 600 m

- Análisis de CL, CO<sub>3</sub>H, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO<sub>3</sub>,  
CO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub>, Ca, Mg, Na, K, Li, Mat. org., H. . . . . 2
  
- Informe Final . . . . . Memoria, Documentación y Anexo

## 2.1. CUENCA DE LORCA

### 2.1.1. SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA

La cuenca de Lorca se sitúa en el SE de la Península Ibérica en la provincia de Murcia.

Limita al Norte y Oeste con la Sierra de Espuña, al Oeste con la Sierra de las Estancias y Sierra de la Torrecilla y al Sureste con la Sierra de la Tercia.

Se encuentra casi en su totalidad dentro de la hoja nº 953 (Lorca) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

Con una extensión aproximada de 250 km<sup>2</sup>, los accidentes geográficos más significativos de toda la cuenca son la Serrata de Lorca y el río Guadalentín.

En cuanto a accesos se encuentra surcada por numerosas carreteras y pistas, entre las que destacan la carretera comarcal C-3211 de Lorca a Caravaca, que cruza la cuenca transversalmente de SE a NO, y las carreteras locales Lorca-Fuensanta y Lorca-Zarzadilla de Totana, la primera de ellas próxima al borde SE de la cuenca y paralela al mismo y la segunda que atraviesa la depresión de Norte a Sur. Además existen multitud de caminos y pistas en buen estado debido a la actividad agrícola de la zona (fig. 1).

Geológicamente la cuenca de Lorca es una de las depresiones neógenas de las Cordilleras Béticas, bordeada a O, N y E por materiales pertenecientes a los dominios Bético y Subbético y limitada parcialmente al S por la Sierra de la Tercia, elemento del dominio Bético, y la gran fractura de dirección NE-SO de Lorca-Alhama-Alcantarilla que la separa del conjunto, esencialmente Plioceno, que constituye el corredor o fosa del Guadalentín.

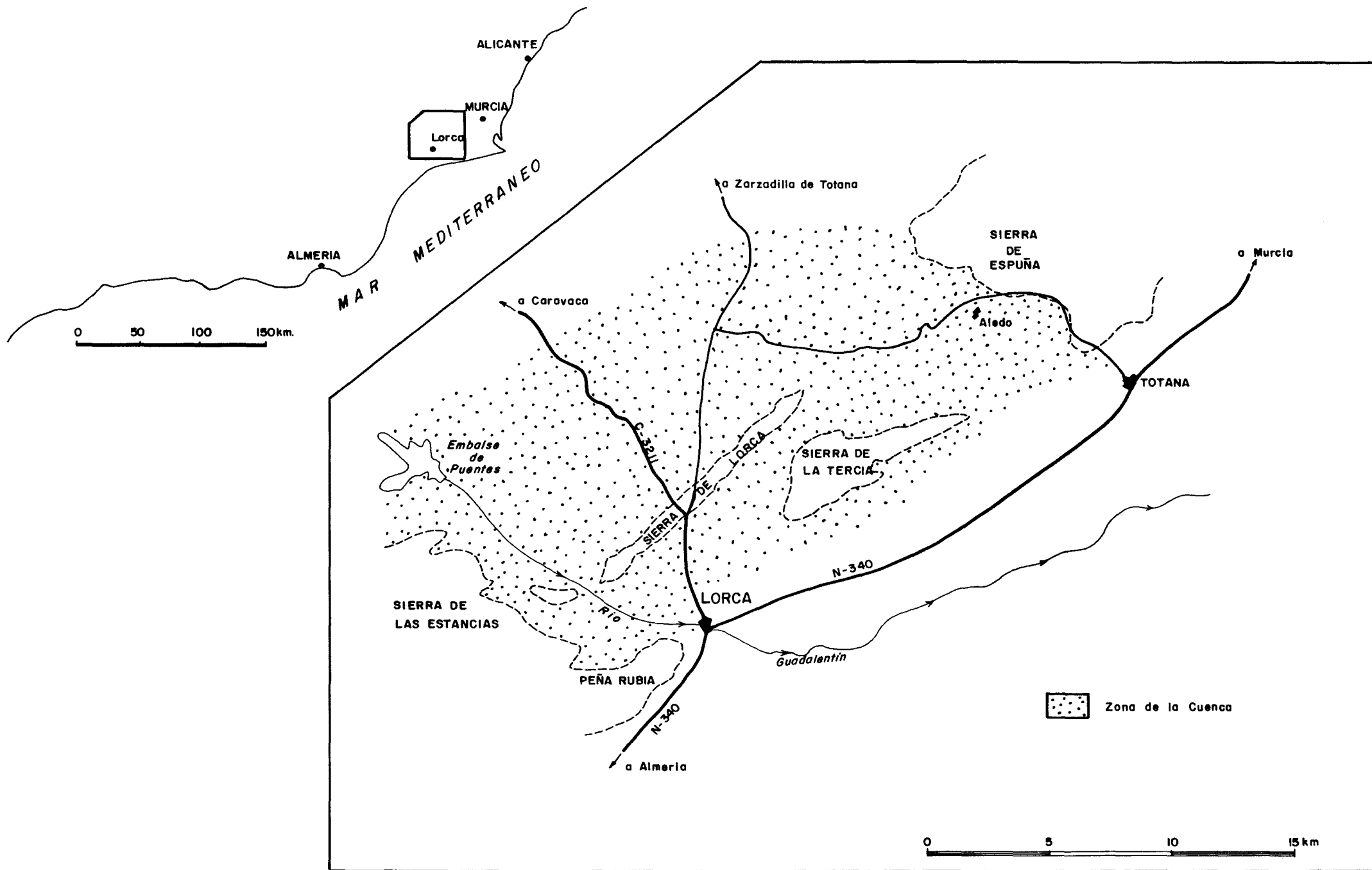


Fig. 1.— Situación geográfica de la Cuenca de Lorca

Presenta una disposición alargada según la dirección NE-SO con una longitud de 20 a 25 kms y una anchura de 10 a 15 kms. Esta disposición coincide con la de otras grandes depresiones de la zona, como por ejemplo la depresión vecina de Fortuna-Alhama de Murcia, separadas ambas por el umbral Bético de la Sierra de Espuña.

### **2.1.2. LOS MATERIALES DEL BORDE**

Están formados por materiales del Complejo Alpujarride, de las Unidades Intermedias, del Complejo Maláguide y del Subbético de la Unidad de Alquería.

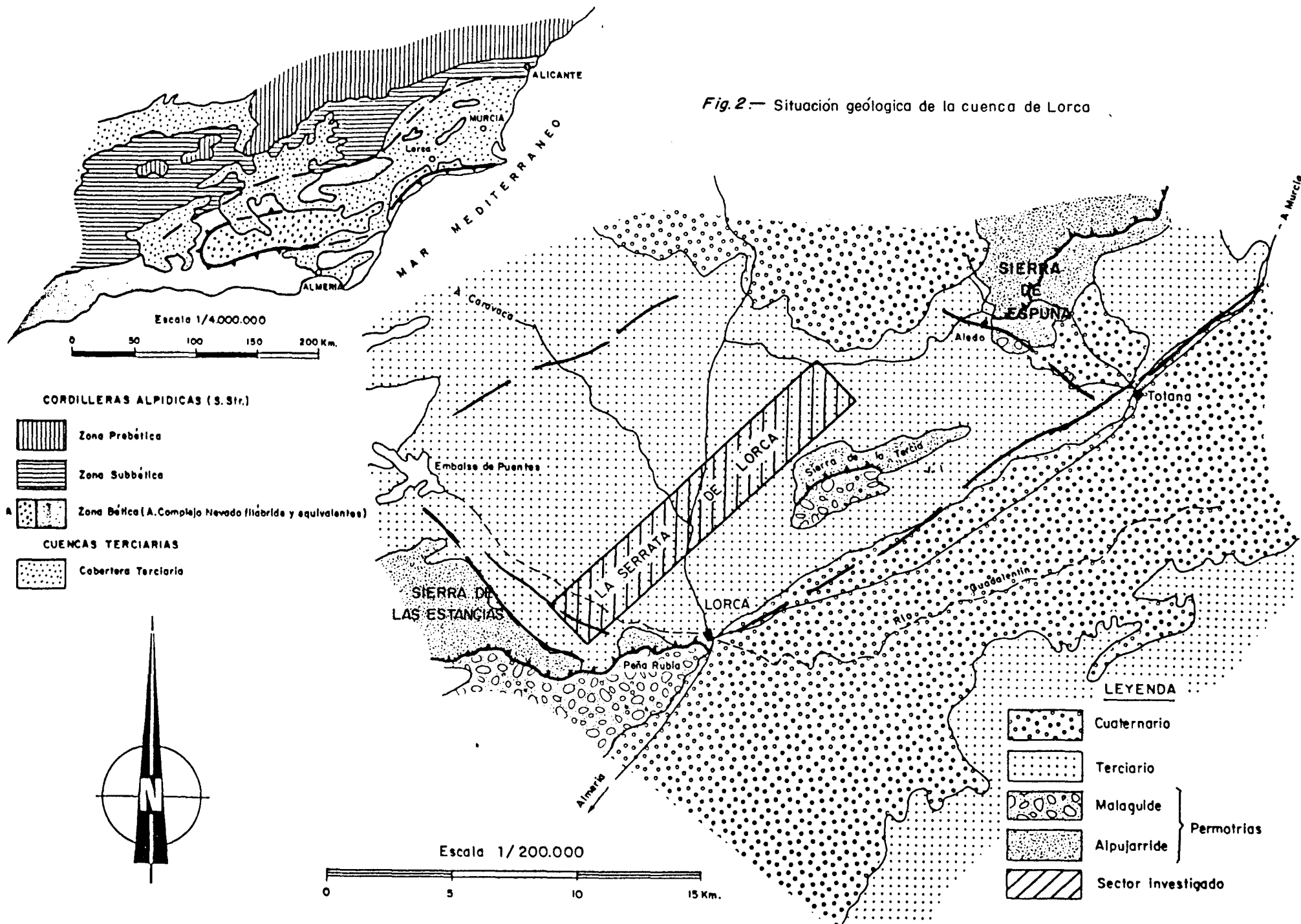
Las Unidades Béticas (Complejo Alpujarride, Unidades Intermedias y Complejo Maláguide), se presentan en tres enclaves diferentes, que son Sierra de Espuña al NE de la Cuenca, la Sierra de la Tercia al SE y la Sierra de las Estancias al SO; mientras que el Subbético de la Unidad de Alquería constituye el borde NO.

Unidades Béticas: se les atribuyen edades que van del Devónico al Triásico, aunque posiblemente se halla también representado hasta el Precámbrico en la Sierra de la Tercia.

Están compuestas por una serie de formaciones de carbonatos, pizarras, cuarcitas, filitas, micaesquistos, argilitas, conglomerados, areniscas y grauvacas, sin que halla constancia de manifestaciones volcánicas o subvolcánicas.



Fig. 2.— Situación geológica de la cuenca de Lorca



- Subbético de la Unidad de Alquería: constituye el borde NO de la cuenca y contiene materiales que van desde el Neocomiense-Barremiense hasta el Mioceno. Presentan unas directrices NE-SO y las litologías son fundamentalmente carbonatadas. Tampoco existe, en este caso, constancia de materiales ígneos.

### 2.1.3. LITOESTRATIGRAFIA

En la cuenca de Lorca se diferencian las siguientes unidades tectosedimentarias:

#### Unidad 1.- Infraseravalliense

Está constituida por una serie rojiza de conglomerados poligénicos, arenas y arcillas con yesos rojos y azulados. Presenta elementos de las series paleozoicas y permotriásicas y se encuentra en el borde SSE de la Tercia y el extremo nororiental de la Peña Rubia. La extensión de sus afloramientos no permite su representación en la síntesis geológica a escala 1:100.000.

Representa unas facies de abanicos costeros con influencia continental. El medio se hace más marino y se deposita la unidad inmediatamente superior.

#### Unidad 2.- Serravalliense-Tortonense

Sobre la Unidad anterior Infraseravallense, y en cambio lateral de facies, se encuentra una serie de margas arenoso-micáceas (serie detrítica inferior), tanto menos arenosas cuanto más al Oeste. El color es gris, pero muchos niveles arenosos, e incluso conglomeráticos, presentan un color rojizo oscuro.

Entre los elementos hay fragmentos de conchas que apuntan un medio de depósito costero. La edad, más reciente cuanto más al NO, va desde el Helveciense medio al Tortonense medio. Su espesor llega a los 150 metros.

Sobre esta serie y en cambio lateral se depositaron, irregularmente en el espacio, unas calcarenitas que fueron objeto de explotación como piedra de construcción. Se trata de unas calizas bioclásticas que marcan la transgresión del Tortoniense inferior y presentan niveles algales con ostreidos, pectinidos, coralaris, espongiarios y equinodermos (clypeaster), lo que las configura como unas facies para-reefales debidas a la destrucción de un arrecife próximo (facies de talud arrecifal).

### Unidad 3.- Tortoniense II - Messiniense I

Paraconforme con los materiales de la Unidad 2 se deposita una potente serie margosa de hasta 800 metros de espesor, que se adelgaza hasta casi desaparecer en el borde suroccidental, se trata de unas margas grises con moluscos, en sucesión monótona con alguna intercalación arenosa, que hacia techo evoluciona presentando margocalizas, margas pardas y niveles centimétricos de areniscas con restos ferruginosos. Esto indica el final de la transgresión dando paso, en el sector oriental, a un conjunto laminado denominado tramo laminado o kerogénico compuesto esencialmente por laminitas y niveles de yeso y calizas con azufre.

La serie laminada se deposita en un ambiente restringido y salobre definido en el estadio anterior. Se trata de un conjunto en que alternan como elementos principales:

- a) Margas gris-verdosas con restos de vegetales carbonizados
- b) Bancos calcáreos oscuros
- c) Areniscas finas
- d) Laminitas o calcilutitas laminadas y margocalizas y silixitas laminadas y algún nivel diatomítico
- e) Bancos de yeso

Algunos de los bancos calizos citados parecen proceder de niveles de yeso meta-somatizados por la acción de hidrocarburos y bacterias. Estos son los portadores del azufre biogénico y han sido objeto de una intensa explotación.

Los niveles de laminitas se caracterizan por una laminación paralela, consecuencia de una lenta sedimentación en ambiente euxínico, con casi nula energía, presentando en ocasiones escamas de peces e incluso el organismo completo. Ocasionalmente hay ripples simétricos de oscilación.

Se trata en suma de una alternancia de niveles lagoonales someros, y niveles lagunares, tienen una potencia máxima de 70 metros adelgazándose hacia el Oeste.

En el sector oriental se puede dividir en dos tramos. El inferior presenta dos o tres niveles de calizas azufrosas. El superior presenta unas areniscas de color amarillento en lentejones, a veces acanalados, lo que parece indicar una pérdida de espesor en la lámina de agua, hacia el SO, la pérdida de potencia comienza con este nivel como consecuencia de la restricción del área de depósito en el tiempo.

El tramo superior, en la zona de la carretera de Lorca a Caravaca, presenta hasta cuatro bancos de yeso con azufre, estando el más bajo de ellos parcialmente sustituido a caliza.

En la unidad superior hay un nivel centimétrico de cineritas volcánicas.

Hacia techo del tramo bituminoso y de forma gradual se va pasando a una alternancia de margas grises con areniscas de canal en niveles centimétricos; conjuntamente con el tramo laminado poseen unos 110 metros de potencia máxima.

Hay un nivel intermedio denominado tramo margoso arenoso por el que el tramo anterior y el tramo laminado transicionan por el borde Sur y posiblemente por el Oeste al complejo detrítico continental. Litológicamente son margas grises y pardas, con niveles centimétricos de yeso regularmente intercalados al Oeste y areniscas calcáreas con ostreidos, calizas lacustres y niveles de oxidación presentando rasgos de una formación de borde y tránsito de un medio lagoonal a continental franco.

El tramo bituminoso junto con los anteriores indican un medio regresivo que culmina con un depósito evaporítico.

Esta formación evaporítica está constituida por yesos fundamentalmente alabastrinos, anhidríticos y laminados pasando lateralmente hacia el centro de la cuenca a una masa de sal gema con un espesor máximo conocido de hasta 232 metros.

Litológicamente el paquete salino es un depósito cíclico en el que niveles decimétricos de halita muy pura culminan con niveles centimétricos de marga salino-anhidrítica.

En resumen, las margas de muro representan un ambiente pelágico de mar abierto con pocas influencias continentales. El confinamiento de la cuenca de Lorca, bien por la emersión de la Sierra de la Tercia, bien por la regresión marina o por ambos fenómenos conjugados, lleva a una estratificación de la lámina de agua creándose un medio anóxico en el que se deposita el tramo bituminoso. Con posterioridad y tras un depósito turbidítico se establece un medio evaporítico que desarrolla un cinturón de yeso rodeando a uno de sal gema. Por el contrario el borde Oeste y el Noroeste de la cuenca sufren las influencias continentales apareciendo depósitos conglomeráticos y carbonatados costeros que completan el esquema clásico de cinturones de facies asociados a cuencas semiconfinadas, asimétricas.

#### Unidad 4. Messiniense II - Plioceno I

Esta unidad cierra el ciclo del mioceno y está representada por un conjunto de facies litorales con influencia continental.

Litológicamente se pueden separar tres litofacies según el contenido en detríticos, creciendo estos obviamente hacia los bordes de la cuenca. Los elementos detríticos son heterogéneos procedentes de los materiales paleozoicos, mesozoicos y del Eoceno.

- Litofacies limomargosa: es una sucesión gradual cíclica de areniscas con muro erosivo-limolutitas-lutitas-margas. Su contacto con el tramo evaporítico inferior probablemente represente un hiato, por lo que se ha interpretado como paraconcordante con la serie evaporítica subyacente. La potencia es muy variable excediendo, posiblemente hacia el centro, los 200 metros. Es de color blanco y asalmonado.
- Litofacies limoarenosa: se trata de una sucesión repetida con mayor contenido en detríticos que la anterior de limolutitas, areniscas (frecuentemente bioclásticas) y conglomerados, con colores ocre y asalmonados, adosada al borde de la cuenca.
- Litofacies conglomerática: está representada por retazos elevados, preservados de la erosión, de abanicos arenoconglomeráticos granocrecientes que se amontonan formando unas facies aluviales proximales-medias de baja organización, cantos redondeados y hasta 100 metros de potencia.

### Unidad 5.- Plioceno II - Actual

Se divide en dos subunidades:

La primera de edad Plioceno II - Pleistoceno I se compone de conglomerados de cantos muy redondeados depositados en un medio continental de abanicos aluviales y ríos anastomosados con un período de estabilización y formación de un glacis. Ocasionalmente se pueden considerar como antiguas terrazas colgadas. En todos los casos evidencia la persistencia de basculamientos tectónicos, con inclinaciones próximos a las de las series que fosiliza.

- La segunda subunidad, Pleistoceno II - Actual, está Formada por formaciones detríticas heterogéneas que comprenden coluviones, eluviones, suelos (naturales o no) y terrazas recientes. Tienen una amplia distribución aunque pequeña potencia, salvo en la vertiente Oeste de la Serrata, donde al menos 20 metros están eluvio-coluvionados.

Se incluyen también aquí los aluviones de los cauces actuales.

En resumen la cuenca a funcionado como tal desde el Helveciense (Mioceno Medio) presentando actualmente una disposición intramontañosa; sin embargo, tan sólo en sentido longitudinal (SO-NE) presenta alguna simetría, mientras que en sentido transversal acusa su carácter de área litoral que ha recibido aportes diferenciados entre sus bordes continentales (borde NO) y marino (borde SE).

Se trata pues de una cuenca a la que han llegado aportes desde el Mioceno Medio y que se caracteriza por presentar una importante influencia marina.

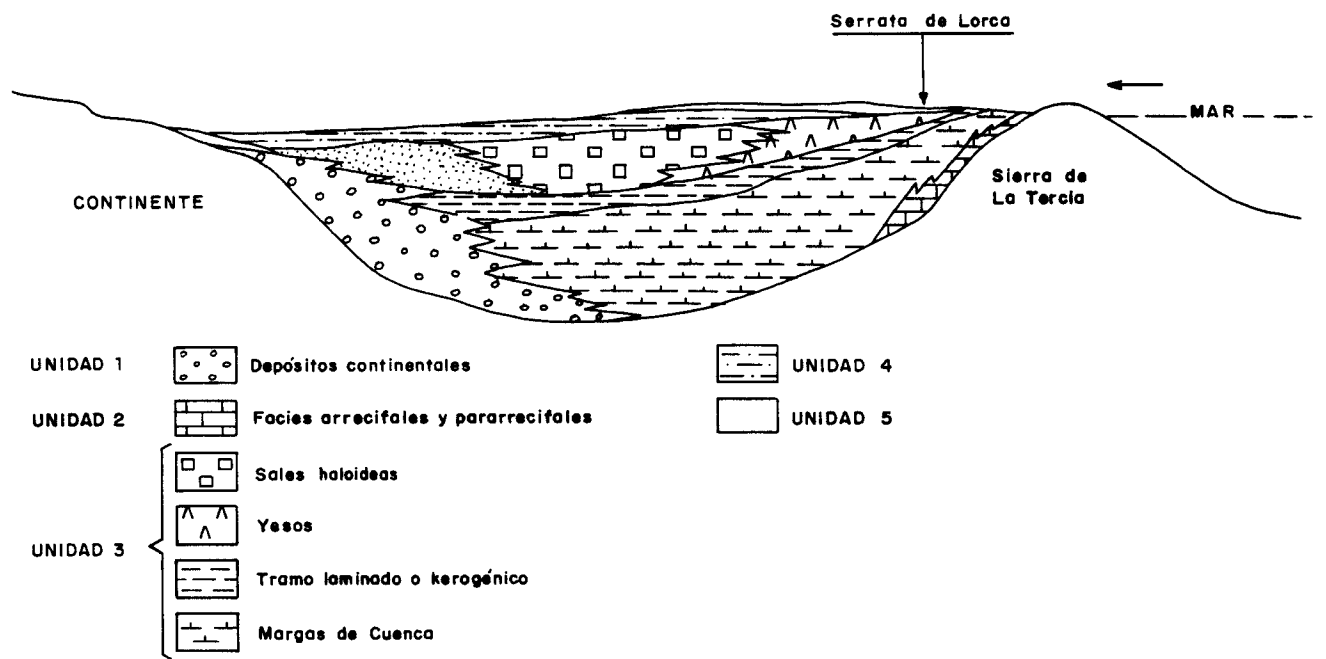
En el Mioceno Superior (Tortonense II - Messiniense I) actúa como cuenca evaporítica semiconfinada, produciéndose el depósito de niveles kerogénicos preevaporíticos y de evaporitas según anillos concéntricos (yesos hacia los bordes, sales haloideas hacia el centro).

Desde el Messiniense II hasta la actualidad la cuenca continúa su colmatación con una clara influencia continental. Puede deducirse, por tanto, que en sentido transversal la cuenca funciona con una cierta asimetría propiciada por la propia evolución tectónica, que puede determinar que el depocentro se haya desplazado de manera más o menos continua hacia el Sur, lo que ha determinado una mayor acumulación de sedimentos de tipo marino hacia el sector SE, coincidiendo con el máximo de potencia de sedimentos de los tramos finales del Tortonense II - Messiniense I en las inmediaciones de la Serrata de Lorca (Fig. 4).

La emersión de la Sierra de la Tercia y la retirada del mar, producen un confinamiento de la cuenca con estratificación de las aguas y depósito de un tramo laminado con alto contenido en kerógeno seguido de un nivel evaporítico, proporcionándose así los elementos necesarios para la formación del azufre biogénico.

Hay que resaltar además la presencia de una banda evaporítica en el borde SE de la Sierra de la Tercia. Estas evaporitas, formadas por yesos alabastrinos, laminados y fibrosos, presentan una gran similitud con la banda de la Serrata de Lorca, si bien también podrían ser una continuación de la banda Sur de evaporitas de la vecina cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia.



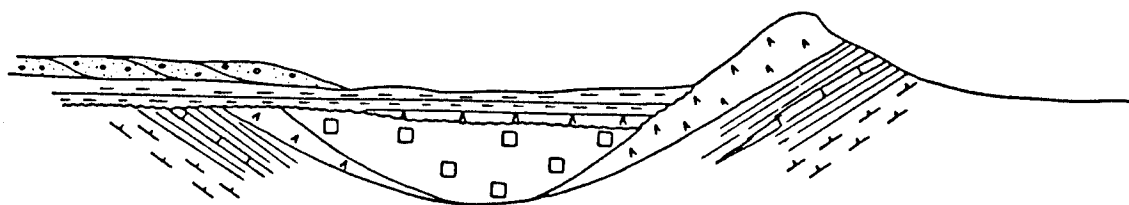


**Fig.3** :-Esquema transversal de la Cuenca de Lorca

FIGURA 4 - Morfología idealizada de la Cuenca de Lorca. Esquemas.

NO

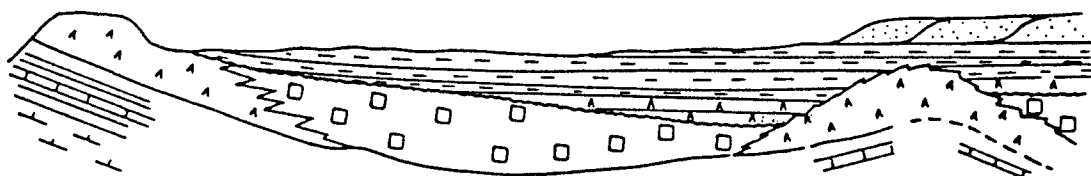
SE



CORTE IDEALIZADO CUENCA DE LORCA. SECCION TRANSVERSAL

SO

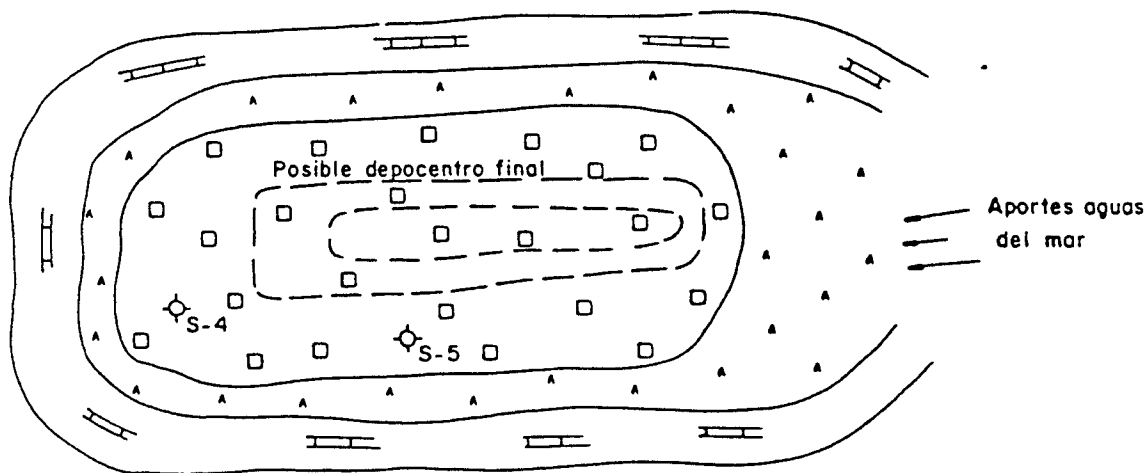
NE



CORTE IDEALIZADO CUENCA DE LORCA. SECCION LONGITUDINAL

OSO

ENE



CORTE IDEALIZADO EN PLANTA DEL TECHO DE LA SAL



Conglomerados



Alternancia de yesos y margas



Halita



Yeso



Serie preevaporitica



Margas de cuenca

— Isochronas

Se pueden interpretar, por tanto estas evaporitas según dos hipótesis:

1. La primera: consistiría en que esta banda evaporítica fuese una continuación de la banda de la Serrata y que tras la emersión de la Sierra de la Tercia fue erosionada.

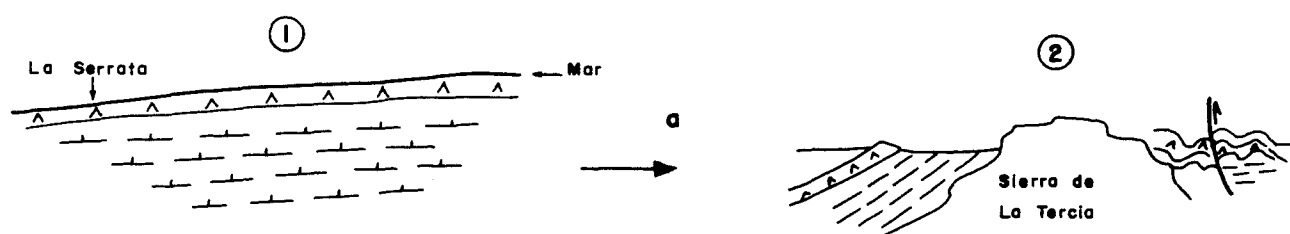


Fig. 5.a. Separación de la banda evaporítica del techo de la Unidad 3 por la emersión de la Sierra de la Tercia

Ello implicaría que la emersión de dicho enclave Bético fue posterior al Plioceno I.

- 2.- Debido a una estructuración cuencal en la que esta banda evaporítica se habría depositado independientemente de las evaporitas de la serrata en una cuenca confinada de borde activo.



Fig. 5.b. Localización de facies evaporíticas en distintas zonas de depósito a causa de una compartimentación estructural durante la sedimentación

#### 2.1.4. TECTONICA

Conviene resaltar las relaciones entre los materiales de la cuenca Neogeno de Lorca con los del Substrato Bético y Subbético. Así a partir del Tortoniense superior los fenómenos más importantes son:

- la subsidencia de la cuenca entre el Tortoniense superior y el Plioceno
  
- el borde SO de la cuenca en contacto con el substrato Bético de la sierra de las Estancias, caracterizado por estructuras muy abruptas que revelan el rejuvenecimiento, en el Tortoniense Superior, de fallas preexistentes de dirección NO-SE.
  
- la vertiente SO de la Sierra de la Tercia muestra efectos de la tectónica del Tortoniense Superior, pero casi totalmente enmascarada por otra muy posterior, posiblemente de edad pliocena. Dominan aquí, en contacto con los materiales de la cuenca, las fallas normales de dirección NE-SO, paralelas a la disposición de la cuenca y el límite de la Sierra de la Tercia con la fosa del Guadalentín caracterizado por una fractura NE-SO con una componente importante de salto en dirección.
  
- En cuanto al borde NE de la cuenca limitado por las formaciones Béticas de la sierra de Espuña parece caracterizado por la presencia de fallas normales de direcciones NNE-SSO y NO-SE de buzamientos muy verticales.
  
- En cuanto al Subbético está suavemente plegado con una orientación predominante de los ejes ENE-OSO (subparalela a la máxima longitud de la cuenca de Lorca). Estas estructuras aparecen cortadas por numerosas fallas transversales, debidas a movimientos post-oligocenos. El límite de los materiales

neogenos con el Subbético parece estar dominado por una fracturación SO-NE subparalela a la máxima elongación de la cuenca Neogena.

Toda la cuenca de Lorca tiene una estructura de un sinforme muy lapso de dirección NE-SO con buzamientos muy suaves.

No ocurre así en el borde SE de la sierra de la Tercia donde son muy frecuentes las facies detríticas, buzamientos muy elevados y pliegues apretados de dirección NE-SO.

Todos los movimientos principales ocurridos en el Mioceno parecen estar relacionados con una tectónica de bloques, definiéndose una serie de compartimentos, limitados por líneas estructurales de dirección NE-SO y su transversal, con desplazamientos relativos en la vertical.

Este sinforme, formado por los materiales neogenos de la cuenca de Lorca tiene una dirección NE-SO y forma una cubeta de unos 17 kms de largo por 10 kms de anchura.

Esta cubeta es, estructuralmente, asimétrica ya que el flanco SE buza en torno a los 30°, e incluso 40°, mientras que el flanco NO no buza más de 10°. En la zona SSO, donde cierra la estructura, los buzamientos están comprendidos entre 20° y 30° al Norte.

En la periferia la formación arrecifal se acomoda a una suave forma anticlinal circundante.

Dentro de la banda evaporítica se observan estructuras de pliegues halocinéticos que implican relieves. También y a pequeña escala, en las calizas de neoformación, se observan otros pliegues debidos a cambios de volumen.

En los materiales de la cuenca solo ha actuado la tectónica nealpina con estructuras discontinuas de cizalla según una dirección preferente NE-SW que parece haber funcionado en dos fases: una primera que se inicia por basculamiento al mar con creación de altos fondos, transgresión, y, una segunda con recuperación positiva semiaislando las cuencas que entran en regresión (Tortonense superior).

Contemporánea y compensatoriamente, parece seguro, que esta segunda fase activa la distensión de la plataforma externa al SE de la Sierra de la Tercia siendo responsable de la delineación de las cuencas messinienses y de la tercera transgresión mediterránea, rejuveneciendo el relieve del antepais occidental de la cuenca de Lorca, proporcionando así la fuente de los elementos continentales que la rellenan en el Messiniense.

Penecontemporaneamente, en principio, pueden ser los movimientos distensivos transversos NO-SE que han cortado las estructuras principales arriba citadas, basculando los depósitos al NE en la zona de cierre. Esta distensión continuó durante el Messiniense II - Plioceno I afectando, en cierta medida a la formación detrítica superior (Unidad 3), sin embargo no hay evidencia clara de en que medida hayan podido alcanzar este depósito. Posiblemente con estas direcciones y las menos evidentes, NNO-SSE, se enlaza con los movimientos, también distensivos, rodánicos; es también posible que sobre estas mismas direcciones preexistentes se hayan dejado sentir los movimientos finipliocenos, así como causando los recortes menores que sobre una dirección N90° a 110° afectan al cierre suroccidental de la cuenca. Apoyando esto está la evidencia de la inclinación de los depósitos pliocuaternarios y el que la actual forma sinclinal no parece haber perturbado la sedimentación de los depósitos más altos de la formación detrítica superior (Unidad 3).

En resumen, se trata de una tectónica de bloques continuados dentro de una cubeta o pull-apart que con directrices NE-SO sería moderada en el flanco oriental y más importante en el occidental, a partir del Tortonense II.

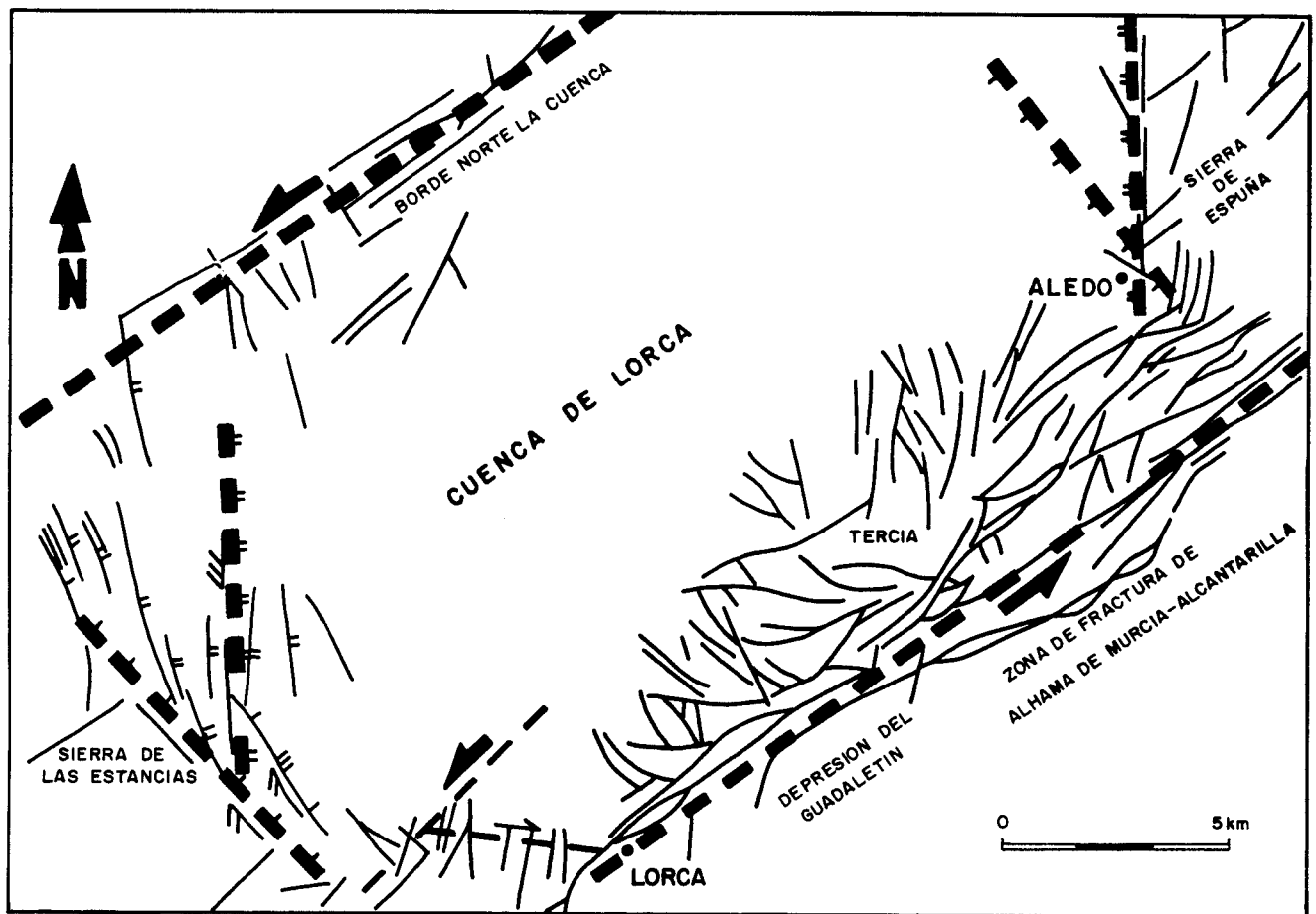
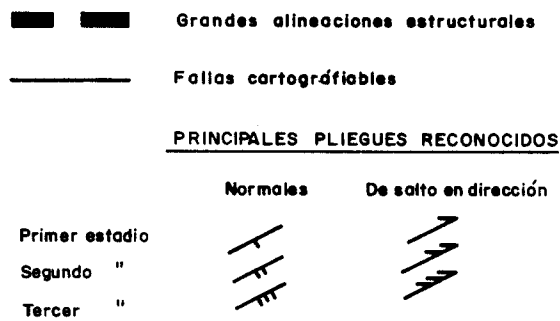
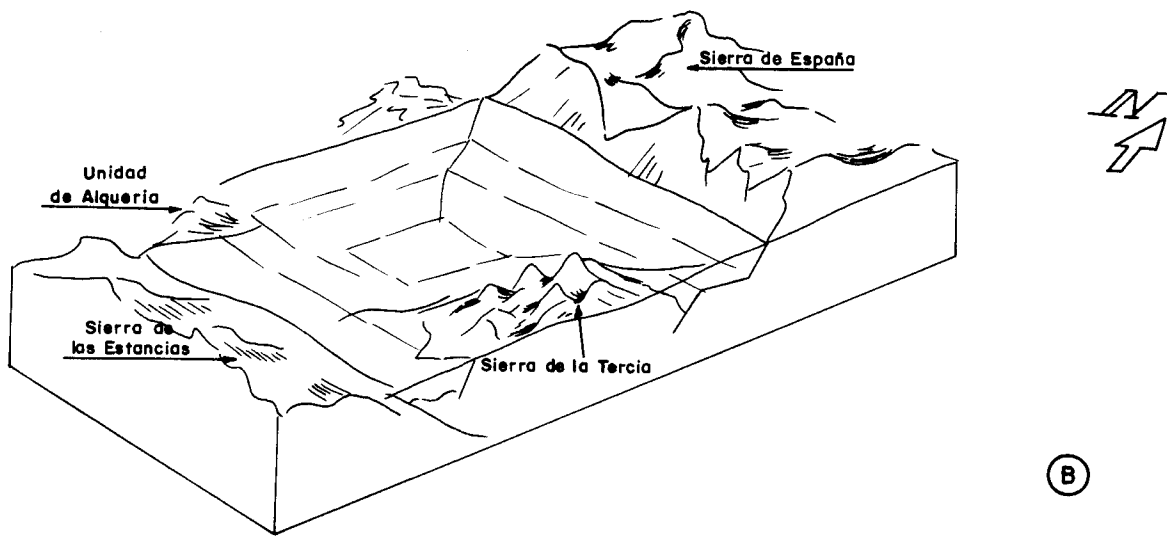
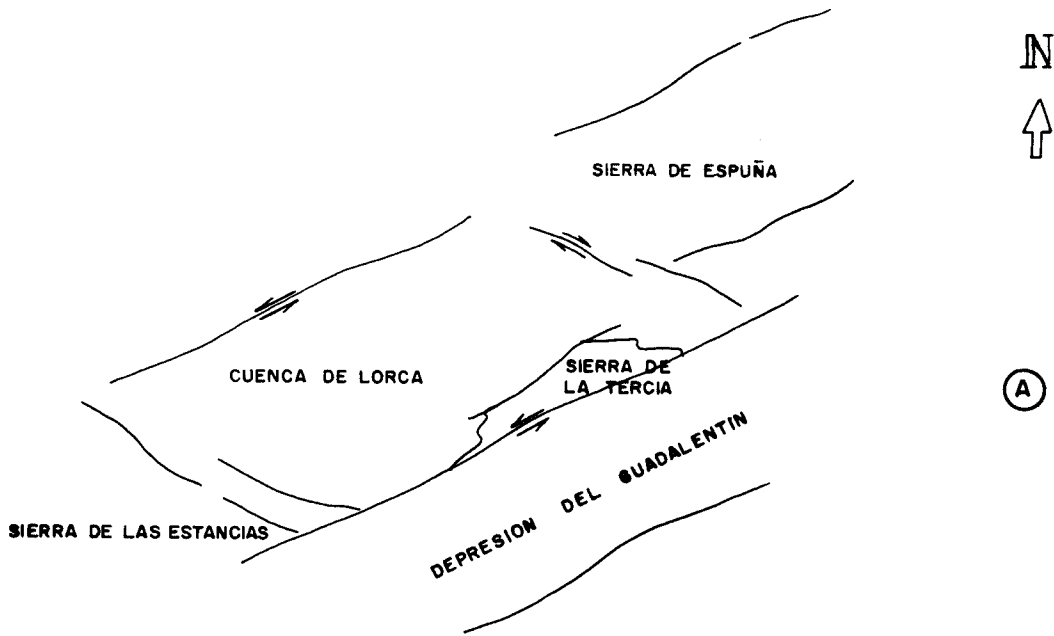


Fig. 6.- Esquema tectónico de la Cuenca de Lorca





Ⓐ Planta, configuración de la cuenca como cubeta distensiva o Pull-Apart

Ⓑ Bloque esquemático mostrando la disposición según una tectónica de bloques dentro de una cuenca de Pull-Apart.

Fig. 6a — Esquema tectónico de la Cuenca de Lorca



## 2.1.5. ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO

### 2.1.5.1. ESTUDIOS ANTERIORES

Las manifestaciones y antiguas labores de explotación de azufre se encuentran en la Serrata de Lorca y son conocidas desde antiguo.

Los antecedentes geológicos-mineros, en cuanto a lo que a las manifestaciones de azufre se refiere, se remontan al año 1.856, si bien parece que las explotaciones comenzaron en 1.853 y terminaron a principios de siglo. La explotación de azufre se llevó a cabo sobre niveles de anhidrita, de menos de 1 metro de potencia, parcialmente sustituidos a caliza y azufre, dentro de una serie kerogénica (tramo laminado) correspondiente a un medio de depósito euxínico preevaporítico.

El volumen de las escombreras es muy grande y las labores mineras numerosas, consistentes fundamentalmente en bocas de entrada en la vertiente suroriental de la Serrata, y pozos verticales en la vertiente Noroccidental, si bien hay también algunos pozos en la primera. Parece, por tanto, que la explotación se llevó a cabo mediante galerías y planos inclinados siguiendo las capas mineralizadas y utilizando posiblemente los pozos verticales como vía de extracción y ventilación.

Existen trabajos, anteriores a 1.934, que hacen referencia a las antiguas explotaciones de azufre.

Verneuil y Collombs (1.856) citan: "Numerosas minas con plena explotación .... y el mineral mezclado con arcilla ..... destilado en la fábrica "dans de grande cornises de fonte".

Gignoux y Fallot (1927) visitaron igualmente este yacimiento, celebres también por sus capas con peces (Sauvage, 1.875 y Arambourq, 1.927)

Horacio Bentabol (1917) indica que geológicamente los criaderos de azufre de Lorca, están formando una alternancia de capas de arcillas, margas y pizarras terciarias de, al parecer, edad Miocena.

Meseguer Pardo, J. (1.924) señala, desde el punto de vista geológico, que en la región de Lorca los estratos azufrosos que se encuentran 4 km de distancia de dicho pueblo en dirección NO, se extienden a lo largo de una pequeña sierra denominada Serrata de Lorca que ofrece un relieve escaso aunque cuenta con grandes pendientes en su vertiente Este. Más adelante indica que la topografía de la serrata está estrechamente relacionada con la constitución geológica de los estratos, señalando que estos son atravesados por una falla paralela a la sierra que deja a esta en su lado Oeste y como consecuencia de la consistencia de las rocas ha quedado descubierta por pendientes abruptas más apartadas del flanco vertical de lo que en realidad se hallaría dicha falla.

Seguidamente indica que los terrenos son del Mioceno, durante el cual se produjeron una serie de depósitos de yeso en toda la región mediterránea. Señala también que el medio de depósito estaba constituido por un gran número de lagos y lagunas rodeadas por montes y cerros, como ha ocurrido en la zona de Lorca, cuya pérdida de agua por evaporación no quedaba compensada por las precipitaciones atmosféricas. Cuando la cantidad de sales disueltas, que aumentaba a medida que el agua iba evaporándose, fue suficiente, comenzó la precipitación del yeso. Antes de este fenómeno era ya imposible la vida de la fauna lacustre, por la gran protección de elementos contenidos en el agua. Cuando los organismos perecieron, la descomposición de sus restos favoreció el desarrollo de bacterias anaerobias que actuaron primero sobre ellos y redujeron más tarde el yeso para producir los yacimientos de azufre.

Según Horacio Bentabol (1.917), el azufre contenido en las rocas de la Serrata se encuentra diseminado en pequeños núcleos amorfos repartidos en la masa de yeso o marga y aún en la mezcla de ambas clases de rocas, que forman algunas de las

muchas capas en estratificación concordante. El sistema buza tanto más fuerte cuando se trata de puntos mas meridionales. Así, en la Mina Sagrado Corazón de Jesús buza 25°, siendo esta la más septentrional entonces en explotación, mientras que en la trancada de la Mina Clemencia y Por Si Acaso, próximas al río Guadalentín, es de 33°. Las capas que contienen azufre las describe como poco potentes con un espesor comprendido entre 8 y 50 cm, siendo siempre muy "bituminosas" y conteniendo algunas veces impresiones de peces.

Se comenta que en la Mina de San José o San Juan Bautista, como se le denominó posteriormente, próxima a Segunda Esperanza y a Santa Cruz de Caravaca, se produjo una explosión de grisú en 1.900 que ocasionó algunas victimas y la paralización de los trabajos en la capa mas profunda, que desde entonces de conocida con el nombre de "lastra de fuego".

Según Meseguer (1924) la explotación de las minas comienza en 1.853 y termina a principios de siglo, pudiendo resumirse en tres períodos:

- En 1853 se descubre la primera capa mineralizada y desde este momento hasta 1.865 se demarcan doce concesiones.
- Entre 1.866 y 1.896 se descubre la segunda capa y se demarca el coto Felicidad y otras concesiones quedando ocupada la mayor parte del área con indicios de azufre.
- El tercer período tiene comienzo en 1.897, año en que la sociedad Franco Española, propietaria del coto Felicidad, empieza a adquirir 378 Ha de concesiones que se suman a las 360 del coto, ya en 1.916 y 1.917 se demarcan 676 Ha por parte de Unión de Explosivos Río Tinto, quedando completamente cubierta el área de interés de la Serrata y su flanco Sur.

Meseguer define la zona mineralizada ocupando una banda reconocida de 1 a 2 km de anchura por 10 km de longitud, a lo largo de la Serrata de Lorca, y la zona explotable del yacimiento formada por tres capas de calizas margosas con gran cantidad de "inclusiones, lentejuelas y bolsadas" de azufre con un buzamiento que oscila entre los 25° y los 30°. El contenido de este elementos varía entre el 8% (considerado estéril) hasta el 40%, que sólo aparece en casos raros, siendo la ley media del 20%. Observándose en el pozo "Sagrado Corazón de Jesús", abierto en el coto "La Felicidad" la siguiente sucesión:

Tierra vegetal	2 metros
Tierra descompuesta	2 metros
Yeso compacto	2 metros
Yeso y arcilla	0,5 metros
Yeso compacto	7,9 metros
Yeso más flojo	1,9 metros
Yeso con vetas de arcilla	0,4 metros
Yeso compacto	1,8 metros
Molineras	0,2 metros
Yeso compacto	1,95 metros
Yeso con arcilla	5,95 metros
Yeso muy compacto	3,45 metros
Yeso descompuesto y arcilla	2,65 metros
Yeso más fuerte	1,20 metros
Yeso y arcilla	3 metros
Yeso fuerte con arcilla y agua	2 metros
Yeso muy fuerte con agua	1,70 metros

Este tramo alcanza en total 40,65 metros cortándose debajo los siguientes términos:

Arcilla plástica	0,20 metros
Pizarras duras	0,50 metros
Pizarras flojas, arcilla plástica y agua	17,04 metros
Yesos duros y blandos en capas alternantes	51,66 metros

A la profundidad de 110 metros se cortó la primera capa mineralizada y, mediante cruceros de 12 metros de longitud, que se abrieron en las pizarras, la segunda.

Cita también que las rocas del yacimiento, y especialmente las pizarras arcillosas, poseen un olor característico, debido a una impregnación de sustancias "bituminosas" cuyo origen debe buscarse en la descomposición de materias orgánicas. Esta descomposición produce hidrocarburos cuya proporción, dice, ha llegado hasta el 30%, deducido de los análisis de los gases obtenidos en la destilación de las pizarras.

En los últimos años el ITGE ha realizado varios proyectos de exploración de pizarras bituminosas y sales como son:

- Estudio geológico-minero de las concesiones de azufre Lorca (1.975)
- Investigación de pizarras bituminosas en el Sureste de la Península Ibérica (Almería, Granada, Murcia y Alicante) (1.983)
- Ampliación de la Investigación de Pizarras Bituminosas en la zona de Lorca (Murcia) (1982)

- Investigación de pizarras bituminosas en los sectores de Libros (Teruel), Lorca (Murcia), Hellín (Albacete) y Campins (Barcelona)
- Investigación de pizarras bituminosas en cuatro zonas de la provincia de Murcia y Almería (1981)
- Investigación de pizarras bituminosas y control geológico de sondeos en el sector de Lorca (Murcia) (1981)
- Proyecto de investigación geofísica para ubicación de horizontes de sales haloideas en las cuencas marinas semiconfinadas, sector Lorca y adyacentes (Murcia)
- Posibilidades de sales haloideas en cuencas confinadas del SE español (1985)

Con todos estos trabajos se configura la cuenca de Lorca ubicándose las manifestaciones de azufre bajo el paquete de yesos que marca la alineación de la Serrata de Lorca.

Los sondeos realizados durante la ejecución de estos trabajos cortaron niveles con azufre. También hubo dos sondeos (S-4 y S-5) que cortaron un potente banco de sales haloideas hacia el centro de la cuenca, al Noroeste de la Serrata, y en cambio lateral con el banco de yesos de la Serrata.

Durante el desarrollo del Proyecto-Investigación de Pizarras Bituminosas y control de sondeos en el sector de Lorca (Murcia) ITGE 1981 - se llevaron a cabo siete sondeos mecánicos con recuperación de testigo continuo cuyos resultados esquematizamos a continuación.

**SONDEO L-1**

Profundidad: 136,50 m

Inclinación: vertical

En la columna litológica se diferenciaron los siguientes tramos

0 - 64,40 m	Margas, arcillas y yesos
64,40 - 116,20 m	Alternancia de margas y laminitas. Ocasionalmente algún nivel de <u>calizas con azufre</u> , areniscas y calizas
116,40 - 136,50 m	Margas con pasadas de laminitas

**SONDEO L-2**

Profundidad: 85 m

Inclinación: vertical

Los tramos intersectados fueron los siguientes:

0-23,70 m	yesos y arcillas
23,70-57 m	alternancia de arcillas y laminitas. ocasionalmente niveles de yesos y areniscas
57-85 m	margas grises y localmente se intercala algún tramo de yeso

**SONDEO L-3**

Profundidad: 110 m

Inclinación: vertical

En la columna litológica se diferenciaron:

0-13,80 m	margas y yesos
13,80-107 m	alternancia de niveles de margas y otros de laminitas
107-110 m	areniscas

**SONDEO L-4**

Coordenadas UTM                      Profundidad: 101 m

x = 615.820                              Vertical

y = 4.177.420

En el levantamiento de la columna litológica se dividieron los siguientes tramos:

**Tramo evaporítico:**

0 - 41,70 m      Margas yesíferas, arcillas y yesos. Dos niveles de dolomías, uno de ellos con azufre

**Tramo margoso:**

41,70 - 57 m      Arcillas y margas grises fétidas.

**Tramo detrítico:**

57 - 60,5 m      Margas y pasadas centimétricas de areniscas.

**Serie bituminosa:**

60,5 - 91 m      Alternancia de margas, niveles de laminitas, niveles de yeso y calizas con azufre.



**SONDEO L-5**

Coordenadas UTM Profundidad: 100 m

x = 615.000 Sondeo vertical

y = 4.177.230

Se cortaron los siguientes tramos:

**Tramo evaporítico:**

0 - 46 m. Margas yesíferas, yeso y arcillas.

**Tramo margoso:**

46 - 69 m. Margas grises masivas. Intercalaciones de margas laminadas y arcillas.

**Serie bituminosa:**

69 - 100 m. Alternancia de margas, niveles de laminitas, niveles de yesos y calizas con azufre

**SONDEO L-6**

Coordenadas UTM Profundidad 102,5 m

x = 612.580 Sondeo vertical

y = .174.170

En la columna litológica se diferenciaron los siguientes tramos:

**Tramo evaporítico:**

0 - 51 m Yesos y arcillas

**Tramo detrítico:**

51 - 96,5 m Margas grises oscuras intercalaciones de areniscas

**Serie bituminosa:**

96,5 - 102,5 m Margas y niveles de laminitas.

**SONDEO L-7**

Coordenadas UTM            Profundidad: 96,80 m  
x = 613.170                Sondeo vertical  
y = 4.174.790

En la columna se diferenciaron los siguientes tramos:

**Tramo evaporítico:**

0 - 40 m            Yesos y arcillas

**Tramo detrítico:**

40 - 62 m            Margas grises con intercalaciones de areniscas

**Serie bituminosa:**

62 - 96,80 m        Alternancia de margas, niveles de laminitas y algunas intercalaciones de areniscas.

Durante la ejecución del proyecto-Investigación geológica minera de pizarras bituminosas en dos sectores de Lorca (Murcia), Hellín (Albacete), Libros (Teruel) y Campins (Barcelona) se llevaron a cabo tres calicatas en el tramo bituminoso de la Serrata de Lorca, pero en ninguna de ellas se menciona sustitución de los niveles de yeso por azufre y/o caliza.

El proyecto Ampliación a la Investigación de pizarras bituminosas en la zona de Lorca (Murcia) (Fase II) (1982) incluyó una campaña de geofísica eléctrica con SEV y la ejecución del 996,65 metros de sondeos mecánicos con control geológico y testificación eléctrica de los mismos. Estos metros de sondeo se dividieron en 5 sondeos localizados en el sector occidental de la Serrata que para la campaña anterior era el que quedaba por cubrir. Este sector de la Serrata se consideraba en principio como de mayor interés para los objetivos que entonces se perseguían, ya que presenta un mayor espesor de pizarras bituminosas en superficie.

Los resultados de estos sondeos los resumimos a continuación:

### **SONDEO S-1**

Inclinación: vertical

Profundidad: 146,5 m

En el levantamiento de la columna litológica se diferenciaron los siguientes tramos

#### **Serie detrítica:**

0 - 49 m limolitas y areniscas con pequeñas pasadas de limolitas localmente laminadas

#### **Serie bituminosa:**

49 - 116 m alternancia de limolitas, niveles de laminitas, siléx y calizas

#### **Serie margosa:**

116 - 146,5 m limolitas grises masivas

### **SONDEO S-2**

Inclinación: vertical

Profundidad: 98,10 m

En la columna litológica se diferenciaron los siguientes tramos:

**Serie detrítica:**

0 - 34 m          limolutitas

**Serie bituminosa:**

34 - 72,5 m      alternancia de limolutitas, niveles de laminitas y bancos de calizas

**Serie margosa:**

72,50 - 98,10 m limolutitas grises masivas

**SONDEO S-3**

Inclinación:      vertical

Profundidad:     150 metros

Se distinguieron dentro de la columna litológica los siguientes términos:

**Serie detrítica:**

0 - 31 m          Margas

**Serie bituminosa:**

31 - 68 m          Alternancia de margas, niveles de laminitas e intercalaciones de yesos y calizas

**Calcarenitas subarrecifales:**

68 - 150 m      Alternancia de margas, calizas y calcarenitas

**SONDEO S-4**

Inclinación:      vertical

Profundidad:      300,25 m

Se distinguieron los siguientes tramos dentro de la columna litológica

**Formación detrítica superior:**

0 - 40 m      Arcillas, limolitas y niveles de areniscas

**Formación evaporítica:**

40 - 63 m      Yesos y arcillas

63 - 298 m      Sal sódica (halitas) que varía entre un 75 y un 90%; niveles de anhidrita y arcillas en la proporción restante

**Serie detrítica:**

298 - 300,25 m      limolitas y margas

**SONDEO S-5**

Inclinación: vertical

Profundidad: 301,80 m

Se diferenciaron los siguientes términos dentro de la columna litológica:

**Formación detrítica superior:**

0 - 44 m Arcillas, limos y niveles de areniscas

**Formación evaporítica:**

44 - 112 m Alternancias de yesos y limolulitas

112 - 161 m Halita con intercalaciones de anhidrita y limolutita que no alcanza el 15%

**Serie detrítica:**

161 - 206 m Limolulitas

**Serie bituminosa:**

206 - 258 m Limolulitas laminadas

**Serie margosa**

258 - 301 m Alternancia de margocalizas y limolulitas

Los sondeos S-4 y S-5 interceptaron la formación bituminosa pero no niveles de laminitas (paper shale).

Con los resultados aportados de estas dos campañas de sondeos y con la geología de superficie que se hizo en el mismo período de tiempo a escalas 1:25.000 y 1:10.000, se realizó una valoración de las reservas en cuanto a niveles kerogénicos de la zona.

Durante la ejecución de este proyecto se realizó una campaña de geofísica eléctrica, en la que se hicieron 47 SEV (Sondeos Eléctricos Verticales), agrupados en nueve perfiles octogonales a los bordes SE y SO de la cuenca. En cada uno de ellos se hicieron estaciones abriendo las alas hasta alcanzar el objetivo propuesto o hasta que las dificultades del terreno lo impidían, por presencia de relieves topográficos o porque estos provocaban desviaciones de las alas que invalidaban los resultados.

Los valores de apertura oscilaron entre AB 1000 y AB 5000.

Con los datos obtenidos en esta campaña se confeccionó un plano de isohipsas del techo de la formación evaporítica, como forma más clara de reflejar su geometría. Las isoclinas se trazaron cada 50 metros y están referidas a cotas absolutas sobre el nivel del mar.

Este plano evidencia una profundización progresiva del techo de la formación evaporítica hacia el centro de la cuenca, perdiéndose hacia el NO, según una alineación NE-SO (coincidente con la disposición de la cuenca).

En la continuidad hacia el NE de las isohipsas del techo de la formación evaporítica se puede precisar la existencia de un alto según una dirección aproximadamente N-S, que deja paso a una profundización de la cuenca hacia el NE.

Los resultados obtenidos de la investigación geofísica permiten delimitar por el NO la existencia de la formación evaporítica y dejan abierta su continuación

hacia el NE, avalando la utilidad del método para una eventual utilización posterior.

En este proyecto también se llevó a cabo un estudio mineralógico y petrográfico de los tramos salinos sobre 16 muestras de los mismos tomadas de los sondeos S-4 y S-5. Se hizo un estudio a mesoescala de las secciones obtenidas del corte longitudinal de los testigos, preparación microscópicas mediante pulido en petróleo y difracción de rayos X.

La interpretación mineralógica hace suponer que la parte superior ha sufrido un proceso de retrodiagénesis relacionado con su emersión por lo que el estudio se centro en las halititas y en las rocas dolomítico-halíticas.

La ritmicidad de las sales parece corresponder a episodios de endulzamiento de las aguas con otros de salinidad creciente, reflejando la anhidrita y halita la instalación definitiva de un medio evaporítico. La dolomitización de un carbonato precursor y la presencia de una variada serie de cuarzos refleja una gran cantidad de sílice en el medio, las texturas de la halita se generan a partir de cadenas de halitas flotantes que caen y se sedimentan ordenadamente, cuando sobre el fondo existen salmueras calientes casi saturadas en halita que generan cristales esqueléticos de halita.

Los niveles detríticos representan entradas episódicas en la cuenca a partir de sistemas fluviales.

El modelo sedimentológico, según este estudio, pueden atribuirse a sedimentación bajo una lámina constante de agua.

En base a estos estudios, en el proyecto de "Ordenación y valoración de las pizarras bituminosas en la Península Ibérica" se habla de la disposición anular y más o menos concéntrica de los sedimentos según el modelo de Busson (1.972), según



el cual hay una zona más externa con elementos carbonatados y detríticos, una zona media con bancos de yeso o anhidrita y una zona central con dominio de la halita, cloruros de magnesio y potasio. Las observaciones y peculiaridades de este modelo las comentaremos más adelante al conjugar los datos obtenidos de otros proyectos anteriores y del presente.

Por último se realizó en la zona un estudio denominado "Proyecto de investigación geofísica para la ubicación de horizontes de sales haloideas en cuencas marinas semiconfinadas, sector Lorca y adyacente", en el que se realizó una gravimetría y una campaña de S.E.D.T. (Sondeos Electromagnéticos en el dominio de tiempos).

En cuanto a la gravimetría se obtuvo un plano de anomalía de Bouguer que refleja los límites oriental y meridional de la cuenca, que vienen definidos por un abrupto gradiente gravimétrico, el cual coincide sensiblemente con la alineación de afloramientos de yesos. Los materiales del substrato originan máximos gravimétricos relativos por su mayor densidad con respecto a los que constituyen el relleno de la depresión.

Hacia el NO la distribución de isoclinas parece indicar continuidad y hundimiento progresivo de la cuenca, perturbada por algunos máximos relacionados con los materiales subbéticos de la unidad de Alquería, otros por el contrario son debidos a un potente banco de conglomerados superficiales con acusado contraste de densidad respecto a los materiales arcillosos. Un importante mínimo en la zona SE se podría corresponder con la presencia del nivel de sales.

Según el estudio al NE se identifica un posible surco de conexión con la cuenca de Totana, pero esto no está confirmado.

Con la obtención de un plano de la anomalía residual, todos los rasgos comentados quedaron más explícitamente definidos y en especial el mínimo debido a la formación salina.

Este mínimo, es asimétrico, con una máxima amplitud hacia el Sur. La posición de este mínimo con respecto a los sondeos concuerda notablemente con la potencia de sal cortada.

En cuanto a los SEDT que se ejecutaron en este proyecto, sus resultados reflejaron la influencia de la presencia y cambio de espesor de la capa de sal. Esta se comporta como un elemento resistivo dentro de una sección fundamentalmente conductora. Al margen de los primeros 20 ó 30 metros, en los que la resolución del método es muy pobre, la interpretación de la prospección geofísica define de 3 a 4 capas que son:

- 1: Recubrimiento más o menos diferenciado con espesores variables entre 50 y 150 metros y resistividades inferior a 5 ohm.m. Justo a techo de la sal la resistividad es siempre menor de 3 ohm. m. correspondiente principalmente a margas, lateralmente, fuera de la sal, la resistividad de este conjunto aumenta, quizás a causa de un incremento en el contenido en yesos de la formación.
- 2: Halita. Se define su posición y potencia que llega a superar los 200 metros. Su resistividad está en torno a los 100 ohm. m. aunque con variaciones desde 60 hasta 180 ohm.m., hecho que se puede justificar por las intercalaciones arcillosas que presenta y por el cambio lateral yeso-halita hacia los bordes.
- 3: Serie preevaporítica. Presenta una resistividad del orden de 10 ohm.m. o inferior. Se presenta a muro de la sal e incluso fuera del ámbito de la mis-

Hacia el Este parece producirse un cambio lateral con valores de resistividad más elevados.

- 4: Substrato o basamentos. Se aprecia en los canales finales de algunos SEDT sin que se pueda definir con claridad el orden de magnitud de su resistividad. De todas formas es un elemento diferenciado que queda indicado en los perfiles geoléctricos que se realizaron.

#### 2.1.5.2. DESCRIPCION DE LAS SERIES

En el sector de la Serrata de Lorca se distinguen los siguientes tramos dentro de la Unidad 3 (Tortoniense II - Messiniense I) que es la que presenta interés desde el punto de vista del azufre.

- Margas de muro:

Sobre las calcarenitas o calizas bioclásticas de la Unidad 2 (Serravalliense-Tortoniense I) se depositan paraconformemente una potente serie margosa de hasta 800 metros de espesor perteneciente a la Unidad 3. (Torteniense II-Messiniense I). Este tramo margoso como comentamos anteriormente pierde potencia hasta desaparecer hacia el Suroeste.

Representan, en principio, un medio sedimentario pelágico de mar abierto y se trata de una sucesión monótona de margas grises con alguna intercalación arenosa y que a techo presenta margocalizas, margas pardas y niveles centimétricos de areniscas con restos ferruginosos indicando el final de la transgresión.

Desde el punto de vista del azufre es una formación estéril en si misma, y por su posición en esta cuenca, bajo el nivel de interés resulta desfavorable

pues su impermeabilidad a muro de las evaporitas restringe la circulación de posibles soluciones mineralizante.

En el sector del llano de la Serrata están representadas por Margas con algunos niveles más calizos de 10 a 20 cm de potencia, como puede verse en la columna 953-C-5 en esta zona afloran poco ya que se ocultan bajo el cuaternario. Al SSE de la Fuente del Chorrillo se trata de unas margas amarillentas pardas en sucesión monótona y con algunos ocreos (953-C-1).

En el extremo SO, sector del Cejo de los Enamorados están representados por margas y margocalizas grises que a techo alternan con niveles pardos y con presencia de óxido de hierro (953-C-9).

En los sectores de El León, El Pozuelo y Casas de Mellado, se trata de unas margas y margocalizas grises con delgados niveles de areniscas, y que a techo presentan óxidos de hierro y vetas de yeso secundario, oblicuas a la estratificación (columnas litoestratigráficas 853-C-10, 953-C-11, 953-C-12, 953-C-13, 953-C-14, 953-C-15, 953-C-16, 953-C-17, 953-C-18, 953-C-18, 953-C-19 y 953-C-20).

Por tanto, se observa que, en principio, no hay una gran variación de facies paralelamente a la Serrata de Lorca en donde aflora esta formación, tratándose de una serie muy monótona depositada en un ambiente sedimentario de condiciones relativamente constantes.

Si presenta por el contrario un cambio de potencia, ya señalado, disminuyendo esta hacia el SO.

- Tramo laminado

Sobre las margas de muro se sitúa el denominado "tramo bituminoso" y que aquí denominamos tramo laminado, el cual, según los estudios realizados en este proyecto, consta de los siguientes términos según sectores:

- En el sector SSE de la Fuente del Chorrillo, (columna 953-C-1 y 953-C-1-AB), tiene una potencia media de 45 metros y se puede dividir en dos tramos. El inferior con 16 metros de potencia, está constituido por unos niveles de limos amarillentos con selenitas de yeso y lamelibranquios con dos bancos de laminitas, uno de 6 metros en la base y otro de 12 metros hacia el techo. Sobre este nivel culmina el tramo inferior con una alternancia de margas, laminitas, yesos seleníticos, sacaroideos, alabastrinos y fibrosos, con calizas de sustitución y azufre.

El tramo superior está representado por margas limosas y limos amarillentos con algunos nódulos de yeso alabastrino, intercalando algunos bancos de yesos alabastrinos y seleníticos de potencia centimétrica a decimétrica y algún nivel de laminitas o calcolutitas blancas finalmente laminadas de hasta 15 cm de potencia. Culmina a techo con un nivel de 2 metros de laminitas con algunas intercalaciones centimétricas de calizas blancas de 5 cm.

- En el sector Nororiental de la Serrata de Lorca el "tramo bituminoso" tiene una potencia media de unos 30 metros, si bien se pueden llegar a alcanzar hasta los 70 metros. En este sector está representado por una alternancia de margas y laminitas con niveles de yeso y caliza de sustitución con azufre de potencias inferiores a 1 metro. Aquí se han localizado en superficie hasta 3 de estos bancos, posiblemente correlacionables con los del sector anterior. Se observan también niveles de yesos

fibrosos y laminados posiblemente posteriores a la sedimentación y niveles centimétricos de sílex laminado de color oscuro.

A este sector corresponden las columnas 953-C-2, 953-C-3, 953-C-4, 953-C-8, 953-C-15, 953-C-16, 953-C-17, 953-C-18, 953-C-19 y 953-C-20.

- En el Sector Suroccidental de la Serrata de Lorca el "tramo bituminoso" tiene una potencia de hasta 75 metros y está representado por una sucesión alternante de calcilitas laminadas y margas pardas, con algunos bancos de 0,5 a 1,5 metros de potencia de arenas amarillas intercalados, algunos niveles finos de escala centimétrica a decamétrica de diatomitas y niveles de varios centímetros de sílexitas negras laminadas. Presenta también juntas perpendiculares a la estratificación rellenas de yeso fibroso. Esta serie intercala, como en los sectores anteriores, bancos de yeso sustituidos parcialmente a calizas y azufre.

Corresponden a esta zona las columnas litoestratigráficas 953-C-5, 953-C-6, 953-C-7, 953-C-9.

El tramo bituminoso o laminado culmina con unas margas pardas con niveles de areniscas y algunos de calizas blancas que dan paso al siguiente término que es ya claramente evaporítico.

Desde el punto de vista del azufre el tramo bituminoso es en el que se encuentran los indicios y la minería antigua y constituye por ello el tramo de interés.

- Tramo evaporítico

En superficie este aparece como una banda de yesos que, con una potencia media de unos 30 metros, recorre la Serrata.

Estos yesos están mejor representados en el Sector Suroccidental de la Serrata (columnas 953-C-5, 953-C-6 y 953-C-9) que en el Nororiental, aunque en este también aflora en algunos puntos (columnas 953-C-4, 953-C-17, 953-C-18, 953-C-19 y 953-C-20). La causa es que en este último se encuentra parcialmente cubierto por formaciones de las unidades superiores o parcialmente erosionado, salvo en el sector del Pozuelo donde alcanza hasta 50 metros de potencia (953-C-15 y 953-C-16).

El tramo evaporítico está constituido en superficie, por unos yesos alabastrinos, anhidríticos, laminados y en ocasiones sacaroideos de aspecto terroso. También se observan selenitas de yeso, aunque su origen puede ser posterior.

Presentan colores blancos, grises y verdosos, y en ocasiones intercalan pequeños niveles terrígenos. No se han visto manifestaciones claras de metasomatismo en ellos, aunque la bibliografía comenta algún nivel con azufre en zonas próximas al muro.

Como comentamos en el apartado de litoestratigrafía, estos yesos evolucionan hacia el centro de la cuenca a un potente nivel salino de halita.

### 2.1.5.3. INDICIOS

Durante la ejecución del presente proyecto los indicios se han agrupado en conjuntos de niveles con azufre en superficie a lo largo de toda la Serrata de Lorca, y siempre dentro del denominado "tramo bituminoso" o laminado y concretamente en niveles de yeso y/o caliza entre laminitas y margas. Estos indicios se suponen en un principio correlacionables entre sí, por lo que nos marcan una banda con manifestaciones de azufre de como mínimo 7.500 metros de corrida si bien las labores mineras antiguas y sus escombreras se extienden a lo largo de 10 kilómetros.

Los indicios superficiales de azufre, se dan en bancos de 0,40 a 1 metro de potencia de yesos y calizas de sustitución dentro del tramo laminado y siempre con niveles de laminitas kerogénicas próximos.

Las labores mineras suelen situarse siempre en la base de los niveles metasomatizados encajando en laminitas y llevando en el cielo de las galerías estos bancos sustituidos. Consisten fundamentalmente en galerías en la vertiente suroriental de la Serrata según la dirección del buzamiento de las capas y pozos en la Noroccidental, aunque en la primera hay también algunos pozos, posiblemente realizados para la localización de los niveles más profundos. (Figuras 8 y 9).

A continuación vamos a describir someramente los indicios si bien hay un desarrollo mas exhaustivo de los mismos en las fichas correspondientes a cada uno y que se presentan en el anexo de este informe.

El indicio denominado Fuente del Chorrillo con el número 953-1 se localiza próximo a la carretera de Zarzadilla de Totana pudiéndose llegar a él en coche. Consiste en una labor antigua, con una pequeña cámara de unos 20 m<sup>2</sup> y 1,50 m de altura. Hacia el NE de esta labor y en 20 metros de distancia hay otra entrada.



Las capas tienen una dirección N45°E y un buzamiento de 26° al NO y consisten en una alternancia de yesos seleníticos en punta de flecha con los crecimientos cristalinos perpendiculares a la estratificación y con una potencia media de 3 a 5 cms, capas de laminitas de unos 5 cms de potencia y capas de calizas de sustitución de unos 5 cms de espesor en las que se observan nódulos de azufre de unos 10 x 2 cms, con la dirección mayor paralela a la estratificación. A veces el azufre también forma capas más o menos continuas. En las calizas de sustitución alcanza porcentajes elevados, y presentan, en ocasiones, cristales de celestina que proporcionan a las muestras un importante peso anómalo (muestra L-1).

Hacia el Este continúa la mineralización sin pérdida de continuidad durante unos 11 metros. A unos 20 metros hay una pequeña entrada o labor y 100 metros más hacia el NE vuelve a aflorar el tramo mineralizado.

Las manifestaciones de azufre en el indicio se localizan entre 2,15 metros, según la potencia, en los que se distinguen de techo a muro las siguientes capas (columna litoestratigráfica 953-C-1-AB) (Fig. 10).

- Yesos alabastrinos, y algunos fibrosos, parcialmente metasomatizados a caliza y algo de azufre (35 cms).
- Nivel limoso con algunas laminitas y niveles de yeso fibroso de 1 a 3 cms de potencia con algunos nódulos de azufre (55 cms de potencia).
- Yeso sacaroideo de aspecto carniolar y algunos niveles de yesos seleníticos de 3 cms de potencia con las selenitas perpendiculares a la estratificación. Algunos cristales pequeños de azufre (60 cms).
- Alternancia de niveles de yeso selenítico de 1 a 5 cms y laminitas de unos 5 cms de potencia, nivel de 45 cms de caliza de sustitución con nódulos y cristales de azufre y cristales de celestina en cavidades (65 cms).

Este nivel mineralizado corresponde al más alto de los tres niveles que hemos distinguido en este sector de la Serrata.

Al indicio denominado Casas de Mellado le corresponde el número 953-2 y se sitúa en la vertiente Suroriental de la Serrata, a unos 500 metros al NE del anterior. Tiene dos niveles mineralizados, separados por 15 metros de laminitas y limos con niveles de yeso. En el nivel superior (Fig. 11) el contenido en azufre es muy pequeño, observándose muy poco en esta zona. En el nivel inferior se distinguen dentro del tramo mineralizado dos niveles con azufre, siendo el más potente de estos el inferior que con unos 30 cms de espesor presenta un reemplazamiento del 50 al 60%. (Fig. 12). En este nivel hay dos labores mineras consistentes en dos galerías de como mínimo 15 a 20 metros de longitud cada una; en el nivel superior hay un socavón y algunas pequeñas catas. El tramo inferior se puede seguir según corrida durante unos 120 metros hacia el Este, a lo largo de los cuales se ven manifestaciones de azufre de formar irregular y bonitos ejemplos de sustitución del yeso por caliza y azufre, observándose cristales de hasta 0,5 y 1 cm de azufre nativo. A lo largo de este corrido se ven hasta seis entradas a galerías todas según el buzamiento de la capa y en la distancia continúan las escombreras. Hacia el Oeste se observa azufre hasta unos 15 metros. En la vertiente opuesta de la Serrata hay una serie de pozos verticales con los que algunas de estas galerías deben conectar.

Resumiendo lo comentado de estos dos indicios podemos decir que dentro de la serie bituminosa se distinguen en este sector hasta tres niveles de yeso sustituidos a caliza y azufre, siendo de estos el superior y el inferior los que presentan claras manifestaciones de azufre, mientras que en el intermedio el elemento no se observa claramente. Por encima del nivel superior (indicio 953-1) se ha observado azufre en otros niveles menores de yeso. También aquí hay escombreras, pero no hemos observado el azufre in situ, y posiblemente correspondan estas a pozos verticales actualmente tapados. Columnas 953-C-1 y 953-C-2.

NO



SE

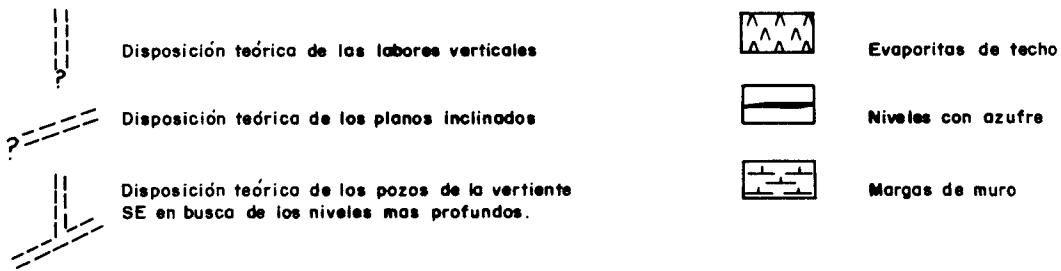
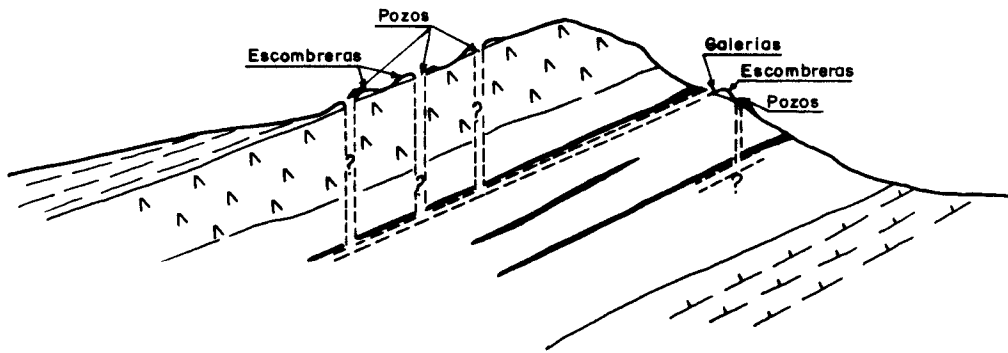


Fig. 7.—Disposición general de las antiguas labores mineras de la Serrata de Lorca

SO

NE

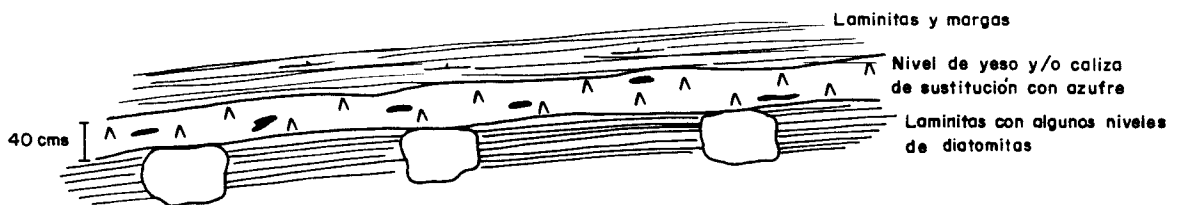
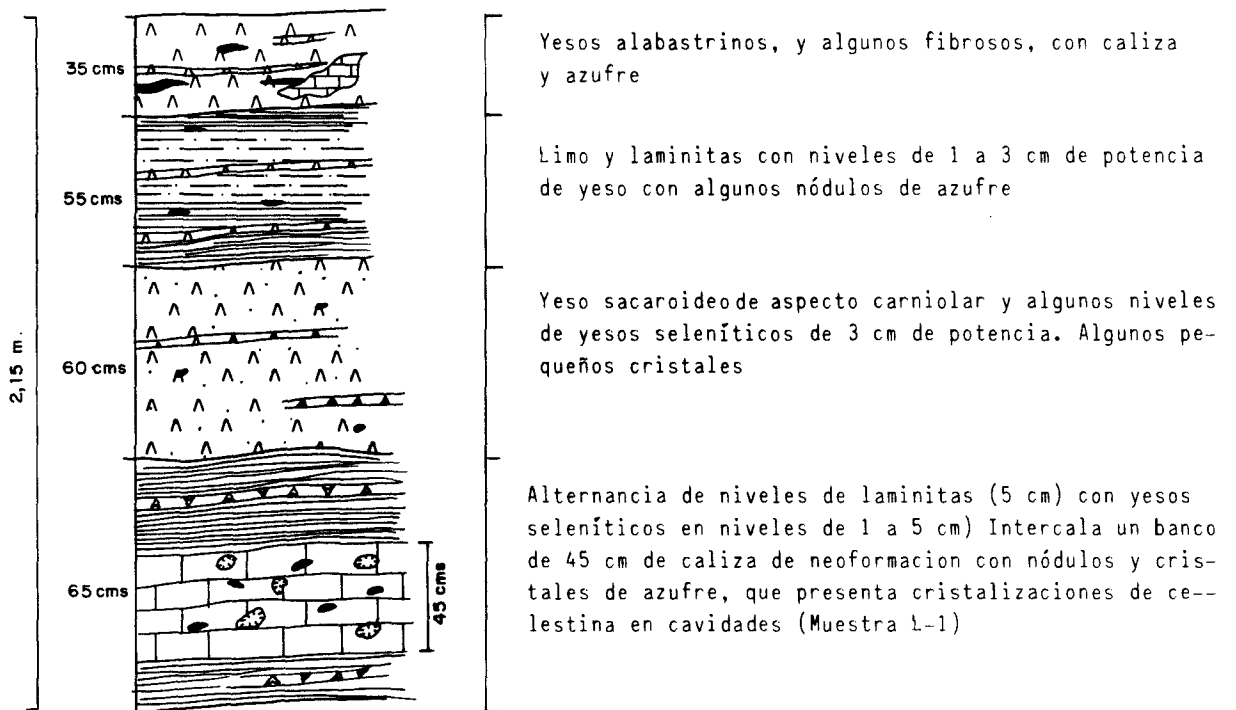
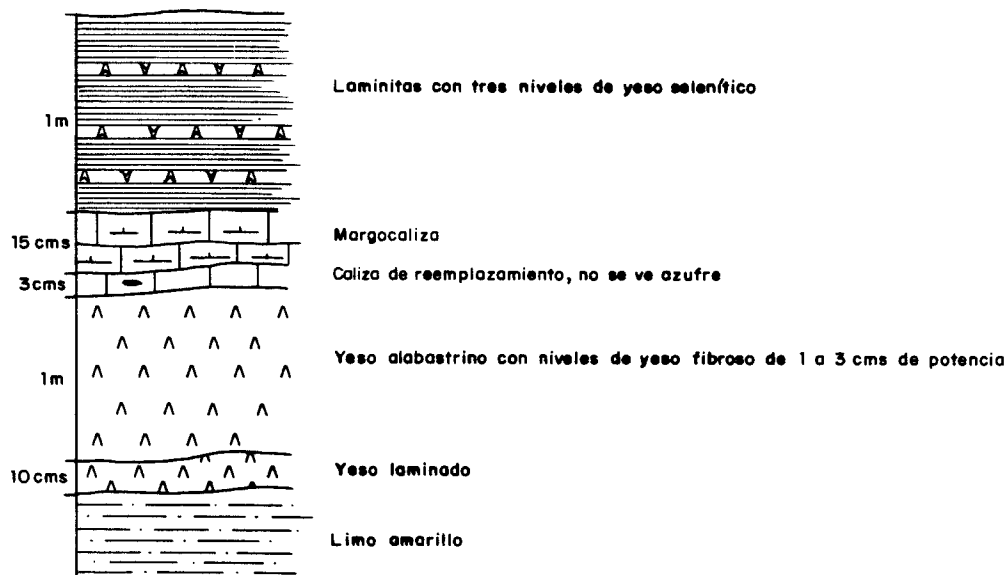


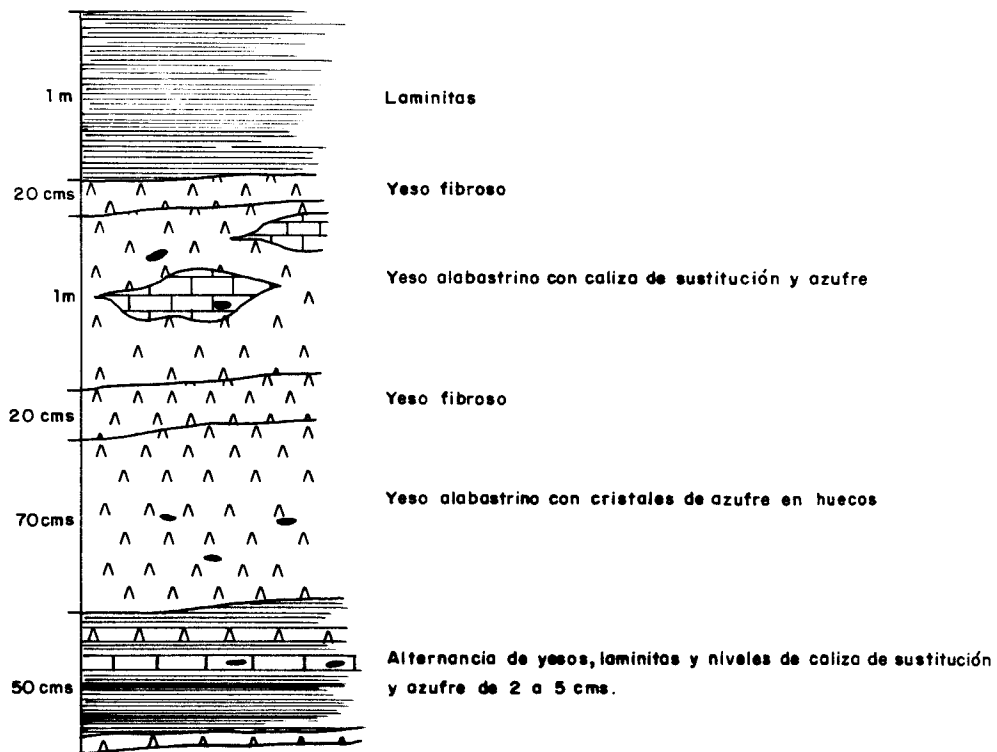
Fig. 8.—Detalle de las entradas a los planos inclinados



**Fig.9** — Detalle de la mineralización en el indicio 953-1 (Fuente del Chorrillo)



**Fig. 10.**— Esquema del nivel superior del indicio 953-2



**Fig. 11.**— Detalle de la mineralización en el nivel inferior del indicio 953-2

Para completar el sector Oriental de la Serrata de Lorca se localizó el indicio n° 953-5 denominado el Pozuelo. A él se accede por un camino que va por la parte NO de la Serrata y que al llegar a un cortijo nos deja a unos 500 metros del indicio. Como es normal en toda la Serrata las labores mineras consisten en galerías en la vertiente Suroriental según el buzamiento de las capas y pozos en la vertiente Noroccidental.

El indicio consiste en dos bancos de caliza de sustitución con azufre separados por 3 metros de laminitas con niveles de 1 a 2 cms de yeso fibroso, de 40 cm de potencia el superior y 50 el inferior. (Fig. 13).

El yeso original ha sido sustituido a caliza en casi su totalidad y el azufre puede alcanzar hasta un 20%, bien cristalizado. También se observan "niveles" de azufre de hasta 3 cms de potencia por 1 metro de corrida. Los niveles reemplazados se han seguido hacia el Oeste a lo largo de unos 15 metros. Hay dos pequeñas galerías en el nivel superior separadas unos 15 metros, la sucesión litológica detallada puede verse en la columna 953-C-8. La posición de los niveles es N32° con buzamientos de 28° al ONO. Continúa habiendo labores mineras al NE de este indicio.

En el sector occidental de la Serrata (de la carretera de Caravaca hacia el Suroeste) se han localizado dos indicios más de azufre nativo, que describimos a continuación.

Al indicio denominado llano de la Serrata le corresponde el numero 953-3 y está próximo al camino que corta a la Serrata al NO de la Fábrica de Cemento.

Consiste en un nivel de yeso sustituido a caliza que en el camino citado ha sido marcado con el número 81 en pintura amarilla. Siguiendo el nivel, desde este punto hacia el Suroeste se encuentra la entrada a una galería de dirección N130° inclinada 38° hacia el NO coincidente con el buzamiento de la capa. La boca está

parcialmente tapada y tiene 1 metro de ancho por 30 cm de alto, ampliándose en su interior. Está, como es normal en la Serrata, a muro del nivel mineralizado.

Este nivel, de 40 cm de potencia es de yeso parcialmente sustituido a caliza en el que el azufre no supera en principio el 5 o el 10%. A techo presenta una potente sucesión de hasta 30 metros de margas con bancos alternantes de laminitas y a muro 20 cm de laminitas y 30 cm de margas con algunos pequeños niveles de diatomitas.

El azufre se observa dentro del banco en cuestión formando nódulos de pequeño tamaño. Columna litoestratigráfica 953-C-6.

El otro indicio del sector occidental de la Serrata es el que denominamos la Serrata con el número 953-4. A él se accede por el camino que recorre la base de la vertiente oriental de la serrata en este sector. El nivel sustituido tiene una potencia de 30 cms. En él hay dos galerías separadas unos 100 metros. Desde la labor que está más al Este el nivel se puede seguir unos 30 metros hacia el Noroeste, siendo las manifestaciones de azufre nativo muy escasas. Esta labor, situada al Suroeste, el azufre se observa fundamentalmente en zonas de debilidad y fisuras. En esta parte el yeso es más laminado, desde aquí y hacia el suroeste el nivel se puede seguir durante unos 40 metros totalmente reemplazado a caliza pero con muy poco azufre, estando este principalmente como cristales milimétricos en el seno de la caliza. Columna 953-C-7 (Fig. 14).

De este indicio se retiraron dos muestras que no contienen azufre, ya que una de ellas, la L-4 es de diatomitas en una zona próxima y hacia muro de la serie bituminosa y la L-5 que pertenece a un nivel de arenas por encima del mineralizado.

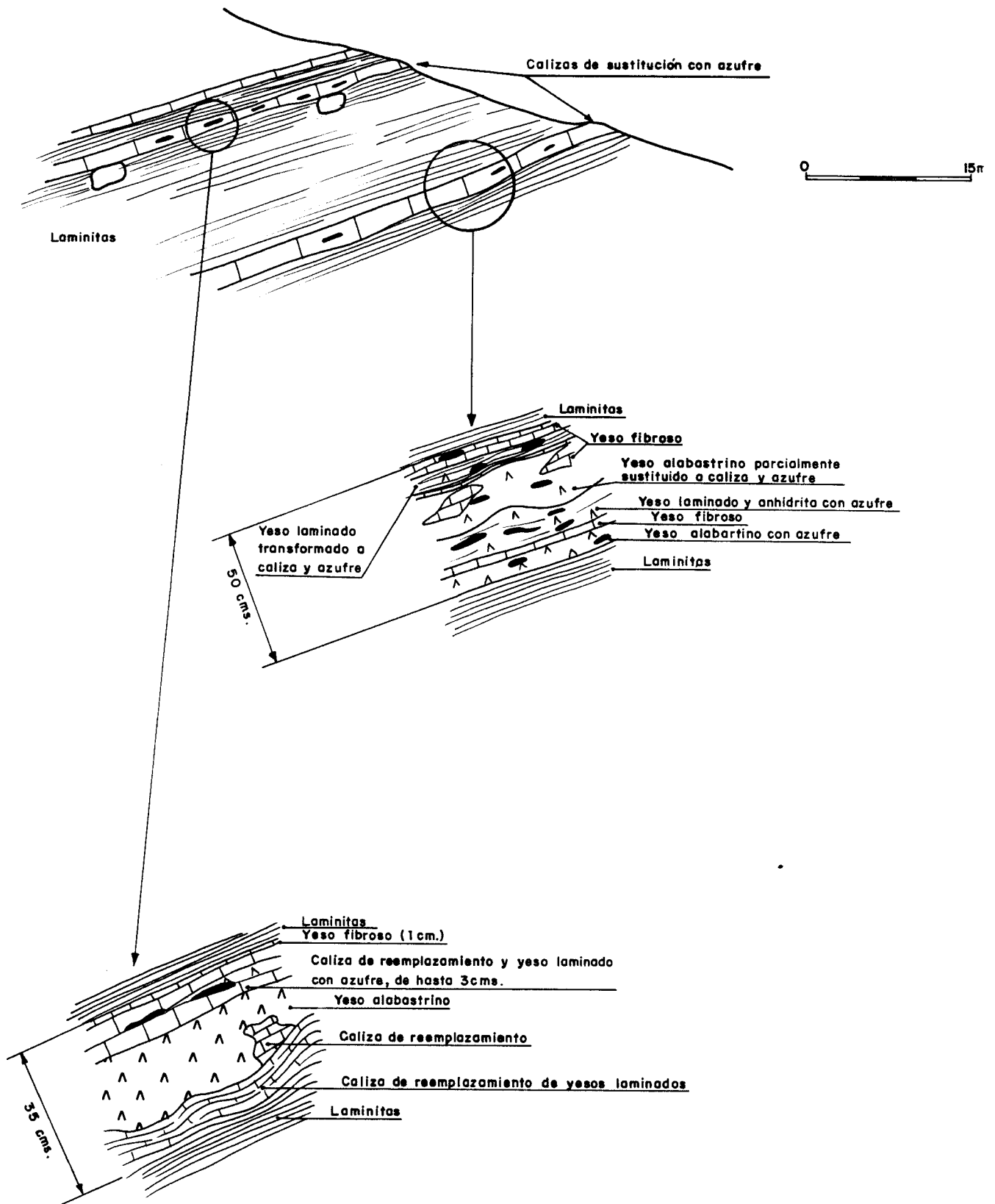


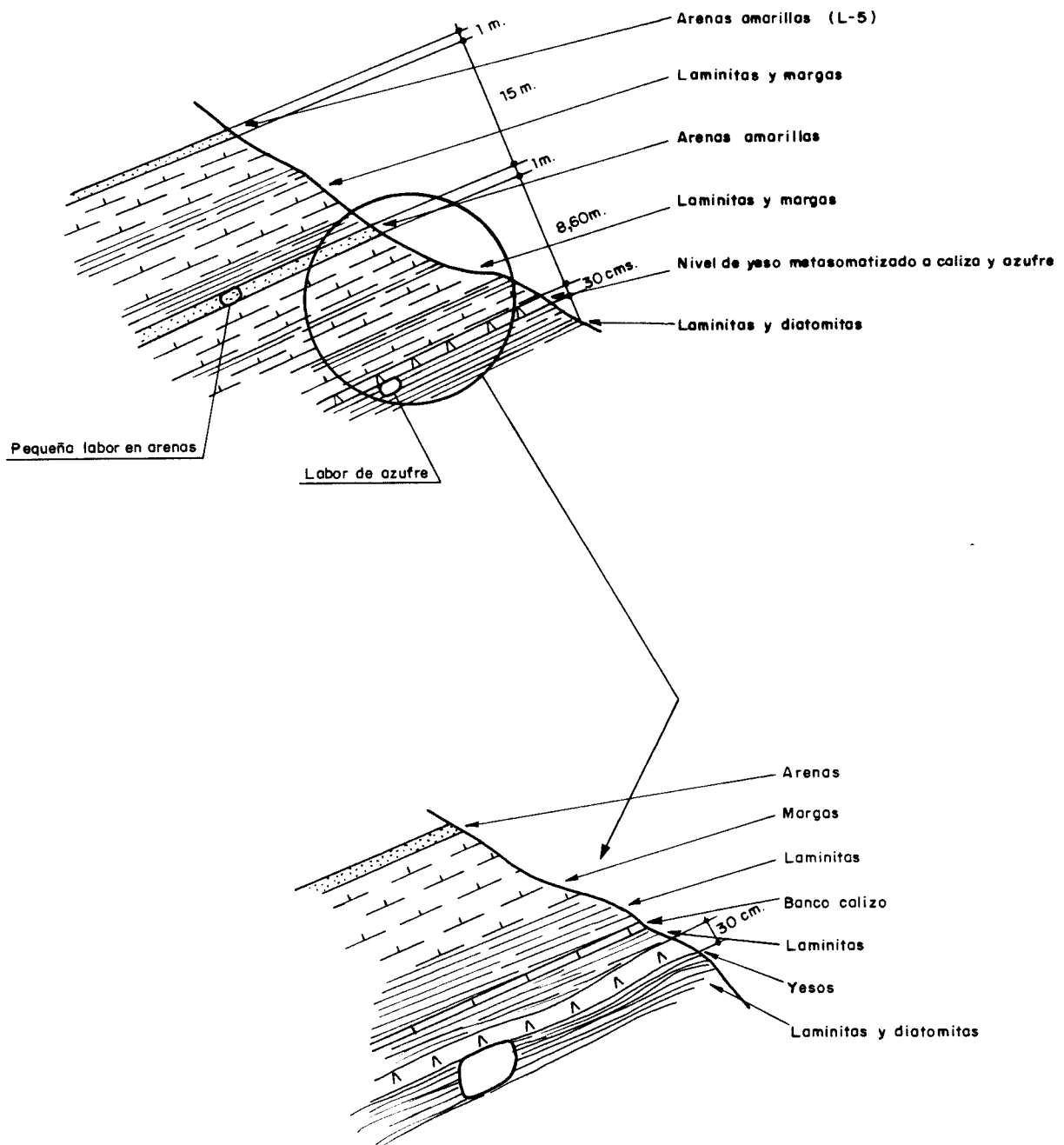
Fig. 12.— Posición de los dos bancos mineralizados del indicio 953-5 y detalle de cada uno de ellos.



Por último hay que hacer una observación en cuanto al tramo evaporítico superior. Este potente banco de yesos no presenta, en principio, indicios de azufre en superficie, si bien junto al pozo 13 de la vertiente Noroccidental de la Serrata en el sector Oeste de la misma se ha cogido la muestra L7 perteneciente a los yesos de este paquete de evaporítico y que en este sector parecen presentar una cierta sustitución a calizas en zonas próximas a la base de este tramo. No se han observado claras manifestaciones de azufre en este término, si bien puede haber dudas en los entornos del indicio 953-1 (Columna 953-C-1) ya que en ese sector los afloramientos de este nivel son de baja calidad. No obstante en la bibliografía consultada alguno de los niveles superiores con azufre se han incluido, en los sondeos, dentro del tramo evaporítico y próximo a su base. No obstante como señalaremos más adelante las posibilidades de localizar una masa de azufre asociada a este importante paquete yesífero deben buscarse en su interfase con las sales del centro de la cuenca.

Por otra parte, durante la ejecución del presente proyecto se ha revisado la banda Sur de evaporitas que se encuentra al Sureste de la Sierra de la Tercia en posición subparalela a la serie de la Serrata de Lorca.

Se trata de un potente banco de yesos seleníticos y alabastrinos de colores grisáceos, verdosos y blancos, con algunos tramos laminados y que posiblemente sean correlacionables con el tramo evaporítico de la Serrata. Tiene una potencia mínima de 20 metros y aflora desde el mismo pueblo de Lorca. Aquí consiste en un conjunto de capas centimétricas de yeso alternando con otras de limos. El plegamiento es muy intenso dibujando multitud de pliegues cuyos ejes más o menos constantes y subhorizontales tienen una dirección N85°. A escala regional toda la banda se encuentra plegada en si misma dando un sinclinal cuyo eje tiene una dirección SO-NE paralela a la disposición de la cuenca de Lorca y la de su vecina cuenca de Fortuna-Alhama. No se han localizado indicios de azufre en esta banda.



**Fig. 13.**— Detalle del afloramiento del indicio 953-4

### 2.1.6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Con todos los datos obtenidos se ha realizado un bloque diagrama del Sector Suroeste de la Cuenca a la altura de la Serrata en el que se puede observar la relación entre las distintas unidades definidas. Así el substrato de la Sierra las Estancias aparece jalonado por una fracturación NO-SE que lo relaciona con los materiales de la cuenca, algunos de los cuales como anteriormente apuntábamos se ve afectado por dicha fracturación al ser ésta rejugada en el Tortoniense Superior.

Sobre este substrato, como puede verse en el bloque, se encuentra la formación subarrecifal que hacia techo y lateralmente pasa a las facies pararrecifales de calcarenitas bioclásticas que se extiende en todo el ámbito del bloque y a muro de las margas de cuenca. Estas constituyen el muro de la formación de interés y en el bloque diagrama puede verse su cambio de potencia, aumentando ésta hacia el centro de la misma y hacia el NO; estas margas representan una etapa en que la cuenca tenía una importante influencia marina. Sobre ellas se encuentra el denominado "tramo bituminoso" o laminado que se observa en todo el ámbito estudiado. Este transiciona a las evaporitas mediante un nivel limoso en el sector NE y mas margoso hacia el SO. Las evaporitas están constituidas por yesos hacia los bordes y sales hacia el centro en un paso lateral que hace que en los sondeos se pueden cortar los yesos sobre las sales sin excluir la posibilidad de que haya lentejones de aquellos en estas. Su techo marca el final del Tortoniense-Messiniense sobre el que se sitúan, ya de forma discordante, las unidades superiores del Messiniense a la actualidad. La primera de ellas es la que hemos denominado Unidad 3, de edad Messiniense II - Plioceno I cerrando el ciclo del Mioceno; está constituida por un conjunto de facies litorales con influencia continental, sobre ella se deposita en el Plioceno II - Pleistoceno I un conjunto de conglomerados continentales de abanicos aluviales y ríos anastomosados con un período de formación de un glacis. Desde el Pleistoceno hasta la actualidad se depositan las facies detríticas coluvionales, eluvionales y aluviales y procesos edáficos actuales.

- Los indicios de azufre localizados en superficie se encuentran todos en el denominado "tramo bituminoso" o laminado aunque la bibliografía cita, en algunos sondeos, azufre en el tramo evaporítico. Los indicios localizados son niveles de yeso, inferiores a un metro de potencia y una gran corrida. Se encuentran parcial o totalmente sustituidos a caliza y azufre, algunos de ellos (Indicio 953-1, muestra L-1) presentan además cristales de Celestina en cavidades, lo que indica una anomalía de estroncio en la cuenca de Lorca. (También hay indicios de estroncio en los márgenes de la misma). El azufre se presenta bien cristalizado en las calizas de sustitución y también en fracturas y cavidades dentro de estas. Las calizas de sustitución y los indicios de azufre aparecen siempre asociados a los niveles kerogénicos de laminitas que a priori serían los portadores de los hidrocarburos necesarios para la formación del yacimiento.
- El azufre de Lorca ha sido intensamente minado durante la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX.
- En el "tramo bituminoso" se localizan también niveles de varios centímetros hasta 40 cm (uno observado), de diatomitas. En líneas generales este tramo bituminoso está formado por una alternancia de margas, laminitas y yesos y calizas de sustitución con azufre, presenta además de los niveles de diatomitas comentados, finos niveles de silex laminado y un nivel de toba volcánica. Con una potencia media de todo el conjunto de 40 metros puede alcanzar hasta los 80 metros.
- El tramo evaporítico constituido por yesos en los bordes, está formado en el centro por un potente nivel de sales haloideas de hasta más de 200 metros de potencia, con lo que tiene un interés minero importante, no solo por su situación geográfica, sino también porque por su medio de depósito puede presentar otro tipo de sales, a parte de las sódicas, bien diferenciadas en el yacimiento.

- El cambio lateral de los yesos a las sales puede representar una buena trampa para la formación de un posible yacimiento de azufre.
- La presencia a muro del "tramo bituminoso" de una potente formación margosa impermeable induce a pensar como anteriormente apuntamos a que los hidrocarburos necesarios para la transformación del yeso a caliza y azufre ha sido aportado por los mismos niveles kerogénicos de esta formación, a menos que las margas de muro tuviesen un contenido importante de materia orgánica.
- En superficie se han detectado hasta tres niveles de yeso reemplazado a caliza y azufre, si bien en los sondeos realizados se distinguieron hasta seis.
- Con respecto al azufre, por tanto, los niveles de interés son el "tramo bituminoso" y los yesos de techo en su interfase con los dominios del centro de la cuenca.
- La conexión con la banda Sur de evaporitas situada en el margen sureste de la sierra de la Tercia se podría interpretar como dos zonas de depósitos separadas entre sí por dicha sierra por lo que hacia el Sur de esta podría continuar el depósito de evaporitas bajo los sedimentos cuaternarios. Si bien se puede pensar también que la falla de Alhama-Alcantarilla pudo separar aquí dos medios de depósito diferentes y no haber evaporitas más al Sur de esta banda.
- De los datos aportados durante la ejecución de los sondeos y de las columnas levantadas en la zona podemos deducir que hay tres niveles continuos de yeso con caliza y azufre con una potencia de 0,50 metros cada uno y una corrida total de 10.000 metros. En base a la posición de los sondeos y a la localización de los indicios superficiales podemos deducir que la corrida según buzamiento es de unos 500 metros. Con estos datos tendríamos un

volumen total de 7.500.000 de metros cúbicos distribuidos en diferentes capas de yeso con caliza y azufre con potencias siempre inferiores a 1 metro y dentro de una zona de 10.000 x 500 metros. No se dispone de datos en cuanto a leyes pero se podría estimar que la ley media podría estar en torno al 10% de azufre del todo uno definido.

- En cuanto a las conclusiones de tipo genético se deben tener en cuenta los siguientes factores:
  - 1.- La presencia de azufre y caliza (y en ocasiones celestina) asociados a niveles de yeso en el tramo de laminitas con abundante materia orgánica, en ocasiones superior a 100 l/t.
  - 2.- La ausencia, en principio, de azufre y caliza en los niveles evaporíticos superiores.
  - 3.- Presencia de niveles impermeables a muro del tramo laminado, portador de la mineralización.

Según estos factores y atendiendo a un posible origen bioepigenético del azufre, los hidrocarburos han debido llegar a la formación portadora a través de fracturas debido a la impermeabilización de las margas de muro.

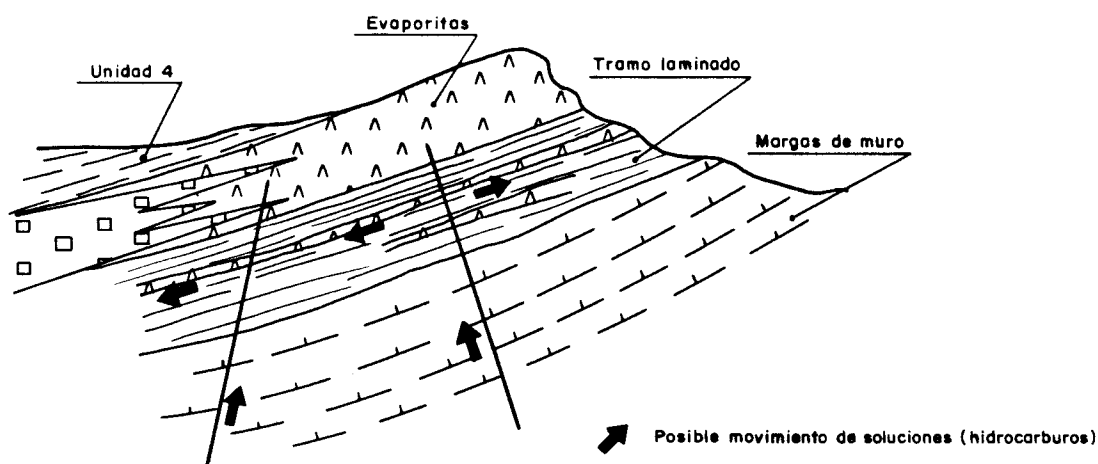


Fig. 14.- Transporte de hidrocarburos a favor de fracturas.

Sin embargo, atendiendo a estas posibles vías de transporte de hidrocarburos, es raro que no se observen manifestaciones de azufre en las evaporitas superiores, como si esas vías de permeabilidad no las hubieran afectado.

Por tanto remitiéndonos a los factores comentados, el azufre se encuentra muy localizado al tramo laminado presentando una gran regularidad en su distribución.

Esta localización del azufre, aparentemente exclusiva en el tramo laminado kero-génico con niveles de yeso total o parcialmente metasomatizados a caliza y azufre, puede ser debida que solo en el se desarrollara el otro componente necesario para la formación del azufre, las bacterias anaerobias, aportándose los hidrocarburos de fuentes más o menos lejanas, vía fallas o diaclasas. Sin embargo parece más lógico pensar que los componentes necesarios para dar lugar al azufre, caliza y eventualmente celestina, provengan del mismo medio donde se desarrollaron los niveles laminados kerogénicos, por lo que la mineralización sería más que bioepigenética, biodiagenética o biopostdiagenética.

En este sentido, las mayores posibilidades de encontrar un depósito de interés, en cuanto a azufre se encuentran en el depocentro de la cuenca, bajo los niveles evaporíticos, (yesíferos o salinos). Zona donde además, según el modelo establecido de Busson, el desarrollo de laminitas kerogénicas es mayor.

Por otro lado conviene no olvidar el hecho de que las margas de cuenca desprenden un fuerte olor a hidrocarburos, lo que se puede deber al paso de estos por ellas, por fracturas, o a la generación de hidrocarburos en ellas mismas en su medio de depósito. En el primer caso las mayores posibilidades se centrarían en las zonas con mayor fracturación y mejor impermeabilizadas a techo; que a nuestro juicio corresponden con la interfase cloruros-sulfatos, por ser una zona de mayor fragilidad, y estar impermeabilizada. Y en el segundo supuesto la zona de interés volvería a ser el depocentro de la cuenca donde la generación de hidrocarburos es, como ya comentamos, mayor.

En resumen y teniendo en cuenta las consideraciones genéticas hasta el momento comentadas tendríamos dos posibles zonas de formación de un yacimiento, que son según su génesis.

- a) El depocentro de la cuenca si se trata de un origen biodiagenético o biopost-diagenético.
- b) La interfase cloruros-sulfatos dentro de las evaporitas de techo del tramo laminado, si el origen del azufre fuese bioepigenético.

Estas posibilidades se resumen esquemáticamente en la figura 15



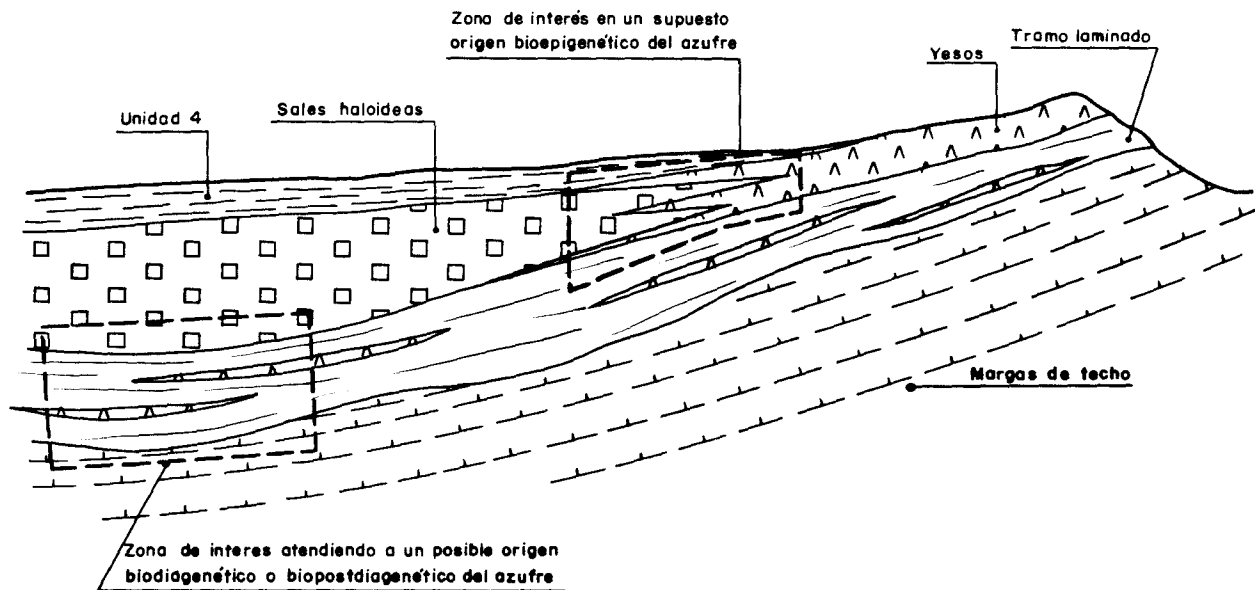


Figura 15.- Posibilidades de azufre biogénico en la cuenca de Lorca atendiendo a sus posibles procesos genéticos.

En otro sentido es importante señalar la presencia de celestina en relación con los niveles calizos y yesosos con azufre, como en el indicio 953-1, lo que hace pensar en un posible proceso también metasomático para esta sustancia. Esta presencia de celestina es indicadora además de una anomalía de cierta importancia en estroncio dentro de la cuenca de Lorca, que se ve por otra parte respaldada por el hecho de que existan indicios de estroncio en los márgenes de la cuenca.

Todo ello hace pensar en las posibilidades integrales de la cuenca de Lorca en cuanto a azufre, estroncio, litio y otras sales además del cloruro sódico ya puesto de manifiesto en las investigaciones realizadas por el ITGE en la década de los 80.

### 2.1.7. RECOMENDACIONES

La cuenca de Lorca es en principio una zona de elevado interés minero, encontrándose en ella indicios de azufre, estroncio y bario, además de las sales haloideas, niveles kerogénicos y niveles de diatomitas.

La cuenca ha sido intensamente investigada en búsqueda de niveles kerogénicos importantes y se inició una investigación de sales haloideas mediante sondeos y geofísica.

La investigación de azufre biogénico debe centrarse en principio en la interfase sulfatos-cloruros y en el depocentro de la cuenca. Aquella se presenta cubierta por las unidades superiores (4 y 5 de este informe) por lo que no aflora en superficie y su investigación, una vez realizada la geología de superficie y la geofísica correspondientes, consistiría en una campaña de sondeos mineros según una malla con dos direcciones principales, NE-SO y su ortogonal, con una amplitud por determinar. El objeto de estas dos direcciones sería el conjugar el estudio de esta posible trampa con un estudio de las sales del centro de la cuenca. Los sondeos deberían cortar el tramo evaporítico y el tramo laminado para conocer asimismo la evolución de este último hacia el depocentro que es la segunda zona de interés aquí señalada.

Otro sector a investigar debería ser al Sur de la Sierra de la Tercia, en el corredor del Guadalentín, si bien el estudio de superficie de esta zona es más complicado por el amplio desarrollo de materiales cuaternarios en el área, que limitan en gran medida los afloramientos de formaciones inferiores, teniendo que recurrir en este caso, una vez hecha la primera investigación geológica de superficie, a un estudio geofísico.

## **2.2. CUENCA DE FORTUNA-ALHAMA**

### **2.2.1. SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA**

La cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia se sitúa en el SE de la Península Ibérica, al NE de la cuenca de Lorca y está separada de ésta por la Sierra de Espuña. Con una dirección NE-SO está limitada por los macizos montañosos de Sierra Espuña, Sierra de Ricote, Sierra de la Pila, Sierra de Abanilla, Sierra de Orihuela y Sierra de Carrascoy.

La cuenca de Fortuna-Alhama se localiza en las hojas 1:200.000 del Mapa Militar 7-9-Elche y 7-10-Murcia y en las hojas 1:50.000 del Mapa Topográfico Nacional 953 (Lorca), 954 (Totana), 932 (Coy), 933 (Alcantarilla), 934 (Murcia), 912 (Mula), 913 (Orihuela), 891 (Cieza), 892 (Fortuna) y 893 (Elche).

Como accesos destacan la carretera N-340 Almería-Murcia entre Totana y Murcia, la autovía Murcia-Alicante y la carretera N-301 Murcia-Albacete en su tramo Murcia-Archena. Hay numerosas carreteras comarcales y locales que cortan los materiales de la cuenca, como son Murcia-Fortuna, Molina de Segura-Fortuna, Fortuna-Archena, Alcantarilla-Mula (C-415), Alhama de Murcia-Mula (C-315) y numerosas pistas, muchas de ellas asfaltadas.

Como poblaciones importantes destacan, Alhama de Murcia, Alcantarilla, Mula, Molina de Segura, Archena, Fortuna, Crevillente, Elche y Murcia.

Los accidentes hidrográficos más importantes son los ríos Mula, Segura y Guadalentín.

Geológicamente la Cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia forma parte de las cuencas neógenas del Sureste de la Península Ibérica y se sitúa dentro del dominio Bético. Constituye una depresión intramontañosa de dirección NE-SO, estan

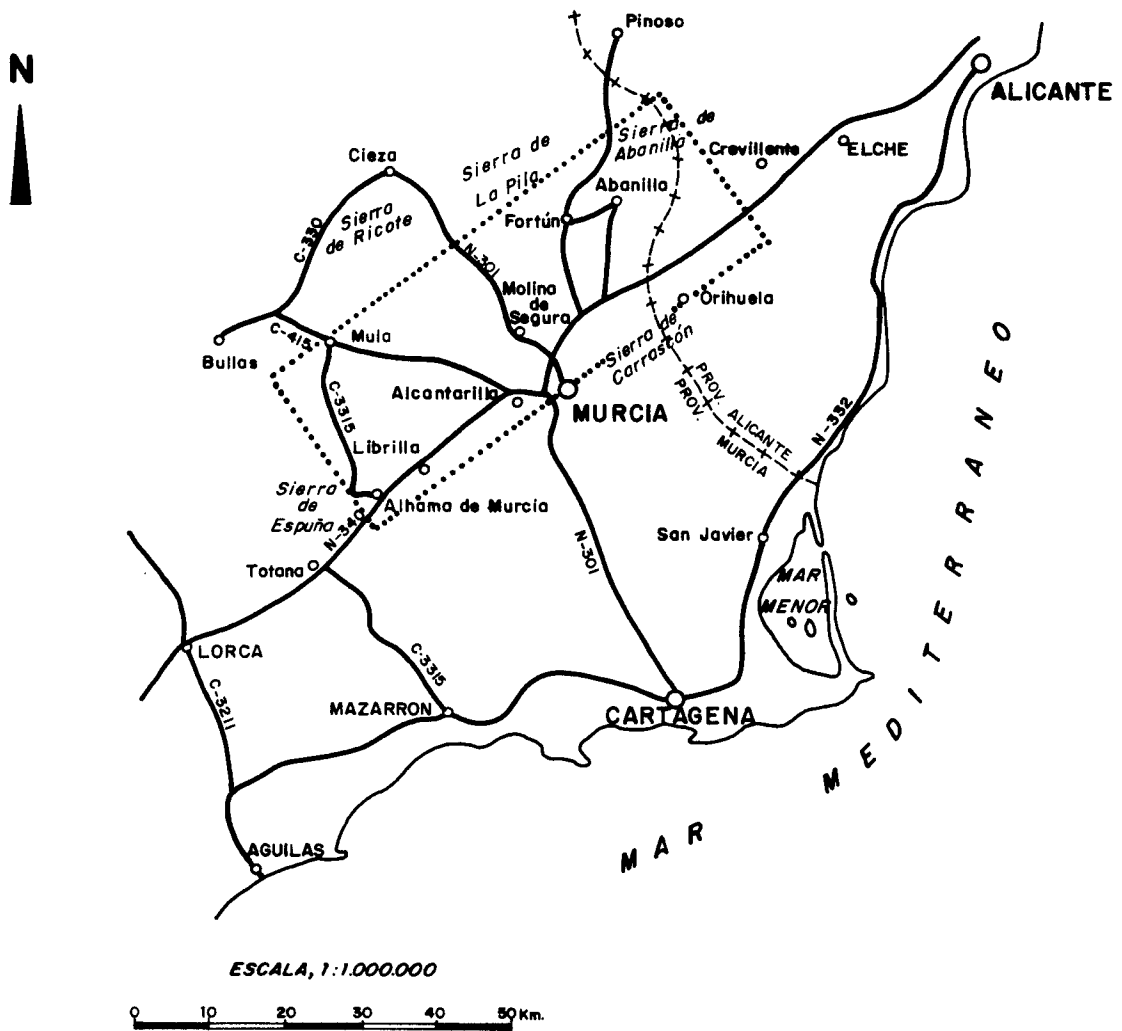


Fig. 16.—Situación geográfica de la cuenca de Fortuna - Alhama

do limitada por los macizos de las Sierras de Espuña, Ricote, Pila, Abanilla, Orihuela y Carrascoy.

La sierra de Espuña la separa de la cuenca de Lorca que está situada a SO. Geológicamente constituye una depresión situada en el límite zonas externas-zonas internas de las Cordilleras Béticas. El substrato de la cuenca lo constituyen fundamentalmente los materiales de las zonas Externas pertenecientes fundamentalmente al dominio Subbético. En el sector occidental el substrato está formado por los materiales ankimetamorficos del Complejo Maláquide y los terciarios alóctonos de la Unidad de Mula.

La cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia se caracteriza por un gran desarrollo de sedimentos marinos de carácter margoso que incluyen desde el Tortoniense I al Messiniense I. Estos materiales incluyen episodios evaporíticos y de niveles kero-génicos. Un conjunto conglomerático continental de Edad Messiniense II - Plioceno I que se sitúa discordante sobre la unidad anterior. En otras ocasiones el Messiniense II - Plioceno está representado por una serie margoarenosa que incluye episodios evaporíticos muy poco importantes. No se han descrito sedimentos marinos en el Plioceno.

### **2.2.2. LOS MATERIALES DEL BORDE**

Los materiales del borde de la Cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia son variados y se pueden diferenciar, el Prebético y Subbético en el Borde Norte de la cuenca; los Alpujárrides de las Sierras de Callosa, Orihuela y Bermejo al Sur; los Alpujárrides y Maláquides de la Sierra de Carrascoy también al Sur; el complejo Maláquide de la Sierra de Espuña al SO, que la separan de la vecina Cuenca de Lorca; y los materiales terciarios alóctonos de la Unidad de Mula, en el extremo NNO. Por último y también al SO aflora el subbético en la Sierra de Manzanete.

**El Prebético:**

Se localiza en el borde Norte de la cuenca estando aquí en muchas ocasiones en contacto directo con los materiales de relleno de la cuenca. Está formado por unidades cretácicas y terciarias. Las litologías dominantes son las carbonatadas con predominio de margas y calizas, aunque hay también algunos términos terrígenos y calizas con sílex.

**El Subbético:**

Está ampliamente representado en el borde Norte de la cuenca y hay un enclave del mismo en la Sierra del Manzanete al SSE del Embalse de la Cierva. Las secuencias presentes abarcan materiales que van desde el Triásico hasta el Terciario.

El triásico se encuentra muy extendido en el borde Norte de la cuenca y con predominio de facies Keuper, aunque también están presentes el Buntsandstein y el Muschelkalk. Dentro del Trias hay que resaltar la presencia de ofitas que se observan fundamentalmente al SE de Cieza y al NE de Abanilla. Las formaciones Mesozoicas y Cenozoicas del Subbético son fundamentalmente carbonatadas; en el Jurásico de sierra de Ricote conviene resaltar la presencia de unos niveles de basaltos submarinos próximos a los indicios de estroncio.

**Los materiales de las Zonas Internas:**

Se encuentran en el borde Sur de la cuenca y al SO en la Sierra de Espuña que separa a esta cuenca de la vecina cuenca Lorca.

Dentro de las Zonas Internas se distinguen, en los bordes de la cuenca, los complejos Alpujárride y Maláquide.

El complejo Alpujárride se encuentra en el borde Sur según una dirección SO-NE ocupando las sierras de Callosa, Orihuela y Bermejo. Está formado por varias unidades cabalgantes. Las litologías son fundamentalmente carbonatadas con

algunas formaciones cuarcíticas, filíticas y/o pizarrosas, hay además presencia de metabasitas en las distintas unidades alpujárrides.

El complejo Maláquide, por su parte, se encuentra en el límite SO (Sierra de Espuña) y al Sur de Alcantarilla en la Sierra de Carrascoy. Paquet (1969) describe al Sur de Sierra Espuña series intermedias que parecen indicar un tránsito entre las series alpujárrides y maláquides. Abarcan estas unidades materiales que van desde el Permotriásico hasta el Triásico superior.

La serie de las unidades intermedias (Paquet 1969) puede resumirse de la siguiente forma:

- Areniscas rojas y areniscas-cuarcitas verdes. Permotrias.
- Arcillas rojas con yeso y carniolas, arcillas arenosas y micáceas rojas del Trías inferior.
- Dolomías negras cavernosas y calizas del Trías medio.
- Arcillas rojas, blancas o verdes con conglomerados de cantos dolomíticos y areniscas verdes. Trias Superior.

Los materiales del Complejo Maláquide abarcan desde el Cámbrico hasta el Eoceno.

En la Sierra de Carrascoy, Simón (1967) señala la existencia de una unidad Maláquide que comienza con una serie de grauwas paleozoicas, a la que sigue un Permotrias arenoso-arcilloso que culmina con una secuencia carbonatada atribuible al Trías Medio-Superior.

Por su parte la Sierra de Espuña está formada por varias unidades cabalgantes que incluyen aquí materiales desde el Permotriásico hasta el Eoceno. El Permotriásico está constituido por areniscas y cuarcitas. El Triásico Inferior es arenoso, probablemente con yeso, carniolas y dolomías y margas areniscosas rojas.

El Triásico medio es carbonatado con calizas y dolomías y con algunas formaciones terrígenas de areniscas y conglomerados. El Triásico Superior es fundamentalmente margoso, con margas con yeso, carniolas y dolomías. Las series mesozoicas son fundamentalmente carbonatadas con algunas formaciones detríticas (Albense) y glauconíferas. El Eoceno de los maláquides de Sierra Espuña presenta facies marinas interrumpidas por episodios salíferos en su parte Norte.

Las rocas maláquides están muy escasamente afectadas por el metamorfismo.

Finalmente, dentro de los materiales del borde de la depresión de Fortuna-Alhama de Murcia, se encuentra la Unidad de Mula. Esta se sitúa en extremo NO de la depresión, inmediatamente al Norte del pueblo de Mula y está constituida exclusivamente por materiales del Senoniense al Paleogeno y Mioceno Inferior. Su relación tectónica con las unidades anteriormente citadas no esta clara y presenta una importante complicación tectónica. Las litologías son fundamentalmente carbonatadas y margosas, predominando las calizas, aunque hay también algunas formaciones detríticas de areniscas y conglomerados.

### **2.2.3. LITOESTRATIGRAFIA**

La cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia la describen por primera vez Verneuil y Collomb en 1856. A principios del presente siglo se ocupa de esta región Jiménez de Cisneros y con ocasión del XIV Congreso Geológico Internacional, Gignoux y Fallot (1926) preparan un trabajo. En 1948 Fallot realiza una síntesis regional donde cita el Mioceno de la Cuenca de Murcia.

Recientemente se han realizado, a partir de los años 60, investigaciones con fines mineros que han permitido una útil diferenciación en unidades tectosedimentarias de los materiales neógenos que rellenan la cuenca y en donde se ubican las manifestaciones de azufre, diferenciando los diversos medios sedimentarios dentro de cada una de ellas.



A continuación se describen cada una de estas unidades.

#### Unidad 1.- Infraseravalliense

Está representada en el borde Suroccidental de la cuenca en las proximidades de las Sierras de Espuña, Pliego y Mula. Abarca desde el Oligoceno hasta el Mioceno Inferior y las litologías dominantes son conglomerados calizos y dolomíticos, calizas arenosas, calizas margosas y margas.

Incluimos dentro de esta unidad, en el mapa de síntesis 1:100.000, a la denominada Unidad Monte Alto-Sierra de Abanilla por similitud de facies, aunque esta se interpreta como tectónicamente individualizada. Se localiza en la sierra de Abanilla y hacia el NE en Monte Alto. Está formada por materiales calizos y terrígenos del Aquitaniense-Burdigaliense (Mioceno inferior).

#### Unidad 2.- Serravalliense-Tortonense I

Con una potencia de 10 a 80 m aparece orlando a la cuenca, sobre todo a lo largo del borde Norte. Está compuesta fundamentalmente por calcarenitas generalmente bioclásticas, y calizas de algas ricas en lamelibranquios, equinodermos, briozoos, etc. aunque también se observan margas, areniscas y conglomerados.

En la Sierra de la Muela y Sierra Cajal esta unidad está constituida por calizas grises muy oscuras, algo fétidas y una intercalación margosa que se acuña lateralmente.

En el sector occidental de la cuenca entre Pliego y Alhama de Murcia, sobre la Sierra de Espuña y sobre la misma Sierra de la Muela, se encuentra un conjunto inferior conglomerático de aspecto masivo con matriz arenoarcillosa y de colores rojizos con una potencia de 100 a 150 metros. Sobre él se dispone un conjunto margoso detrítico con turbiditas proximales muy cementadas con restos carbona-

tados así como niveles similares a las calcarenitas anteriormente descritas, areniscas rojizas y margas arenosas con una potencia que varía de 200 a 300 metros.

El medio de depósito es en líneas generales litoral. Los conglomerados rojos de Alhama de Murcia se han depositado en un medio continental de tipo aluvial o fluvial anastomosado. La serie superior, claramente marina, supone depósitos de corrientes de turbidez de tipo proximal. Gran parte de los niveles calcareníticos puede ser también turbiditas proximales, consecuencia del desmantelamiento de las grandes plataformas carbonatadas que soportan todos los afloramientos de esta unidad.

### Unidad 3.- Tortoniense II - Messiniense I

Está constituida por un conjunto margoso con hasta 600 metros de margas y margocalizas grises oscuras y grises azuladas, generalmente masivas con finas vetas de yeso (centimétricas) fibroso oblicuas a la estratificación. Hacia el NE intercalan margas grises oscuras muy arenosas similares a las denominadas por diferentes autores, "margas de la Guardia Civil" en otros sectores de la cuenca, en esta zona también presentan algunos cantos de rocas volcánicas (Fortunitas) próximas a las intrusiones de estas en la zona.

En ocasiones hacia el techo, el tramo margoso intercala episodios turbidíticos y otras veces presentan cantos del substrato en el seno de las margas.

Hacia el Suroeste está formado por una potente serie monoclinial de margas y margas arenosas gris azuladas y gris verdosas laminadas en ocasiones, que intercalan niveles de calcarenitas, areniscas con abundantes ostreidos y equinodermos, conglomerados y brechas con cantos de yeso alabastrino, que teóricamente provendrían de niveles evaporíticos inferiores de la serie.

Hacia el NE, en el sector de Fortuna-Abanilla sobre las margas se superponen los siguientes tramos:

**Tramo evaporítico inferior:**

Está constituido por hasta 35 metros de yesos laminados generalmente anhidríticos con intercalaciones centimétricas de limos, areniscas y yesos fibrosos, está representando al Sur y SE de Fortuna (en la carretera de Fortuna al embalse de Sangonera), en el sector de Librilla y en el de Ceuti-Campos del Río. Aunque bastante continuo, en ocasiones no está representado, desapareciendo por pérdida de potencia.

**Tramo bituminoso:**

Consiste en una alternancia de margas, laminillas arcillosas, verdes y marrones, laminillas arcillosas verdes, laminillas diatomíticas blancas con restos de peces, niveles de "paper shale", yesos alabastrinos y yesos metasomatizados a caliza y azufre.

Es en este tramo en el que han localizado los indicios de azufres que expondremos mas adelante y que se observan desde Librilla hasta Abanilla y también al Sur en la zona del cortijo de las Salinas y del Cabezo Gordo, donde está todo el conjunto evaporítico intensamente deformado por la zona de Fractura de Alhama-Alcantarilla.

**Tramo evaporítico superior:**

Por lo general tiene menor entidad que el tramo evaporítico inferior y en ocasiones suele faltar al igual que el inferior. Está constituido por 10 a 40 metros de yesos alabastrinos y en pata de gallo (sector de Abanilla), en ocasiones con bancos de yesos seleníticos, margas yesíferas y areniscas. Algunos niveles presentan hard grounds.

A veces este tramo no constituye siempre el techo de la unidad (sector Centi-Campos del Río, Librilla) ya que en ocasiones continua con una alternancia de margas, areniscas y episodios evaporíticos menores hasta el contacto discordante con la unidad superior.

Hacia el extremo suroriental de la cuenca los tramos evaporíticos varían de composición. Las facies se hacen detríticas, el tramo bituminoso desaparece y la secuencia se hace más costera al variar hacia arenas margosas y calcarenitas. Más al Este las facies son conglomeráticas en lo que Montenant (1976) denomina el Alto de Crevillente.

Debido a la gran extensión de la cuenca y a las condiciones tectosedimentarias de sus bordes, existe un gran número de medios sedimentarios con sus facies correspondientes.

Las facies margosas se depositan en ambientes pelágicos y por la inestabilidad tectónica son frecuentes las facies turbidíticas distales y proximales.

En los bordes Norte, Noroeste y Oeste se desarrollan facies de conglomerados litorales sobre los que se instalan facies arrecifales con facies organizadas y facies de talud (Norte de Fortuna).

Aunque el borde SE de la cuenca no está bien establecido ya que parece corresponder con el macizo del Segura, actualmente erosionado por emersión de éste y/o por un proceso regresivo del Mediterráneo, se produjo un confinamiento de la cuenca que llevó a una estratificación de las aguas con deposición de facies laminadas ricas en materia orgánica, entre dos episodios evaporíticos.

En el límite oriental comienzan a intercalarse facies detríticas cada vez más gruesas hasta el umbral de Crevillente, en oposición a las facies arrecifales o pararrecifales del Suroeste.

#### Unidad 4.- Messiniense II - Plioceno I

Está constituida por una potente serie de margas y margas arenosas grises y rosadas con arenas, areniscas y niveles de conglomerados rojizos que indican el

paso al denominado conglomerado de Murcia que Montenant sitúa en cambio lateral de facies desde el Tortoniense Superior hasta el Plioceno, mientras que, en otras ocasiones, se ha interpretado como una formación claramente discordante sobre las margas.

La formación basal comentada es de carácter margoso con intercalaciones decimétricas de arenas y niveles decimétricos de yeso en ocasiones blanco alabastrino y otras selenítico (Norte del Embalse de Santomera). En algunos sectores aparecen facies arrecifales compuestas básicamente por porites.

En el sector de los Colorados, en la zona Este, hay unas facies arcillosas rojas y conglomeráticas con niveles de calizas blancas a la base, con restos carbonosos sobre la serie margoyesífera.

El depósito de esta unidad tiene lugar en un lagoon sobresalado con bordes con influencia continental, pasándose a un medio fluvial de abanicos aluviales, ríos anastomosados y ríos meandriiformes, representado por el conglomerado de Murcia.

Las facies intermedias entre fluviales y las de lagoon no se observan.

#### Unidad 5 - Plioceno II - Actual

Se divide en dos subunidades:

- La primera abarca desde el Plioceno II hasta el Pleistoceno I y sus sedimentos son conglomerados y arcillas rojizas, brechas, caliches y travertinos, representantes de un medio continental en el que dominan las facies aluviales y los procesos edáficos.

La presencia de costras calcáreas y caliches indican períodos de climas árido.

- La segunda subunidad abarcaría desde el Pleistoceno II hasta la actualidad y sus depósitos son las terrazas de los ríos actuales como el Segura o el Guadalentín y los abanicos aluviales y pies de monte en los macizos circundantes de la cuenca.

### **Rocas Volcanicas Neogenas**

Dentro de la cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia hay afloramientos de rocas volcánicas que cortan a los materiales sedimentarios anteriormente expuestos.

Hay dos enclaves principales que son el de Barqueros y el de Fortuna.

El vulcanismo de Barqueros es de tipo verítico e intruye en las margas del Mioceno Superior. Se trata concretamente de cineritas en los bordes y cono de emisión. La intrusión sufre un rápido enfriamiento presentando por ello escaso metamorfismo de contacto. Se trata de un vulcanismo fisural asociado a una zona de fracturación de dirección NNE-SSO; en sus alrededores se observan bloques de rocas volcánicas en el seno de los materiales de la cuenca.

Los afloramientos de Fortuna están agrupados en dos zonas, una en la Rambla del Ajanque, al Norte del Embalse de Santomera y la otra en las margas de muro al Este de Fortuna, se trata de un tipo particular de lamproitas que se ha denominado Fortunitas, en principio se trata, como en Barqueros, de un vulcanismo fisural asociado a fracturas NNE-SSO. El afloramiento del Norte son una serie de pequeños conos alineados según una zona de fractura de dirección N90° a N100°. Posiblemente estas intrusiones sean las responsables de algunos domos que se han detectado en las rocas sedimentarias y que corresponderían con otras intrusiones de este tipo que no han llegado a aflorar en superficie.

El metamorfismo de contacto es en este caso también escaso limitándose a una leve silicificación y conviene señalar la existencia de una pequeña labor minera antigua en uno de los bordes de la intrusión de la rambla del Ajanque.

La edad de estas emisiones es intramessiniense.

#### **2.2.4. TECTONICA**

La evolución tectosedimentaria de la cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia ha sido ampliamente estudiada por Lukowski en su tesis doctoral.

La disposición general de la cuenca según una dirección SO-NE coincide con las directrices de las cordilleras Béticas y está fuertemente condicionada por zonas de deformación con esta dirección, entre la que resalta el borde SE de la cuenca limitado por la zona de fractura Alhama-Alcantarilla que se extiende hasta el Sur de la Sierra de la Tercia, en el borde Sureste de la cuenca de Lorca. Esta zona de fractura ha funcionado en la actualidad apareciendo manifestaciones termales a ella asociadas. Durante el cuaternario la falla de Alhama-Alcantarilla ha tenido una componente importante de salto en dirección que ha creado a lo largo de todo su recorrido zonas extensivas y zonas compresivas debidas a su propia regularidad. Existen dentro del ámbito estudiado otras estructuras de este tipo con dirección NE-SO, pudiendo corresponderse el borde Norte de la cuenca con una fractura según dicha dirección, encontrándose al Sur de la Sierra de Abanilla y al Norte de Fortuna brechas triásicas en la serie Miocena.

En relación con estas zonas de fracturación aparecen otras fallas asociadas con directrices NNE-SSO en las que se encuentran los vulcanismos de Barqueros y Fortuna y una tercera directriz NO-SE que agrupa a un gran número de fracturas cuya mayor representante sería la Falla del Segura y que constituiría lo que sería el borde Oeste de la cuenca (Sierra de Espuña). Son frecuentes también las frac-

turas E-O directamente asociadas a la falla de Alhama y en zonas próximas a esta (al NNE de Librilla y en la zona de Fortuna).

En síntesis la cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia se constituiría como una gran zona distensiva debido a un movimiento de dirección NE-SO, separada de la vecina cuenca de Lorca por una zona compresiva (Sierra de Espuña), quedando la cuenca de Lorca como otra gran zona distensiva dentro del conjunto regional

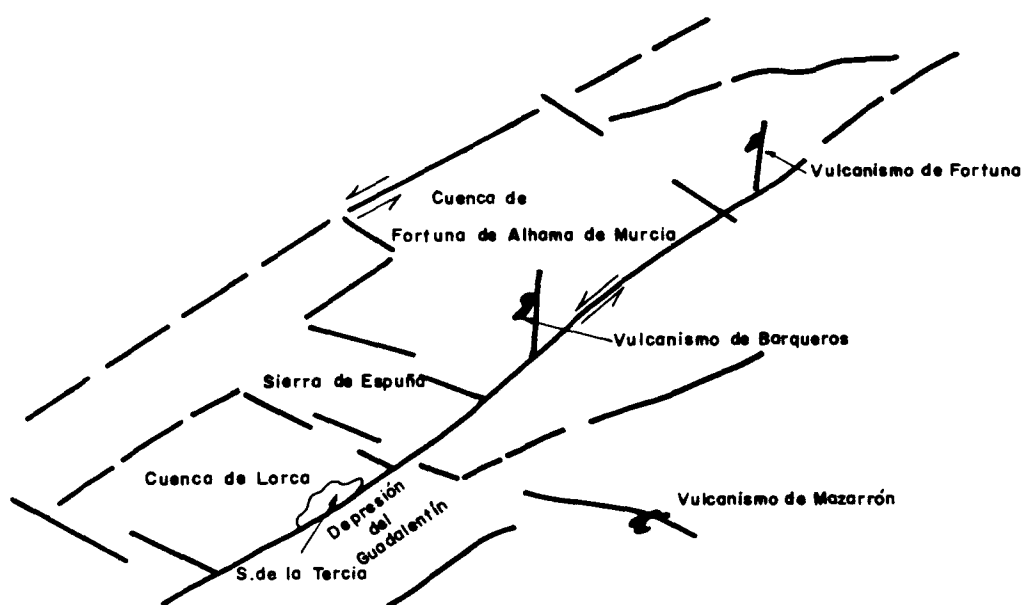


Fig. nº 17.- Esquema tectónico de la cuenca de Fortuna-Alhama.



Por lo demás, el resto de la Cuenca presenta una estructura simple en su conjunto, si obviamos las discordancias intratortonienses e intramessienses que son reflejo de la acción de fases orogénicas tardías de carácter más o menos local y que pudieran deberse simplemente a los registros finales de acomodación de masas alóctonas y reajustes gravitatorios de las masas sobre las que se apoyan los bordes de la depresión. En el borde Norte de la depresión hay descritos emplazamientos gravitacionales de Keuper. Los materiales de relleno de la cuenca se disponen según un suave sinforme de dirección SO-NE que con una longitud de 40 km y una anchura de 7 km tiene su cierre en el sector de Fuente Librilla.

Dentro de este sinforme se detectan zonas con estructura en domo que podrían corresponder con diapiros de Trías o con rocas volcánicas como las de Barqueros y Fortuna que no lleguen a aflorar en superficie. Estos abombamientos se encuentran en la sierra del Cura, inmediatamente al Sur de los indicios de Fuente Librilla, en las proximidades de la cortijada de la Zarza y al Oeste de los Pulpites.

Hay que hacer notar a este respecto la presencia de anomalías gravimétricas, tres negativas en las proximidades del Cabezo Negro, los Calderones y Librilla; y tres positivas en Rambla Salada, coincidiendo con la dirección del eje sinclinal, a ambos lados de la fractura de Alhama-Alcantarilla al Este de la Sierra del Cura, en Fuente Librilla y al Suroeste de la sierra del Cura en la fractura que llega hasta los afloramientos volcánicos de Barqueros. En esta gravimetría no influyeron las rocas volcánicas de Barqueros que se encuentran en una anomalía gravimétrica negativa lo que se puede interpretar como causa de un reducido volumen de estas rocas debido a que tuviesen una forma lopolítica, a la presencia de otras rocas de baja densidad en mayor volumen, o a una deficiencia del método. La anomalía de Los Calderones se debe a una deformación en los bordes del mapa y no debe, por tanto, tenerse en cuenta. Las anomalías positivas de rambla Salada, pueden ser debidas a altos del substrato, mientras que la anomalía negativa del

Cabezo Negro podría deberse a la presencia de rocas de baja densidad de tipo salino.

## **2.2.5. ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO**

### **2.2.5.1. ESTUDIOS ANTERIORES**

No existe documentación antigua sobre las manifestaciones de azufre biogénico en la cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia. En la década de los 80 se realizaron varios proyectos geológicos-mineros por parte de ITGE, encaminados al estudio de lignitos y de niveles kerogénicos. Entre estos estudios destacan:

- Investigación de lignitos en las cuencas terciarias del ámbito bético.
- Posibilidades de las mineralizaciones de azufre biogénico en la Península Ibérica.
- Investigación de pizarras bituminosas en relación con las manifestaciones de azufre.
- Investigación de pizarras bituminosas en el SE de la península (Almería, Granada, Murcia y Alicante).
- Investigación de pizarras bituminosas en el sector de Fortuna-Abanilla.
- Investigación por sondeos de las pizarras bituminosas en el sector de Fortuna-Abanilla.
- Ordenación y valoración de las pizarras bituminosas en España.
- Posibilidades de sales haloideas en cuencas confinadas del Levante Español.
- Estudio geofísico del área de Librilla (Murcia).

La realización de estos proyectos llevó a un conocimiento más profundo de la cuenca y se pusieron de manifiesto parte de las manifestaciones de azufre existentes en ella.

Estos indicios de azufre tienen en muchas ocasiones una minería antigua asociada que no llega a tener la importancia de la minería de Lorca, si bien se encuentra ampliamente distribuida por toda la cuenca desde Librilla hasta Abanilla y siempre situados en la banda evaporítica del techo de la Unidad Tortoniense II - Messiniense I. Esta minería consiste fundamentalmente, al igual que en el caso de Lorca, en explotaciones de interior sobre bancos de yeso metasomatizados a caliza y azufre mediante planos inclinados y pozos verticales. Muchos de estos pozos y sus escombreras se encuentran en la actualidad tapados, en la inmensa mayoría de las ocasiones por la actividad antrópica.

La banda preevaporítica en que encajan las labores mineras y manifestaciones de azufre se distribuye fundamentalmente en dos alineaciones de dirección NE-SO y que representan los flancos del sinforme comentado en el apartado relativo a la tectónica.

A continuación vamos a comentar someramente los resultados obtenidos en estos proyectos desde el punto de vista del azufre, comenzando por el Noroeste.

Durante el Proyecto de Investigación de Pizarras Bituminosas en el sector de Fortuna Abanilla se realizó una cartografía geológica de detalle en el área de interés a escala 1:10.000 con diferenciación del tramo portador de los niveles kerogénicos. Se llevó a cabo una retirada de muestras de superficie con análisis cualitativos y cuantitativos en cuanto a su contenido en crudo. Todo esto condujo a la ejecución de cuatro sondeos verticales con recuperación de testigo continuo en los que tras la testificación geológica, se realizaron análisis para obtener el contenido en crudo de los niveles kerogénicos, con los datos obtenidos de la cartografía y de los sondeos se hizo una estimación de recursos de laminillas kerogénicas.

Durante la ejecución de estos proyectos se reconocieron las labores mineras existentes en la zona, todas ellas de azufre nativo, salvo una enclavada en las fortunitas, en el paraje denominado Cabecitos Negros de la que se desconoce su objetivo.

El objetivo de los sondeos era el de reconocer el comportamiento en profundidad del tramo de margas laminadas, paper shales y bancos de yeso. Los sondeos se programaron vertical y con recuperación de testigo continuo y con una profundidad suficiente como para que cortasen el tramo de interés en su totalidad.

Los sondeos, de forma resumida, cortaron los siguientes términos:

**SONDEO S-1.- Inclinación: vertical**

**Profundidad: 90 metros**

- Tramo Superior: 33 metros de margas grises con intercalaciones de arcillas verdes y niveles de yeso blanco noduloso selenítico.

A muro presentan paquetes arenosos con restos vegetales carbonizados así como bancos de calizas gris oscura.

- Tramo medio: 33 metros de margas laminadas con cuatro bancos de yeso, anhidrita, intercalados, con una potencia de 40 cm a casi 1 metro, uno de estos bancos se encuentra parcialmente reemplazado a caliza aunque la testificación no cita azufre.
- Tramo inferior: 24 metros de niveles de yeso blanco alabastrino de 10 a 30 cm de espesor alternando con margas grises. Se intercalan finos niveles arcillosos negros.

**SONDEO S-2.- Inclinación: vertical****Profundidad: 90 metros**

La columna litológica describe los siguientes términos.

- Tramo superior: 32 metros de margas arcillosas gris-crema con finas intercalaciones de yeso anhidrítico y cristalizado. Se intercalan niveles netamente calcáreos. A muro las margas se presentan muy arenosas, siendo a veces prácticamente arenas, y con abundantes restos carbonizados.
- Tramo medio: 33 metros de margas grises laminadas con intercalaciones de bancos de yeso blanco alabastrino, a muro de los cuales se observan delgados niveles de "paper shale". No se cita en esta testificación una sustitución de los yesos a caliza o azufre.
- Tramo inferior: 23 metros de yeso blanco alabastrino en bancos de 20 a 40 cms de espesor con juntas margo-arcillosas grises a veces negras, masivas o ligeramente laminadas.

**SONDEO S-3.- Inclinación: vertical****Profundidad: 90 metros**

La columna litológica distingue los siguientes tramos:

- Tramo superior: 40 metros constituidos por una alternancia de margas arcillosas gris-crema y verdes con niveles de yeso blanco noduloso y selenítico. A muro, margas arenosas con restos vegetales carbonizados.
- Tramo medio: 43 metros de margas laminadas con cuatro niveles intercalados de yeso blanco alabastrino parcialmente sustituido a carbonato, y una intercalación inferior de 3,5 metros de margas grises con R.V.C.

- Tramo inferior: 17 metros constituidos por una alternancia de bancos de yeso, anhidrita, en niveles de 5 a 20 cms de potencia, con margas grises masivas así como margas arenosas y arcillosas grises y negras con fuerte olor a hidrocarburos.

Los sondeos definieron un tramo de interés constituido por margas laminadas con intercalaciones de bancos de yeso (uno de ellos reemplazado a caliza) y finos niveles de paper shale, la potencia real del conjunto oscila entre 33 y 45 metros y su corrida mínima según la separación de los sondeos es de dos kilómetros.

En los proyectos posteriores se realizaron en el sector de Ceuti-Campos del Río un total de 118 metros de calicatas mecánicas también para pizarras bituminosas. En estos proyectos y en algunas de las calicatas realizadas se identificaron varias zonas con manifestaciones de azufre biogénico en bancos de yeso sustituido a caliza y siempre asociados con las laminitas. Se hicieron cartografías a escala 1:25.000 de las zonas de interés. Estas zonas se agruparon en, el área de Librilla, al Sur del vulcanismo de Barqueros; el área de Ceuti-Campos del río, donde se localizó azufre en las proximidades de Los Rodeos y Las Yeseras; y en el kilómetro 4 de la carretera de Alcantarilla a Mula en las proximidades del Cabezo Gordo.

#### 2.2.5.2. DESCRIPCION DE LAS SERIES

La litoestratigrafía de detalle de los sectores de interés en la zona NE (área de Fortuna-Abanilla) se representa en las columnas 892-C-1, 892-C-2 y 892-C-3.

De muro a techo en el área de Fortuna Abanilla se distinguen los siguientes tramos:

Dentro de la Unidad 3 (Tortoniense II. Messiniense I) y de muro a techo tenemos una potente formación de margas grises y verdes que son las denominadas mar-

gas de Fortuna, las cuales pueden alcanzar una potencia de hasta 600 metros. Se trata de margas masivas con algunos pequeños niveles margosos arenosos y algunos esporádicos niveles centimétricos de arenas finas, presentan además niveles centimétricos de yeso fibroso oblicuos a la estratificación. A unos 100 metros del techo presentan un nivel de arenas y calcarenitas con algunos yesos y de unos 10 metros de potencia. Se encuentran también, las margas de Fortuna, atravesadas por rocas volcánicas y con cantos de estas en su interior.

Sobre estas margas se instala un paquete evaporítico que presenta distintas facies según nos desplazemos a Este u Oeste. Así en las series 892-C-2 y 892-C-3 correspondientes a la zona de la rambla de la Parra se trata de una alternancia de yesos alabastrinos blancos en bancos de 20 a 30 cms de potencia y margas, mientras que hacia el Oeste en la zona de la Rambla del Ajanque y en la carretera de Fortuna a Molina de Segura es un banco potente de yesos alabastrinos con niveles fibrosos y en ocasiones laminados con algunos niveles centimétricos limosos, siendo en el sector de la rambla de la Parra su contacto con las margas de Fortuna, más gradual.

Sobre el tramo evaporítico inferior que acabamos de describir encontramos el llamado "tramo bituminoso", consistente en una sucesión de unos 30 metros de potencia de calcilitas laminadas con algunos niveles de "paper shales" muy ricos en kerógeno y bancos de yesos alabastrinos de los que sólo uno se encuentra claramente con sustitución a caliza y azufre en nódulos y en relación directa con los niveles kerogénicos. Se han observado también en este tramo algunos bancos de yeso con estructuras en pata de gallo y otros seleníticos (columna litoestratigráfica 892-C-2).

Encima del tramo anterior se sitúan, de forma discontinua, unos niveles de conglomerados de cantos heterométricos de subangulares a redondeados con poca matriz y muro erosivo y con algunos cantos de yeso y restos carbonosos entre los que se intercalan bancos de areniscas cementadas. Este nivel se presenta de for-

ma discontinua con una potencia máxima de unos 7 metros en la Rambla de la Parra y aumentando su presencia hacia el NE; marca la separación de esta unidad, con la unidad Superior o Unidad 4.

La Unidad 4 está en esta zona representada por margas y arcillas con algunos niveles de decimétricos a métricos de yesos fibrosos y seleníticos, y en algunos casos, como junto a la Rambla Salada, en las proximidades del embalse de Santomera, alabastrinos blancos. En la rambla del Ajanque esta formación es instruida por rocas volcánicas (Fortunitas).

Inmediatamente encima, en la zona del Talé, se encuentra el Plioceno, representado por margas, conglomerados, arenas y arcillas y de forma discordante sobre las series infrayacentes.

La serie culmina con los materiales cuaternarios representados esencialmente por los aluviales de los ríos y ramblas actuales y por suelos fundamentalmente antrópicos.

En la banda Norte, zona de Molina de Segura - Campos del Río, se distinguen los siguientes términos (columnas litoestratigráficas (912-C-1, 912-C-2, 912-C-3, 912-C-4, 912-C-5 y 912-C-6).

- Tramo inferior (margas de muro).- Son las que hemos denominado margas de Fortuna, que en esta zona consisten en unas margas grises y verdes con bancos centimétricos de margas arenosas y con bancos métricos (sector de los Rodeos) de arenas y areniscas. Están en ocasiones (al Norte de Molina de Segura), atravesadas por juntas oblicuas a la estratificación rellenas de yeso fibroso de tamaño centimétrico. Pueden alcanzar una potencia de 600 metros.



- Tramo evaporítico inferior: Puede alcanzar una potencia de hasta 30 metros, pero no siempre está presente. Está formado por yesos alabastrinos y laminados blancos, grises y verdosos, en blancos de 2 a 5 cm en ocasiones con laminación ondulada con pasadas de limos centimétricas (sector de las Yeseras junto al cabezo Anaón).
  
- Tramo laminado o kerogénico.- Está formado por una alternancia de laminillas, con margas, margas laminadas y yesos alabastrinos, algunos de ellos parcialmente sustituidos y algunas pequeñas pasadas arenosas, los bancos de yeso en ocasiones están total o parcialmente sustituidos a calizas con nódulos de azufre, en otras ocasiones son yesos de color muy oscuro, con laminación horizontal y con estructuras de carga con deformaciones del muro, estos yesos oscuros presentan nódulos de azufre nativo de color muy oscuro que se considera como azufre de primera generación, y que arde muy fácilmente (Norte de Molina de Segura y en las inmediaciones del cabezo Anaón).
  
- Tramo evaporítico superior: Puede alcanzar hasta 30 metros de potencia, si bien su distribución no es uniforme pudiendo llegar a desaparecer en algunas zonas como ocurre con el inferior. Está constituido por yesos alabastrinos, seleníticos y posiblemente hasta detríticos, también algunos con estructura en pata de gallo, en ocasiones el tránsito entre el tramo bituminoso y este tramo evaporítico se realiza a través de 4 ó 5 metros de margas con cristales de yeso selenítico (912-C-4), en esta misma zona parece que algunos niveles presentasen calizas de sustitución del yeso.

Con él culmina la Unidad Tortoniense II - Messiniense I.

En el sector Norte de Molina de Segura, la banda evaporítica alcanza como máximo 15 m de potencia y no se distinguen los tres términos que acabamos de definir y que en el área de Ceuti-Campos del río se observan claramente. En el sector de Molina de Segura los tres términos se limitan prácticamente

a uno constituido por margas, yesos y algún nivel de laminitas o margas laminadas (éstas no se observan bien pues están muy cubiertas). Los yesos son alabastrinos negros laminados en bancos de 0,4 a 1,5 metros de potencia algunos de ellos con reemplazamiento variable a caliza según zonas y con nódulos de azufre nativo acaramelado de primera generación muy oscuro, a techo hay un nivel de selenitas muy cubierto. Sobre este tramo se implanta unas margas y margas arenosas con algunos niveles laminados (columnas 912-C-1, 912-C-2 y 912-C-3) e inmediatamente los cuaternarios.

En el resto de la banda, entre el Cabezo y la Venta de Baños o de Brígido, sobre el tramo evaporítico encontramos mas margas, margas arenosas blancas y margas con algunos yesos entre las que se intercalan bancos métricos de areniscas (Columnas 912-C-4, 912-C-5 y 912-C-6).

Hacia el SO a la altura del canal de Venta de Baños el tramo evaporítico en conjunto ha quedado reducido a dos o tres bancos de 40 cms de yeso alabastrino blanco entre margas y margas laminadas y a lo largo de la Rambla Salada, en toda la serie, no se corta ya nada más que un banco de 15 a 30 cms de yeso alabastrino blanco con algunas manchas de ocre entre margas y dominando a techo y a muro de este, facies arenosas costeras con estratificaciones cruzadas, equinodermos y abundantes ostreidos.

En la banda Sur, correlacionable con la banda Norte que acabamos de describir, y perteneciente al flanco opuesto del sinclinal anteriormente comentado se encuentra a grandes rasgos la misma secuencia si bien en muchas ocasiones ésta es difícil de definir debido a que está intensamente deformada por su proximidad a la fractura de Alhama-Alcantarilla.

Por ese motivo en la carretera de Alcantarilla a Mula la secuencia no se observa completa, presentando de muro a techo los siguientes tramos:

- El tramo kerogénico (o laminado) con 20 metros de potencia conforma el núcleo de un antiforme y consiste en una serie de laminitas y limos en bancos de cuatro metros entre los que se intercalan niveles de yeso fundamentalmente laminados de uno a dos metros de potencia cada uno, algunos de ellos se encuentran sustituidos a caliza en ocasiones hasta en un 80% habiéndose observado nódulos de azufre en uno de ellos.

Encima se sitúa una serie de margas con niveles de yeso de entre 10 y 30 centímetros de potencia de los que algunos continúan estando sustituidos parcialmente a caliza. Este tramo culmina con tres metros de margas con selenitas de yeso y 3 metros de yesos sacaroideos, alabastrinos y laminados parcialmente sustituidos a caliza.

Encima se sitúa un nivel de 5 metros de arenas sobre las que discordantemente y con muro erosivo se encuentra el conglomerado de Murcia con cantos redondeados y escasa matriz (columna litoestratigráficas 933-C-1 (AB).

En el área de Librilla se encuentran los siguientes términos, Columnas 933-C-2 y 933-C-3).

- Margas de Muro correlacionables con las margas de Fortuna; son una potente serie de margas gris azuladas con 100 mínimo de espesor en los que se intercalan niveles arenosos a techo transicionan de forma gradual al tramo kerogénico con aparición progresiva de yesos fibrosos y alabastrinos con algunos bancos seleníticos. Los yesos no alcanzan potencias superiores a un metro.
- Tramo laminado o kerogénico, con una potencia de entre 10 y 15 metros; consiste en una alternancia de laminitas, yesos fibrosos y alabastrinos algu-

nos sustituidos a caliza y azufre, yesos con estructuras en pata de gallo y algunos niveles centimétricos de arenas.

- Encima se sitúan 30 metros de margas gris azuladas masivas con niveles arenosos de entre 10 cms y 1 m de potencia y que a techo presentan venas de yeso fibroso.
- Tramo evaporítico superior, con una potencia de entre 15 y 20 metros está formado por bancos de yesos alabastrinos, laminados, con finos niveles de yeso fibroso y entre los que alternan margas con niveles arenosos.

Hacia el Oeste estos yesos son mas masivos en un banco de entre 5 y 10 metros.

- Margas de techo: constituidas por margas con algunos niveles decimétricos de yeso.

### 2.2.5.3. INDICIOS

Los indicios de azufre localizados en la cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia se encuentran ampliamente extendidos por toda ella en el techo de la unidad Tortoniense II - Messiniense I, asociados a los niveles evaporíticos y a los niveles kerogénicos.

La Unidad Tortoniense II - Messiniense I describe un sinforme de dirección NE-SO desapareciendo el tramo evaporítico en la zona de cierre próxima a la aldea de Fuente Librilla.

Por ello agrupamos los indicios en dos zonas, los que se encuentran en el flanco NNO (banda Norte) del sinforme y los que se encuentran en el flanco SE, banda

Sur, incluyendo en estos la zona de Librilla próxima al cierre de la estructura en el SO.

Dentro de la banda Norte se han distinguido un total de 8 indicios a lo largo de una corrida de 30 kilómetros, y que agrupamos en dos zonas: la zona más al NE es el área de Fortuna-Alhama con 3 indicios y la zona más al SO que abarca desde Molina de Segura hasta las proximidades de Campo del Río con 5 indicios. La localización de niveles de laminitas y yesos entre ambas zonas, así como el hallazgo de azufre en la banda evaporítica situada entre Molina de Segura y Archena nos permiten en principio correlacionar y suponer de forma más o menos continua la banda Norte desde Campos del Río hasta Abanilla, completando así los 30 km de corrida comentados.

Esta banda presenta una flexión al Norte de Molina de Segura con una disposición más norteada y que, en principio, puede ser motivada por la banda de fractura del Segura.

Hacia el NE, en la zona de Abanilla, parece que las condiciones de sedimentación cambiasen desapareciendo la banda evaporítica e implantándose unas facies continentales y costeras que abarcan desde series terrígenas fluviales hasta series calcareníticas y arrecifales. Hacia el SO cerca de la venta de Baños también desaparecen las facies evaporíticas y se implantan unas facies arrecifales y detríticas.

En la banda Sur correspondiente con el otro flanco del sinclinal comentado, se han detectado 4 indicios de azufre que abarcan una corrida de unos 14 kilómetros. Esta banda se encuentra ampliamente deformada por la fractura de Alhama que la recorre paralelamente de SO a NE continuando como ya comentamos al Sur de la Sierra Tercia en la cuenca de Lorca. Por ello el levantamiento de series litoestratigráficas es más complicado en esta banda Sur que en la Norte, salvo en zonas más alejadas relativamente de la banda de deformación (Fuente

Librilla). Es muy interesante señalar que esta banda Sur presenta entre los indicios numerosos afloramientos en los que se ha observado yeso parcialmente sustituido a caliza, ya que en esta zona la permeabilidad de los materiales aumenta considerablemente debido a la fractura de Alhama.

Los indicios levantados en la banda Norte son los números 892-1, 892-2, 892-3 (Area de Fortuna-Abanilla) y 912-1, 912-2, 912-3 y 912-4 (Area de Molina de Segura-Campos del Río). Los correspondientes a la banda Sur son los señalados con los números 933-1, 933-2, 933-3 y 933-4 (Area Fuente Librilla-Alcantarilla).

En el borde Norte de la cuenca se han levantado y revisado tres indicios de estroncio, dos de ellos dentro de los materiales de borde, a estos les han correspondido los números 892-4 (Los Baños de Fortuna), 891-1 (en el borde Oeste de la sierra de Lugar) y 912-6 (en la vertiente Norte de la Sierra de Ricote) este último conocido antiguamente como indicio de Barita.

Las fichas, según el modelo del Mapa Metalogenético de estos indicios, pueden verse en el anexo de este informe.

A continuación vamos a describirlos por áreas.

#### **Area de Fortuna-Abanilla**

En el sector de Fortuna-Abanilla se han distinguido tres indicios de azufre todos sobre un mismo nivel de yeso sustituido a caliza y azufre de 75 cms de potencia asociado a niveles de laminitas ricas en kerógeno dentro del denominado "tramo laminado o kerogénico de la unidad Tortoniense II-Messiniense I" y que se encuentra en la ladera Norte de una pequeña serrata denominada Talé que se extiende en dirección NE-SO desde la confluencia de la Rambla de la Parra con el río Chicamo. Los indicios se correlacionan, por tanto, estratigráficamente entre si definiendo una corrida de como mínimo 1000 metros sin que a lo largo

de ella deje de observarse azufre. Hacia el Oeste se ha identificado el nivel sustituido en las proximidades de la rambla del Ajanque sin que se haya visto azufre con lo que tendríamos una corrida posible de unos 4000 metros. Este nivel fue identificado en los sondeos realizados en el proyecto de pizarras bituminosas anteriormente comentado. Continuando hacia el SO deja de observarse ya que la zona está intensamente cultivada, localizándose en la carretera de Fortuna a Murcia (3223) el nivel de laminitas y el tramo evaporítico muy trastocados al coincidir aquí probablemente con una zona de deformación de dirección NE-SO, pero no se han observado manifestaciones de azufre; hacia el SO de este punto (cruce de la carretera de Fortuna a Murcia con la de Fortuna a Molina de Segura) el tramo de interés queda bajo zonas de cultivo y cuaternarios por lo que de aquí hasta el área de Fortuna el contacto es supuesto.

Los indicios de azufre tienen los números 892-1, 892-2 y 892-3. El nivel portador es el mismo en todos ellos (columnas litoestratigráficas 892-C-1, 892-C-2 y 892-C-3), y consiste en un nivel de 75 cms dividido en 20 cms, en la base, de yesos alabastrino, 45 cm, en el centro, de yeso alabastrino con núcleos de caliza de sustitución y a techo 5 a 10 cm de caliza de sustitución con nódulos de azufre. Inmediatamente a muro de este nivel hay un nivel de 5 cm de laminitas con alto contenido en kerógeno y que arden con la llama. A techo continúan las laminitas pero más pobres en kerógeno.

El indicio 892-2 presenta restos de minería antigua con dos escombreras de pequeño tamaño, compuestas fundamentalmente por laminitas y separadas entre si 60 metros. Son los únicos restos de labores antiguas en la zona sin que puedan verse las bocas de la mina. Posiblemente la minería consistió como en el resto de la cuenca en un plano inclinado al que corresponderían las escombreras observadas en la ladera Norte de la Serrata del Talé, mientras que en la ladera Sur debería haber un pozo que actualmente se encuentra totalmente cubierto.

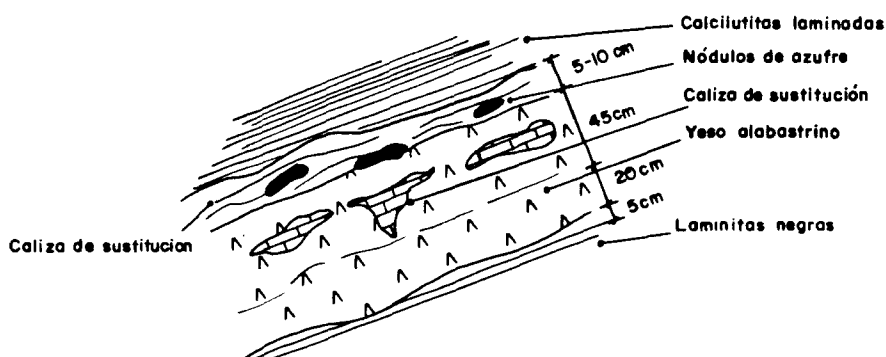


Fig. 18.- Aspecto del nivel mineralizado en el sector de Fortuna-Abanilla

Los indicios 890-1 y 892-3 no presentan labores mineras antiguas. Entre los tres indicios puede seguirse a pie el nivel reemplazado sin que deje de observarse azufre en él.

Al NO de los indicios de azufre y en una zona próxima (en los Baños de Fortuna) se localiza el indicio de estroncio, número 892-4, ubicado en un pequeño páramo formado por una caliza travertínica de unos 5 metros de potencia sobre las margas de Fortuna. En esta caliza no se observa celestina de visu pero contiene una anomalía de sulfato de estroncio de hasta un 20% según la bibliografía consultada.



El interés de este indicio está en que puede indicar la presencia de una anomalía de estroncio, en la cuenca, espacialmente relacionada con el azufre.

### **Area de Molina de Segura - Campos del Río**

Constituye la parte Suroeste de lo que denominamos la banda Norte. En ella se han localizado y levantado 5 indicios de azufre biogénico que definen una corrida de 16 kilómetros según una dirección NE-SO.

Al igual que los indicios del área de Fortuna-Abanilla se localizan en el techo de la Unidad Tortoniense II - Messiniense I en bancos de yeso de potencia inferior a un metro y estrechamente relacionados con niveles de laminitas.

A estos indicios les han correspondido los números 912-1, 912-2, 912-3, 912-4 y 912-5.

Al Norte de Molina de Segura donde el techo de la unidad es cortado por la carretera de Molina de Segura a Archena se localiza el indicio 912-5, cuya secuencia es la siguiente: sobre las margas de muro se sitúa una serie de 20 metros de una alternancia de margas y yesos con algunos niveles de margas laminadas y laminitas que no afloran bien en superficie. Las evaporitas son bancos de yeso alabastrino en ocasiones laminado con nódulos de azufre oscuro muy puro que arde rápidamente con la llama, otros presentan sustitución a caliza. Encima descansan unas margas arenosas con niveles laminados e inmediatamente encima el cuaternario de pie de monte. (Columna litoestratigráfica 912-C-1). En algunos puntos los yesos están afectados por una fractura de dirección NE-SO.

Mas hacia el SO en la misma banda y entre el Cabezo Anaón y la Venta de Baños o de Brígido se sitúan los indicios 912-1, 912-2, 912-3 y 912-4. Este

último está situado en el paraje denominado las Yeseras, en las inmediaciones del vértice Anaón. En él están bien representados los dos niveles evaporíticos el inferior y el superior (Columna litoestratigráfica 912-C-4), entre los que se sitúa el tramo bituminoso con una potencia de entre 15 y 20 metros. La secuencia del tramo bituminoso es difícil de levantar pues la zona se encuentra intensamente cultivada, no se puede, en superficie, distinguir el número de niveles con azufre. Estos son como los del Norte de Molina de Segura (indicio 912-5), yesos alabastrinos y laminados de color oscuro con estructuras de carga y nódulos de azufre acaramelado de primera generación y en otras ocasiones cristales en yesos sustituidos a caliza. Durante el proyecto de investigación de pizarras bituminosas se hicieron dos calicatas mecánicas en este parque, y gracias a una de ellas se encontró un antiguo pozo, que se trataba de una pequeña labor minera de azufre hoy tapado.

Los indicios situados en la zona de los Rodeos son claramente correlacionables entre sí, y uno de ellos el 912-2 denominado Rodeo de los Tenderos, tiene unas labores mineras antiguas (tres pozos y una galería). Dos de los pozos y la galería forman el típico modelo de explotación de la zona por planos inclinados según el nivel mineralizado y pozos verticales en la ladera opuesta. El tercer pozo situado más al Norte, sobre el tramo evaporítico de muro parece un intento fallido de localizar más azufre.

Los tres indicios se encuentran sobre un nivel de yeso sustituido de forma variable a caliza con nódulos de azufre y con una potencia de 0,5 a 1 metro. En la zona del indicio 912-2 por debajo de este nivel y separado de él por 1,20 metros de laminitas y margas laminadas con finos niveles de diatomitas se encuentra otro nivel de yeso parcialmente reemplazado con azufre. El contenido en azufre del nivel que se explotó es alto según las muestras que se ven en las escombreras de los pozos y en las piedras de las minas. En definitiva las mineralizaciones de azufre de esta zona son como las tratadas hasta ahora, niveles de yeso de no más de un metro de potencia parcial o

totalmente reemplazados a caliza y azufre, este principalmente en nódulos, y siempre asociado a niveles de laminitas kerogénicas. No obstante en la zona de los Rodeos hay que resaltar la presencia de un nivel calizo muy poroso de 3 a 5 metros de espesor justo a muro de los yesos de techo y que podría proceder de una sustitución de estos a caliza.

Al Norte de esta zona y en los materiales del substrato bético se localizan los indicios 891-1 y 912-6 de estroncio.

El indicio 891-1 ha sido denominado la Hortichuela y se encuentra en el borde Oeste de la Sierra de Lugar. Encaja en el Subbético Externo dentro de unas calizas jurásicas masivas y sobre unas calizas con sílex. Parece asociado a la intersección de dos conjuntos de fracturas de direcciones N155° y N60°. Cabe destacar la proximidad de afloramientos de Trías en facies Keuper al indicio y su relación directa con este. A este Trías aparecen asociadas, en algunos puntos, ofitas.

El indicio ha sido objeto de explotación minera hasta muy recientemente, habiendo incluso todavía un acopio de mineral para retirar en cualquier momento.

El mineral de celestina se encuentra bien cristalizado presentándolo distintos hábitos.

El indicio denominado Ricote se encuentra en la vertiente Norte de la Sierra de Ricote y a poca distancia de la aldea de la Bermeja. Encaja en el dominio Subbético Interno en una serie de calizas masivas sobre las que se disponen unas calizas con sílex y margas, en zonas próximas hay dos niveles de basaltos submarinos.

En la zona ha existido una importante minería durante el primer tercio de siglo, en la llamada mina Pepe, donde según comentan los lugareños también había azufre, esta mina no ha sido localizada si bien según comenta la gente de la zona está actualmente tapada por las últimas inundaciones; si se ha localizado por el contrario una labor, correspondiente a este indicio realizada por los mineros de mina Pepe en busca de nuevas reservas y de la que quedan restos de celestina sin que esta se haya visto in situ pues la entrada está prácticamente tapada (la dirección de la galería coincide con la dirección de las capas). La mina Pepe y esta otra labor fueron explotadas en su tiempo como barita pero en realidad se trata de mineral de celestina con hábito tabular en hojas de libro en cristales de hasta 8 cms; también se observan cristales de celestina en "ataud" de un bonito color azulado cristalizado en cavidades.

#### **Area de Fuente Librilla-Alcantarilla**

Constituye la que hemos denominado banda Sur. En ella se han distinguido un total de cuatro indicios a los que han correspondido los numeros 933-1, 933-2, 933-3 y 933-4 y que vamos a describir a continuación de NE a SO.

Los indicios se localizan a techo de la unidad Tortoniense II - Messiniense I según una dirección NE-SO y separados entre si unos 14 kilómetros. Entre los indicios se han observado numerosos afloramientos en los que se observa yeso sustituido a caliza, aunque no se ha visto en estos azufre, es importante tenerlo en cuenta, ya que la presencia próxima de la fractura de Alhama de Murcia aumenta la permeabilidad de los materiales permitiendo así mejor el paso de las soluciones mineralizantes.

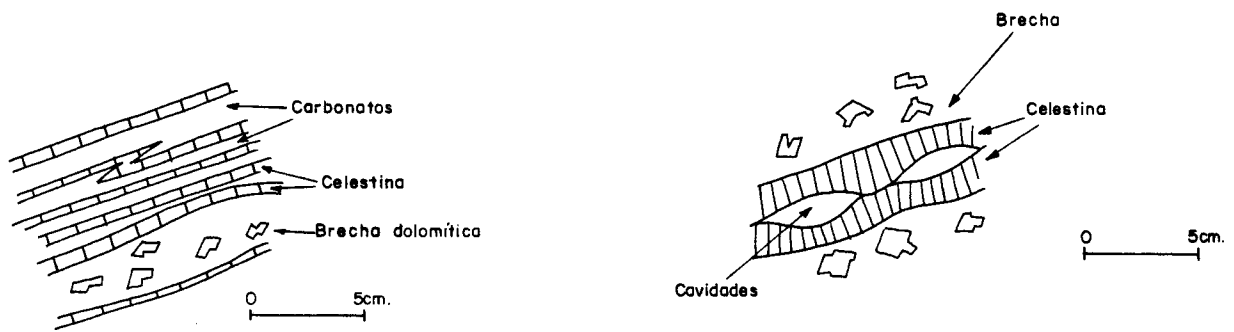
A continuación vamos a comentar los indicios localizados, si bien una descripción más exhaustiva se puede observar en sus fichas correspondiente en el anexo.

El indicio denominado Cabezo Gordo, con el número 933-4, se encuentra en las proximidades del vértice Estaca a la altura del kilómetro 4 de la carretera de Alcantarilla a Mula donde la serie evaporítica es cortada por dicha carretera.

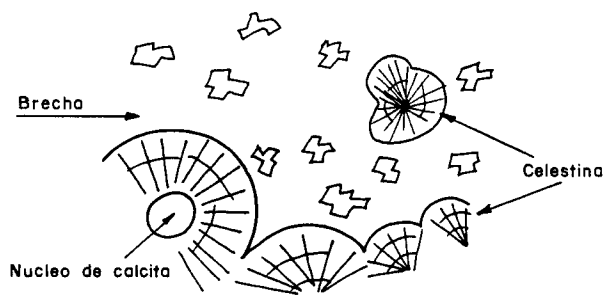
El azufre se localiza en bancos de yeso alabastrino y laminado de potencia inferior a 1 metro parcialmente sustituidos a caliza y azufre en nódulos y asociados a niveles de laminitas. Bajo un nivel con azufre hay niveles de sepiolita. Este indicio se encuentra próximo a la zona de fractura de Alhama de Murcia-Alcantarilla por lo que en este mismo punto se encuentran deformados los materiales formando un pequeño antiforme, por lo que no aflora el muro del tramo bituminoso. Hacia el Sur afloran unos potentes bancos de evaporitas de hasta 10 metros mínimo de potencia en posición subhorizontal, consistentes en yesos laminados y alabastrinos que han sido objeto de explotación como tales. En algunos puntos estos yesos se han visto con calizas de sustitución pero en ningún caso se ha llegado a observar azufre en ellos.

Los niveles en los que se encuentra el azufre se han seguido a lo largo de 200 metros, removidos en tierras de cultivo, viéndose en ellos sustitución a caliza pero no azufre. En la margen Este del río Segura a la altura de Rivera de Abajo afloran los yesos sobre un potente banco de laminitas también deformados formando otro pequeño antiforme, pero en ellos no hay señales de sustitución.

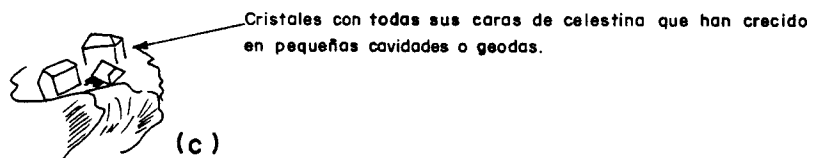
A unos 5 kilómetros al SO se localiza el indicio denominado las Salinas al que corresponde el número 933-3 y que se encuentra al pie del Cabezo Negro. El corte que se realiza desde el Caserío de las Salinas hasta el Cabezo Negro es de complicada interpretación ya que la secuencia se encuentra muy deformada debido a su proximidad con la fractura de Alhama. En plena zona deformada y dentro de un potente banco de yesos verticales se han localizado



(a)



(b)



**Fig. 19.**— Hábitos de la celestina de la Hortichuela. a) Cebrado o bandeado. b) Fibroso radial con formas arriñonadas y botroidales. c) Habito tabular o en "ataud"

crisales milimétricos de azufre. Los yesos presentan a lo largo de este recorrido caliza de sustitución, así como, al NO del cabezo Negro, y, en las carreteras de Alcantarilla a la Zarza y de la Zarza a Venta Belén, donde además se han observado laminitas. Este indicio resulta de interés a pesar de su bajo contenido en azufre por la existencia próxima de una zona importante de fractura y de importantes paquetes yesíferos. Además conviene señalar que al NO del cabezo Negro se localiza una de las anomalías gravimétricas negativas de las que se comentaron al iniciar la descripción de esta cuenca. Anomalías que se presentan ~~se da~~ hacia el centro de la cuenca y en el mismo contexto que la de Lorca por lo que podríamos pensar que se deban a un acúmulo de sales según el modelo de cuencas evaporíticas semiconfinadas concéntrico que describimos para la cuenca de Lorca y que parece repetirse aquí.

A unos 8 kilómetros más hacia el SO se encuentran los indicios del área de Librilla denominados Infierno (933-1) y Ballesteros (933-2) en las proximidades de la casa del Cura.

El indicio Ballesteros presenta labores mineras abandonadas consistentes, como siempre en la zona, en una galería según el buzamiento del nivel mineralizado y un pozo vertical en la ladera opuesta (ver ficha del indicio), pozo que en este caso ha sido tapado.

El nivel mineralizado es un banco de 60 cm de potencia de yeso entre laminitas que se puede subdividir de muro a techo en: 15 cm de yeso alabastrino, 5 cm de yeso laminado, 5 cm de yeso laminado sustituido a caliza en un 90%, 15 cm de yeso alabastrino blanco sustituido a caliza parcialmente y hasta en un 30% y 20 cm de caliza de sustitución y yesos con nódulos de azufre. Hacia el Oeste, en el Barranco del Infierno, se encuentra el indicio, Infierno 933-1, que consiste en un banco de yeso alabastrino de 20 cm de potencia sustituido parcialmente a caliza y azufre, los dos indicios son corre-

lacionables y hacia el Oeste en la Rambla del pantano se cortan unas laminatas de alto contenido en kerógeno, pero no se ven señales de sustitución en los yesos. Desde el indicio 933-2 hacia el NE se continúa el nivel reemplazado a lo largo de 200 metros, aunque las manifestaciones de azufre son escasas.

En el cortijo del Cura se localiza un domo estructural en materiales de techo del tramo evaporítico y cuyo ápice se localiza en las proximidades del cortijo.

#### **2.2.6. AREAS SELECCIONADAS**

Durante la ejecución del presente proyecto se seleccionaron dos áreas en las que se ha realizado una cartografía geológica a escala 1:25.000, con algunos cortes ilustrativos, a dicha escala. Las áreas seleccionadas fueron la de Fortuna-Abanilla y el área de Alcantarilla-Librilla. A continuación vamos a hacer una descripción de los resultados obtenidos en estas cartografías.

##### **Area de Fortuna-Abanilla**

En la cartografía 1:25.000 realizada se han distinguido los siguientes términos de muro a techo:

- Substrato triásico indiferenciado, compuesto por carbonatos y pizarras. Aflo-  
ra al Sur en algunos puntos que forman cerros aislados debido a su mayor  
resistencia a la erosión (Cabezo Gordo) que los materiales terciarios que los  
rodean.
- Rocas volcánicas: Se trata de un tipo particular de lamproitas que ha recibi-  
do el nombre de fortunitas. Procedentes de un vulcanismo asociado a fractu-



ras que intruye a los sedimentos terciarios colindantes. Se encuentran en dos zonas próximas a la rambla del Ajanque.

La primera es un cono perfecto junto a la misma Rambla del Ajanque y su límite Oeste está asociado a una fractura de dirección N30°. En el contacto con la roca de caja hay una pequeña labor minera denominada Mina de Cabecitos Negros, cuyo objetivo es desconocido y que según los lugareños era de oro.

La otra zona es un conjunto de pequeños conos que dan pequeños cerros en el terreno, debido a su mayor resistencia a la erosión que las margas que intruyen; en este caso están asociados a una fractura de dirección N100°.

Estas rocas deforman levemente los materiales de la cuenca al intruir pudiendo ser responsables de algunos domos que se encuentran en la zona en los que las fortunitas no llegan a aflorar.

- Margas de muro: son las denominadas margas de Fortuna y constituyen una monótona secuencia de hasta 600 metros de espesor de margas grises con algunas intercalaciones arenosas y que en la zona presentan también finas venas de yeso fibroso oblicuas a la estratificación.

Dentro de ellas se han diferenciado unos niveles calcareníticos que en ocasiones se presentan oblicuos a toda la estructura (al Oeste de Abanilla).

En ellas intruyen las fortunitas al Norte del Talé.

- Tramo evaporítico: Se trata de una banda de yesos alabastrinos y laminados que alternan con margas y limos. En posición monoclinal buzando al Sur, se extienden según una banda de dirección N60° que va desde la confluencia de la rambla de la Parra hasta la carretera de Fortuna a Murcia. Si bien debe, a

escala regional, llegar hasta los yesos de Norte de Molina al SO de este área de interés.

Entre la Rambla del Ajanque y la del Cantalar su posición de verticaliza llegando incluso a invertirse para buzarse al Norte hasta  $50^\circ$  lo que puede ser debido a las zonas de fracturación de dirección NE-SO subparalelas a la falla de Alhama de escala regional (Perfil II-II').

- Tramo kerogénico o laminado: se dispone concordantemente sobre el anterior y se extiende, al igual que aquél, desde la confluencia de la rambla de la Parra con el río Chicamo hasta la carretera de Fortuna-Alhama, donde junto con el tramo evaporítico se encuentra deformado por la acción de fracturas NO-SE. Entre la Rambla del Cantalar hasta la carretera se encuentra parcialmente cubierto por la unidad superior y hacia el Oeste hasta Molina de Segura como en el caso anterior los afloramientos son de baja calidad.

Sobre este y con muro erosivo hay unas areniscas y conglomerados con cantos de yeso que marcan el límite entre la Unidad Tortoniense II - Messiniense I con la Messiniense II - Plioceno I, presentan algunos cantos removilizados con azufre, y tienen una potencia pequeña.

Hacia el Este del río Chicamo y como paso lateral del tramo evaporítico y del laminado, se encuentran unos bancos de arenas, conglomerados de facies fluviales y de abanicos y calizas bioclásticas, que en principio parecen responder a un cambio en las condiciones de sedimentación de la cuenca si bien cabe también la interpretación de que el tramo bituminoso estuviese sobre ellas pero cubierto por la Unidad Superior. Estos niveles terrígenos también se encuentran al Norte del Embalse de Santomera buzando parcialmente al Norte.

- Tramo margoso del Messiniense superior; constituido por margas, arcillas y yesos, se dispone discordantemente sobre la unidad inferior en posición monoclinal buzando al Sur, si bien se horizontaliza hacia el Sur (centro de la cuenca), llegando a estar subhorizontal en las proximidades del Embalse de Santomera, a veces se encuentra con buzamientos fuertes en algunos puntos formando domos estructurales posiblemente debidos a la intrusión de fortunitas que no llegan a aflorar en superficie. De estos domos se han localizado dos en zonas circundantes al afloramiento mayor de fortunitas.
- Conglomerado de Murcia: se dispone discordantemente aflorando al Oeste del Embalse de Santomera se trata de conglomerados rojos continentales y se asimilan a la Unidad 4 (Messiniense II - Plioceno I), aflorando al Sur de la Rambla Salada.
- Plioceno: constituido por margas, conglomerados, arenas y arcillas; se dispone discordantemente sobre las unidades inferiores, presentándose generalmente en lo alto de los cerros sobre las margas del Messiniense II. Se encuentra basculado, reflejando en muchas ocasiones los domos estructurales anteriormente citados.
- Cuaternario indiferenciado: constituido por los mantos aluviales de ríos y ramblas y por suelos naturales o antrópicos.

## **ESTRUCTURAS**

La estructura general del área cartografiada es sencilla, formando una serie monoclinal que buza hacia el Sur con una dirección NE-SO y que se va horizontalizando hacia el centro de la cuenca para llegar a buzarse suavemente al Norte en la cola del Embalse de Santomera. Esta estructura sencilla y general de la zona se encuentra algo más complicada en algunos puntos debido a diversos factores que vamos a comentar a continuación de Norte a Sur.

En la parte Norte de la cartografía se observa que los niveles areniscos situados dentro de las margas de Fortuna son oblicuos a la estructura general de los materiales, presentando una dirección general  $N30^\circ$  con forma convexa hacia el NO. La interpretación fotogeológica parece indicar que esto se debiera a un juego de fracturas de dirección NE-SO paralelas a la falla de escala regional de Alhama-Alcantarilla, apareciendo una serie de fracturas, asociadas a éstas, de dirección  $N80^\circ$  a  $N90^\circ$  y  $N125^\circ$  las cuales producen pequeños saltos dentro del nivel arenoso. Las  $N90^\circ$  coinciden, grosso modo, con la fractura a que se asocian los afloramientos de fortunitas al Norte del Talé.

Otra ruptura de esta estructura se encuentra desde la Rambla del Ajanque hacia el SO donde los tramos evaporíticos y bituminosos se encuentran deformados incluso llegando a invertirse la serie de algunos puntos, esto se asocia a las fracturas citadas de dirección NE-SO y que coinciden con el esquema regional de la cuenca.

Por último la presencia de tres estructuras en domo hacia el centro de la cuenca y que de Norte a Sur son:

- Al NE del afloramiento mayor de fortunitas, presentando un domo perfecto que se distingue muy bien en la cartografía y en el campo pues lo dibuja el Plioceno.
- Al SSE del afloramiento mayor de fortunitas presentándose un domo alargado con dirección N-S también dibujado por el Plioceno, y en cuyo borde Este presenta unos buzamientos muy fuertes de hasta  $80^\circ$  al Este con una dirección  $N185^\circ$ , en los otros bordes de esta estructura no se pueden tomar medidas pues los sedimentos se encuentran muy cubiertos por el cuaternario de la Rambla del Ajanque que limita los afloramientos.

- Junto a las Salinas de Rambla Salada se observa otro pequeño domo peor definido en cartografía y que es interesante señalar justamente por la presencia de esta rambla salada.

En resumen en esta cartografía se observan las siguientes estructuras:

- Fracturas o lineaciones estructurales: Se observan las siguientes familias: una principal NE-SO en dirección y posiblemente con una componente importante de salto coincidentes con la dirección regional de la cuenca y con la fractura de Alhama-Alcantarilla de escala regional; otra serie de fracturas de dirección aproximada E-O y que aparecen asociadas a las anteriores creando pequeñas zonas distensivas y compresivas, a una de ellas se asocian pequeños afloramientos de rocas volcánicas; otra familia asociada a la primera de dirección N130° y una última de dirección N25°-30° a la que se aparece asociado el afloramiento mayor de fortunitas en el paraje denominado Cabecitos Negros y otros domos asociados, posiblemente también, a rocas volcánicas.

Es interesante señalar la presencia de una rambla salada al Oeste del Embalse de Santomera y en la que hay unas antiguas salinas. De esta rambla se retiró unas muestras de agua cuyos resultados se exponen a continuación:

Cl <sup>-</sup>	29.920 mg/l
CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	427 mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	6.000 mg/l
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<0,2 mg/l
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<0,05 mg/l
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	----* mg/l
CO <sub>2</sub>	<0,1 mg/l
SH <sub>2</sub>	<0,1 mg/l
Ca	900 mg/l
Mg	980 mg/l
Na	19.300 mg/l
K	290 mg/l
Li	1,70 mg/l

Estos resultados indican la presencia de sales principalmente sódicas y con una pequeña anomalía de litio, el contenido en sulfatos es también anómalo. La rambla no corta afloramientos de Keuper a lo largo de todo su recorrido por lo que no se puede achacar su contenido en sulfatos y cloruros a este, si bien se ha detectado un pequeño domo estructural próximo a las salinas pero que coincide con la fracturación N30° a la que se asocia el afloramiento de fortunitas de Cabe-citos Negros. Parece por tanto lógico pensar que en esta zona situada hacia el centro de la cuenca y al Sur de la banda de yesos, la presencia de esta rambla salada se deba a la existencia de un depósito salino bajo ella según el esquema de Busson de cuenca concéntrica que se podría repetir aquí como ocurre en Lorca. La presencia pues de una rambla con agua salada se puede, en principio, interpretar como el reflejo de un depósito salino infrayacente que gracias a las fracturas NE-SO y asociadas que se detectan en la zona de rambla aportarían las sales a las aguas de la citada rambla.

Como ya comentamos en el apartado de Indicios, los indicios de azufre de Fortuna se disponen en un banco de yesos dentro del tramo bituminoso. Este presenta una corrida mínima de 1.000 metros y ha sido cortado en los sondeos que se hicieron en la zona para investigar pizarras bituminosas, por lo que le podemos dar una corrida según buzamiento de 100 metros, que con una potencia de 0,5 metros darían un volumen total de 50.000 m<sup>3</sup> que por una densidad de 2,0 serían 100.000 toneladas de todo uno con un contenido medio de azufre en torno al 10% de reservas vistas, aunque esta rápida valoración es muy imprecisa nos da una idea de la cantidad mínima de azufre que hay en la zona de Fortuna, si bien su continuación hacia el SO puesta de manifiesto durante la realización de este proyecto, las podría multiplicar varias veces. Si el nivel continúa hacia el centro de la cuenca las reservas lógicamente aumentarían considerablemente, si bien por sus dimensiones y disposición no sería objetivo de explotación.

#### Area de Alcantarilla-Librilla

En la cartografía de escala 1:25.000 realizada en este área se han distinguido los siguientes términos de muro a techo.

- Tortoniense inferior y medio: constituido por conglomerados, areniscas y margas. Se localiza en la sierra de la Muela al Norte de Alhama de Murcia.
- Margas de muro: Tienen una potencia mínima observada de 300 metros pudiendo alcanzar hasta los 600 y se constituyen de margas gris azuladas con niveles de areniscas y calcarenitas, aumentado estas últimas hacia el Oeste, donde se observan numerosos niveles de areniscas y arenas con estratificaciones cruzadas, ostreidos y equinodermos (clypeaster), así como facies arrecifales con porites. En la zona NO presentan afloramientos de margas con cantos grandes de materiales del substrato en su seno. Son correlacionables con las margas de Fortuna citadas en el apartado anterior.

Este tramo se encuentra bien representado a lo largo de toda la zona NO de la cartografía y al Sur de Fuente Librilla, donde dominan las facies margosas con algunas intercalaciones areniscosas. Estas margas pertenecen a la unidad 3 (Tortonense II - Messiniense I), presentando a techo 3 tramos que son:

- Tramo evaporítico inferior: está constituido por un paquete de hasta 25 metros de yesos alabastrinos y laminados con finas intercalaciones de limos, en otros casos (ramblas del Pantano) se trata de bancos inferiores a 0,5 metros de potencia de yesos alabastrinos blancos que alternan con niveles de margas. No siempre está presente, desapareciendo en algunos puntos.
- Tramo bituminoso: constituido por margas, laminitas y yesos, en ocasiones sustituidos a caliza y azufre.
- Tramo evaporítico superior: constituido por un paquete de yesos que puede alcanzar los 35 metros de potencia y que al igual que el tramo evaporítico inferior puede llegar a faltar.

Se trata de una secuencia de yesos alabastrinos y laminados con finas intercalaciones de limos y que en ocasiones (loma de las yeseras) presentan bancos seleníticos y estructuras en pata de gallo, en este punto presentan también alguna sustitución a caliza, así como a lo largo de la zona de la cartografía.

Estos tres tramos llegan a desaparecer y a confundirse entre sí en algunos puntos como es en las proximidades del Cabezo Negro, entre Cabezo Gordo y el Cabezo del Angel y al Norte de Molina de Segura, zonas donde la división en tres términos resulta dificultosa fundamentalmente por causas tectónicas que los deforman.

No obstante estos tres tramos los hemos utilizado en conjunto como nivel guía, pues marcan el techo de la unidad 3, estando su potencia limitada pero



con una extensión lateral importante. Además se trata de litologías distinguibles en el campo dentro de una secuencia fundamentalmente margosa.

- Margas de techo. Pertenecen a la Unidad 4 (Messiniense II - Plioceno I) y se trata de unas margas con niveles de areniscas y calcarenitas.

Sobre ellas y de forma discordante se disponen los conglomerados de Murcia constituidos por conglomerados con intercalaciones margosas y algunas arenas. Representan facies continentales de abanicos aluviales y ríos anastomosados. Se localizan en la zona central y Este de la cartografía y muestra de que son discordantes sobre el resto es la presencia de ellos sobre niveles de distinta posición estratigráfica.

- Rocas volcánicas: afloran al NNE de Barqueros y se trata de vulcanismo verítico que intruye a los materiales anteriormente citados, está compuesto por cineritas en los bordes y cono de emisión. Se trata de un vulcanismo fisural coincidente con una zona de fracturación de dirección media N30° coincidente con la observada en el afloramiento de Cabecitos Negros en el área de Fortuna y anteriormente comentada, su poca influencia en la gravimetría realizada en el área nos permite hablar de una forma lopolítica.
- Cuaternario indiferenciado; constituido por los mantos de arroyada y depósitos aluviales de las ramblas de la zona, así como por suelos antrópicos y naturales. Son importantes los cuaternarios de la Vega del Segura y de la Vega del Guadalentín atravesando, el primero, la zona Este de la cartografía y el segundo la zona SE, desde Alhama de Murcia hasta Alcantarilla.

## ESTRUCTURAS

Observando la cartografía 1:25.000 realizada se puede ver la disposición de los materiales neógenos siguiendo como nivel guía los tramos evaporíticos y bituminosos. Estos (techo de la Unidad 3) definen un sinforme de dirección NE-SO de 28 km de largo (en esta cartografía, ya que se podría continuar hasta la zona de Fortuna a escala regional como ya hemos comentado) por 7,5 km de ancho.

- En el núcleo de este sinforme quedan los materiales de la Unidad 4 (margas de techo y conglomerados de Murcia) así como la intrusión volcánica de Barqueros, mientras que hacia los bordes quedan las margas de muro.

El flanco Sur de este sinforme se nos muestra totalmente condicionado por la fractura de Alhama de Murcia-Alcantarilla que nos deforma fuertemente a los materiales que hacia el SE no se ven por el manto cuaternario de la depresión del Guadalentín.

Es esta zona de fractura, de dirección NE-SO, la que los condiciona toda la estructuración del área apareciendo distintos juegos de fracturas a ella asociadas, como serían la N120° y la mas patente aquí, N30° a la que se asocia el vulcanismo de Barqueros y que nos disloca el cierre estructural del sinforme, apareciendo este claramente en los conglomerados al Norte de la sierra del Cura y no tan claramente, (por la falta del nivel guía), justo al Norte de Fuente Librilla.

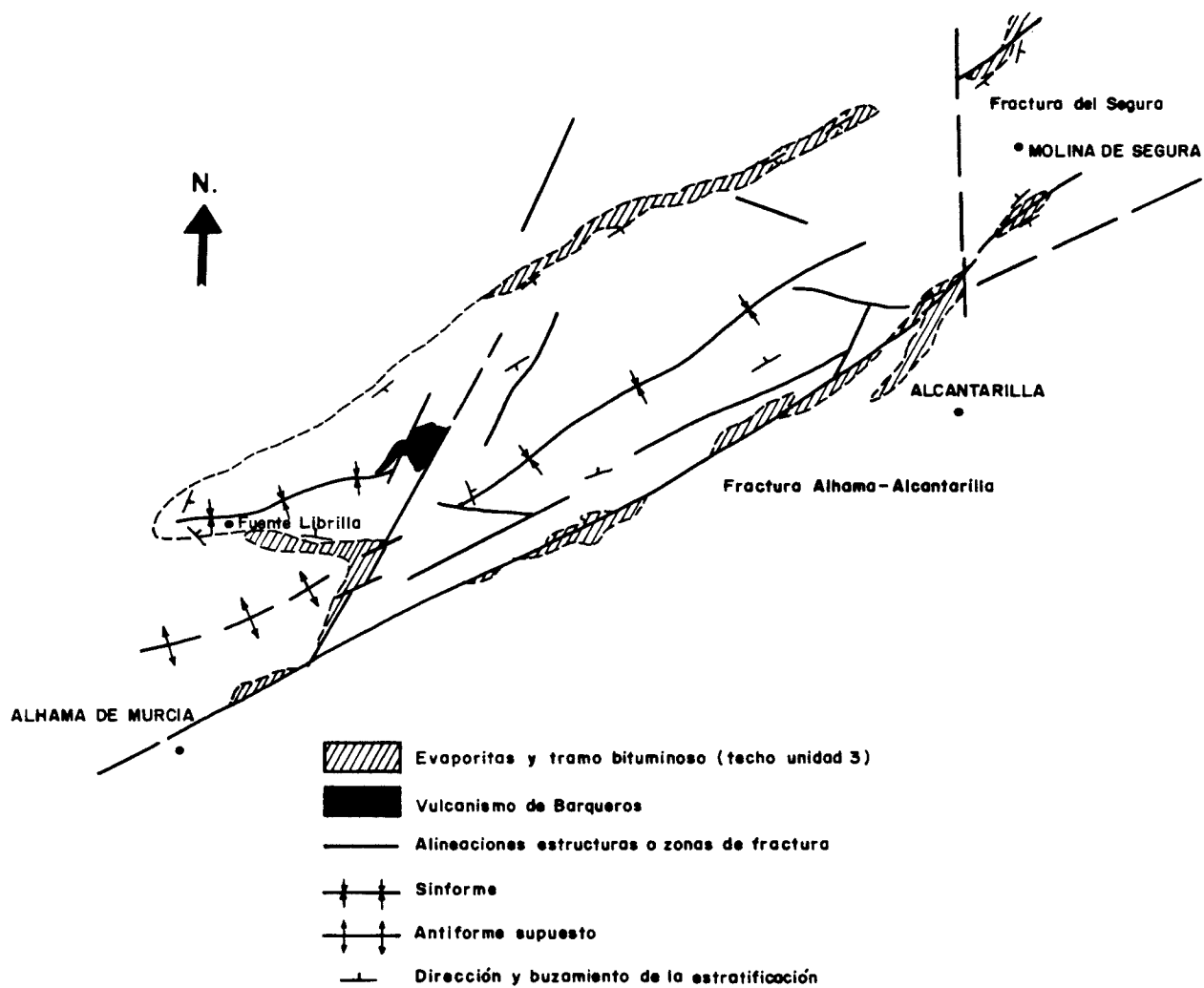


Fig. 20.- Esquema de las principales fracturas de la cuenca Fortuna-Alhama. Sector de Librilla-Alcantarilla

También nos condiciona, esta fractura, la sedimentación de la cuenca, al igual que comentamos para la zona de Lorca, ya que nos separa dos dominios sedimentarios la depresión de Fortuna-Alhama de la depresión del Guadalentín.

En relación con esta zona es importante comentar también la observación a lo largo de la banda Sur de indicios de azufre y sobre todo de sectores donde el yeso ha sido metasomatizado a caliza, ya que aquí se han dado elementos necesarios para la formación de azufre biogénico, presencia de evaporitas, niveles laminados con kerógeno, y creación de una vía de permeabilidad muy importante, que es la propia fractura, todo ello además ayudado por un sellamiento por materiales impermeables a techo, como son las margas de la unidad 4.

Dentro de este sinforme de dirección NE-SO, se disponen varias estructuras en domo de las que claramente en el campo solo se observan dos. Estas se sitúan una al SSE de los indicios de azufre 933-1 y 933-2, en las inmediaciones de la Sierra del Cura, quedando su ápice situado en las proximidades del cortijo del Cura, refrejada en la cartografía por el conglomerado de Murcia a techo y las margas de la Unidad 1 que afloran en el núcleo de la estructura. Y otra en la Rambla Salada que cruza el centro del sinforme.

Peor señalados quedan los domos de la Zarza (posiblemente asociado a rocas volcánicas) y el situado al Este de los Pulpites.

También conviene señalar la presencia de una rambla salada, que con este homónimo cruza el centro del citado sinforme, sin que en superficie corte materiales salinos, ya que discurre por series margosas y arenosas. Esto, junto con la presencia de una anomalía gravimétrica negativa en las proximidades del Cabezo Negro (corte 1:25.000, I-I') y junto con la distribución de facies (igual que la de Lorca e igual que la de Fortuna) hace pensar que en el núcleo del sinforme citado se ubiquen sales según el modelo de Busson ya comentado de cuencas concéntri-

cas. Presentándose así las mismas posibilidades que en la cuenca de Lorca para el azufre.

También se debe señalar la presencia, a muro de formaciones evaporíticas, en las margas de cuenca de los Baños de Archena, de surgencias de aguas sulfurosas a casi 52° de temperatura. Aguas cuyo análisis convencional presentamos a continuación. Este hecho junto con los yesos detríticos que se observan en la banda Norte, en el afloramiento del canal a la altura de Venta de Baños o de Brígido hace pensar en la presencia de evaporitas debajo de las margas de cuenca, si bien estas pueden corresponder a Trías Keuper del substrato que aflora en todo el borde N. de la cuenca.

#### ANALISIS QUIMICO DE LAS AGUAS DE ARCHENA

Cationes	mg.l.	Milimoles	Milivales m. eq/l	Milivales %
Ca <sup>++</sup>	298,32	7,458	14,916	22,9
Mg <sup>++</sup>	76,23	3,1376	6,274	9,7
Na <sup>++</sup>	930,20	40,443	40,443	62,2
K <sup>+</sup>	132,41	3,386	3,386	5,2
				100,00
<b>Aniones</b>				
CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	329,1	5,395	5,395	8,3
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	444,99	4,676	9,354	14,4
Cl <sup>-</sup>	1.778,43	50,167	77,3	
				100,00

Gases disueltos:

SH<sub>2</sub>: 8,2 SH/l

CO<sub>2</sub>: 75,3 mg CO<sub>2</sub>/l

Clasificación: sulfurada, clorurada sódico cálcica con una temperatura de emergencia de 51,7°C

Así mismo parece importante señalar la presencia de indicios de sales haloideas según el Mapa Metalogénico Nacional a Escala 1:200.000 en el Trías Keuper del borde Norte de la cuenca (Indicios 32 y 54 de dicho Mapa).

Del mismo modo que en Fortuna, si suponemos las corridas indicadas según los indicios de azufre y la presencia de este en ambos flancos del sinforme, por las dimensiones y forma de este último podríamos suponer que el nivel reemplazado (suponiendo que sólo sea uno) tiene un volumen de 60.000.000 de metros cúbicos que con una densidad de 2 g/cm<sup>2</sup> serían 120 millones de toneladas de todo uno con un 5% - 10% de azufre nativo, si bien se trata de reservas hipotéticas en base a los datos tomados de superficie, que en realidad sólo nos deben servir como estimación para conocer el orden mínimo de magnitud con el que estamos trabajando; pudiendo el nivel de interés alcanzar una profundidad en la zona central del sinforme de hasta 600 metros.

#### 2.1.7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Geológicamente la cuenca de Fortuna Alhama se configura como una cuenca de pull-apart dentro del dominio bético según una dirección NE-SO. En definitiva se trataría de una gran zona distensiva separada de las cuencas vecinas por zonas compresivas y dentro de la cual se genera, debido a esta configuración regional, una tectónica de bloques con direcciones predominantes N100° y N30°, direcciones gracias a las cuales aparecen asociadas manifestaciones volcánicas de tipo

fisural (Barqueros y Fortuna) y que son consecuencia de esa dirección principal NE-SO cuyo máximo representante es la falla de Alhama que constituye el borde SE de la cuenca.

La estructura general de la zona estudiada es la de un sinforme de dirección NE-SO que va desde Fuente Librilla hasta Fortuna, dentro del cual se pueden observar algunos altos estructurales. Este sinforme, es además un sinclinal, ya que los materiales de los bordes son los más antiguos, y los del núcleo los más modernos.

Sedimentológicamente la cuenca está dominada por una sedimentación con gran influencia marina, hasta que en el Messiniense II los procesos regresivos llevan a un confinamiento de la cuenca con estratificación de sus aguas y depósitos de tipo evaporítico y otros ricos en materia orgánica (no se descarta que anteriormente se produjesen depósitos ricos en materia orgánica en las margas de Fortuna o de la "Guardia Civil").

Esto lleva a que dentro de la cuenca se generen las sustancias necesarias, que con la ayuda de bacterias reductoras, nos darían lugar al metasomatismo de los niveles de yeso para producir caliza y azufre.

Además, esta evolución de la cuenca lleva al establecimiento, dentro de la misma, y al igual que en la cuenca de Lorca, de una disposición zonada concéntrica según el modelo de Bussón, por lo que cabría esperar la formación de sales próxima a su depocentro, que se situaría sucesivamente en zonas del núcleo del sinclinal descrito, y, de la que parecen ser testigos, los numerosos toponímicos y ramblas cuyas aguas son saladas y han sido y son incluso explotadas como tales.

En cuanto a la generación de azufre biogénico dentro de la cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia. Se deben tener en cuenta los siguientes hechos.

- 1.- La presencia de azufre asociado a niveles de yeso y caliza en el tramo de laminitas con abundante materia orgánica.
- 2.- Presencia de niveles impermeables a muro del tramo portador de la mineralización.
- 3.- La cuenca de Fortuna-Alhama presenta una variación en cuanto a la cuenca de Lorca y es la presencia de evaporitas a muro y a techo del tramo laminado, mientras que en Lorca sólo se encuentra a techo.
- 4.- La ausencia, salvo en la banda Sur (Alhama-Alcantarilla), de sustitución del yeso a caliza y azufre dentro de estos tramos.
- 5.- La presencia de niveles impermeables encima de esta formación evaporítica.
- 6.- Presencia en las margas de Muro (Sector de Fortuna), de niveles centimétricos de yeso fibroso oblicuos a la estratificación que podrían haber disminuido sensiblemente la impermeabilidad de las formaciones de muro.

Según estos factores y atendiendo a un posible origen biopigenético del azufre, los hidrocarburos deberían haber llegado a la formación portadora gracias a fracturas que facilitarían el paso de soluciones mineralizantes.

Sin embargo en la cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia lo normal en este caso hubiese sido que el tramo evaporítico inferior hubiese sido el primero en ser transformado a caliza y azufre disminuyendo esta transformación conforme subimos en la serie, y por el contrario, salvo en el caso de la banda Sur que seguidamente expondremos, los indicios se localizan en los tramos evaporíticos situados dentro del tramo kerogénico laminado no habiéndose observado, por el momento, sustitución en el tramo evaporítico inferior. La localización, aparentemente exclusiva del azufre en este tramo laminado induce a pensar que solo en él se desa-



rrollarán todos los factores necesarios para la formación del azufre, presencia de tramos con contenido kerogénico, presencia de bancos (decimétricos), de evaporitas, y presencia de bacterias anaerobias, por lo que la mineralización sería, más que bioepigenética, biodiagenética. En este sentido las mayores posibilidades de encontrar un depósito de interés de azufre biogénico, se localizarían en el depocentro de la cuenca, donde según el esquema de Busson el desarrollo de laminitas kerogénicas sería mayor.

Refiriéndonos ahora a la banda Sur de evaporitas que corre paralela a la fractura Alhama-Alcantarilla cabe destacar que salvo en la zona de Fuente-Librilla, donde los indicios están más alejados de dicha fractura e incluso en la zona del Cabezo Gordo, en el resto de la banda se han observado indicios de metasomatismo del yeso a caliza, si bien azufre se ve poco en otros niveles diferentes a los estrictamente asociados a las laminitas. En este caso no conviene olvidar el hecho de que en otros puntos de la cuenca las margas de muro próximas a su techo desprenden un fuerte olor a hidrocarburos que indicaría el paso de estos gracias a fracturas (falla de Alhama), o generado en ellas mismas en su medio de depósito. En el primer caso las mayores posibilidades se centrarían en las áreas con mayor fracturación y mejor impermeabilizadas a techo, que a nuestro juicio comprenderían una banda justamente al Norte de la zona de fractura de Alhama, o a la interfase, como en Lorca entre las evaporitas de "borde" (yesos) y una posible masa de sal hacia el centro.

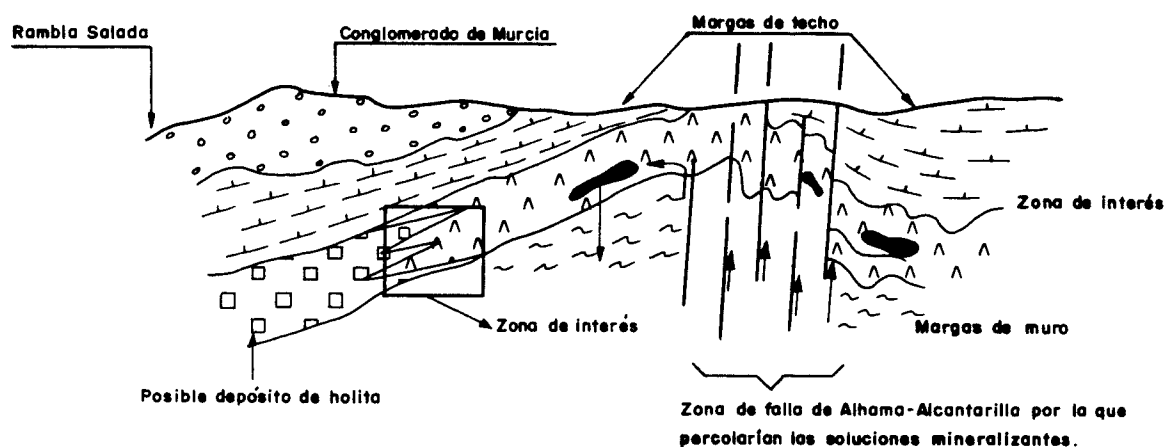


Fig. nº 21.- Hipótesis de áreas con mayores posibilidades de azufre en la cuenca de Fortuna-Alhama

Por otra parte conviene no olvidar la presencia de indicios de celestina en los bordes de la cuenca y la anomalía de esta sustancia en niveles de calizas travestínicas en los Baños de Fortuna, y, si su origen es metasomático, se deben tener en cuenta a la hora de investigar de forma integral las posibilidades de la Cuenca en cuanto de azufre, estroncio y las sales de origen sedimentario (de Na, K, Li..)

### 2.1.8. RECOMENDACIONES

La cuenca de Fortuna-Alhama de Murcia es una zona con interés potencial desde el punto de vista del azufre, sales haloideas (Na, Li, K...) y Sr, presentando características similares a la cuenca de Lorca.

Como áreas preferentes cabe señalar, según lo dicho en este informe, todo el núcleo del sinclinal de Alhama de Murcia-Alcantarilla y la zona Sur de Fortuna que abarcaría desde la banda evaporítica hasta las inmediaciones del embalse de Santomera incluyendo la Rambla Salada. En cualquier caso, los sectores de mayor interés se señalan en los planos geológicos correspondientes a escala 1:25.000.

Dentro de esta última zona se propone una geofísica gravimétrica para la detección de cuerpos de baja densidad que pudiesen corresponder a cuerpos salinos. Esta iría seguida de sondeos mecánicos de exploración en los mínimos gravimétricos que se obtuviesen de esta geofísica. Posteriormente se debería realizar, si los mínimos se correspondiesen con cuerpos salinos, una campaña de Sondeos Electromagnéticos en el Dominio de Tiempo (SEDT) para determinar mejor la posición de estos posibles cuerpos (situación en perfiles de los tramos conductores y reductores), como apoyo a una posterior campaña de sondeos de investigación.

Este mismo proceso debería realizarse al SE de la banda evaporítica del Norte de Molina, donde también se localizan indicios de sal. (Rambla de las Salinas de Molina), dentro de un contexto geológico análogo.

Por otra parte, dentro del área del Librilla-Alcantarilla se debería realizar al menos un sondeo de explotación en el mínimo gravimétrico obtenido en las proximidades de Cabezo Negro, así como una campaña de SEDT que se debería

conjugar con la geología existente para determinar la posible ubicación de posibles cuerpos de sales haloideas.

La ubicación de este sondeo responde también a lo expuesto en el capítulo de conclusiones sobre la posible ubicación de un depósito de importancia de azufre, debiendo por tanto llegar a las margas de cuenca por lo que tendría como mínimo una profundidad de 450 metros.

De los resultados obtenidos dependerá el desarrollo y planificación de campañas de investigación posteriores.

Al igual que en la cuenca de Lorca la investigación del borde Sur de la cuenca (depresión del Guadalentín) es importante pero en ella hay que recurrir a la geofísica debido a la gran extensión de materiales cuaternarios en la zona.

Al Norte de la banda Norte de evaporitas, en las margas de cuenca, se debería realizar una geología de superficie que nos determinase la estructura de la zona y la posición y de los indicios salinos que en ella se encuentran posiblemente relacionados con diapiros de Trías.

Con los datos aportados durante el transcurso de esta investigación son zonas de investigación preferente dentro del sinclinal de Alhama de Murcia-Alcantarilla las siguientes:

- Cabezo Negro
- los alrededores de la intrusión volcánica de Barqueros
- los domos estructurales de la sierra del Cura, la Zarza, los Pulpites y Rambla Salada
- el corredor situado inmediatamente al Sur de la banda Norte de evaporitas, principalmente en la zona de los Rodeos

## 2.3. CUENCA DE MAZARRON

### 2.3.1. SITUACION GEOGRAFICA-GEOLOGICA

La cuenca de Mazarrón se encuentra en el SE de la Península Ibérica dentro de la provincia de Murcia en el término municipal de Mazarrón y parte del de Lorca.

Se localiza en la hoja nº 976 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

Está limitada por la Sierra de las Moreras al Norte y Noroeste, la Sierra de Almenara al Noroeste y la Sierra del Cantar al SO; mientras que al Sureste se encuentra el Mar Mediterráneo.

Los accidentes hidrográficos más importantes son, de NE a SO, las Ramblas de Villalba, de Pastrana y del Ramonet que la atraviesan de NO a SE todas ellas subparalelas.

La topografía es suave en el interior de la cuenca resaltando los relieves del Cabezo de Pozo Negro, el alto de Percheles y otros de menor entidad.

En cuanto a accesos destaca la carretera nacional 332 dentro del tramo Mazarrón-Aguilar que corta transversalmente los materiales de la cuenca entre los puntos kilométricos 8 y 17, la carretera que va desde la Nacional 332 hasta Calnegre y numerosos caminos en buen estado que recorren el interior de la cuenca.

Geológicamente la cuenca de Mazarrón es una de las depresiones neógenas de las cordilleras Béticas estando limitada por materiales del Dominio Bético, con presencia de rocas ígneas. Dentro de la cuenca hay numerosos enclaves de estos materiales del substrato bético.

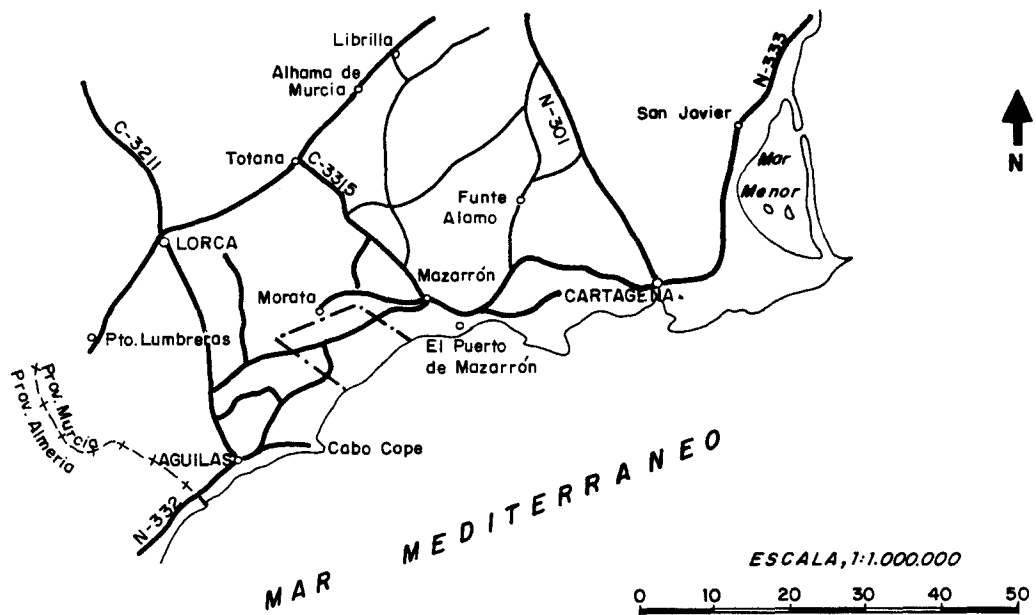


Fig. 22 — Situación geográfica del área de Mazarrón

La cuenca de Mazarrón ocupa aproximadamente unos 50 km<sup>2</sup> presentando una forma subparalelepípedica abierta al Mar Mediterráneo.

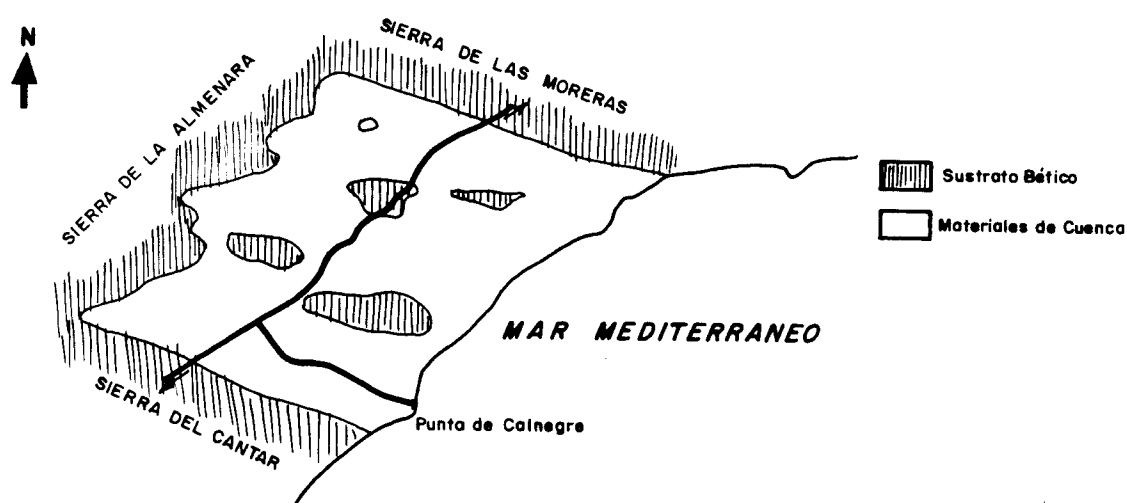
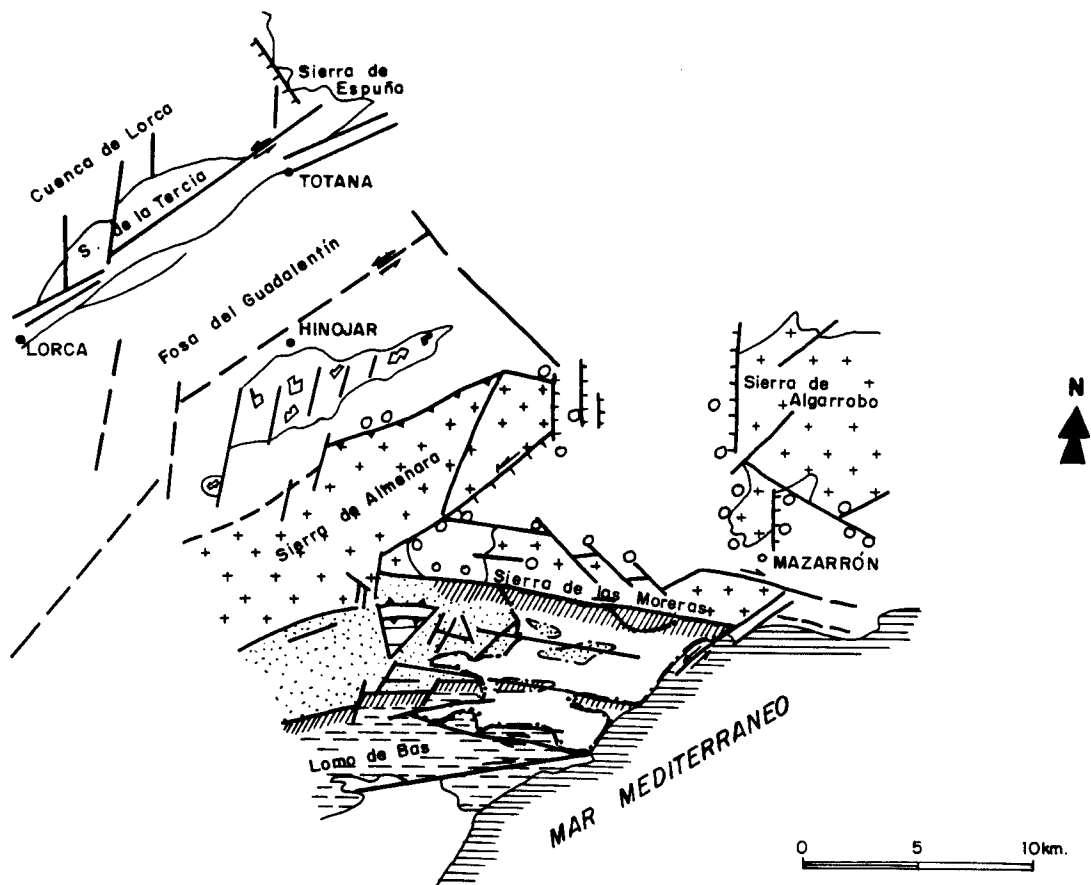


Fig. nº 23.- Disposición de la cuenca de Mazarrón

Posición que a escala regional coincidiría con el modelo de Cuencas Pull-apart establecido para las cuencas de Lorca y de Fortuna-Alhama de Murcia. Coincidiendo las manifestaciones ígneas del borde NE, así como los bordes de la cuenca con la dirección NO-SE de los bordes Nororiental y Suroccidental de la cuenca de Lorca.



- Sustrato Bético indiferenciado
- Sustrato Bético de la zona de Ramonete - Tebar
- Esquistos
- Banda de deformación
- Sedimentos neógenos
- Megabrecha de Hinojar
- Rocas volcánicas
- . . — Limite de la cuenca estudiada.

**Fig. 24** .- Situación geológica de la cuenca de Mazarrón



### 2.3.2. MATERIALES DE BORDE

Los materiales del borde de la cuenca de Mazarrón están representados por rocas de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas, estando presentes el Complejo Nevado Filábride, el Complejo Alpujárride y parte del Complejo Maláquide en la zona de los Urreas, en el extremo occidental de la cuenca.

#### - **Complejo Nevado Filábride:**

Constituye la mayor parte del borde Norte de la depresión, afloran aquí dos series, una primera de edad paleozoica compuesta por micaesquistos con granate, micaesquistos cuarcíticos, esquistos anfibólicos o gneises albíticos, cloritoesquistos, lentejones de mármoles, cuarcitas, diques de diabasas y metabasitas (predominando los micaesquistos claros, cuarcíticos y albíticos); y una segunda serie en contacto mecánico con la anterior y de edad Permo-triásica compuesta por diabasas, esquistos anfibólicos, lentejones de gneises albíticos, micacitas blancas con granates o cloritoides azules, mármoles fajeados y de color crema, y brechas tectónicas. Dentro de esta segunda serie encajan masas de yeso y anhidrita en general bien cristalizados y puros, localmente con textura terrosa.

#### - **El Complejo Alpujárride:**

Constituye fundamentalmente el resto de los materiales del borde de la depresión. En el borde Norte la base del substrato está compuesta por areniscas rojas y pizarras grises con muy bajo metamorfismo, con algunas intercalaciones de cuarcitas claras, diabasas y yesos. En el borde Norte y Noroeste se sitúa además una unidad superior compuesta por una formación de calcoesquistos amarillos y calizas tableadas que alternan con delgados niveles arcillosos y otra formación carbonatada formada por potentes bancos de

calizas crema recristalizadas que en algunos casos llegan a ser verdaderos mármoles. Todos estos materiales son de edad Triásica.

Los bordes Sur y Oeste de la cuenca están constituidos por materiales alpujárrides de edades paleozoicas y triásicas. Las series paleozoicas, bien representadas en estos dos bordes, están compuestas fundamentalmente por una secuencia monótona de cloritoesquistos y micaesquistos grafitosos entre los que se intercalan numerosos bancos de cuarcitas. Las series triásicas presentan filitas, cuarcitas y calcoesquistos en la base y series carbonatadas calizo dolomíticas en la parte media y alta. Dentro de la cuenca se localizan numerosos afloramientos de estas series carbonatadas, las cuales presentan niveles muy fértidos.

- **Complejo Maláquide:**

Sólo se encuentra en un pequeño afloramiento en el borde Oeste de la cuenca y consta de dos tramos, uno basal de areniscas rojo vinosas y un tramo superior calizo-dolomítico muy bréchico de color gris-negro y conglomerados.

- **Rocas ígneas:**

Las rocas ígneas de la zona de Mazarrón se localizan próximas al borde Norte de la cuenca, sin estar directamente relacionadas con ésta, si no mas bien con una depresión vecina que se sitúa al NNE de la cuenca de Mazarrón. Se trata fundamentalmente de rocas volcánicas y subvolcánicas de tipo fisural y edad miocena.

Son fundamentalmente dacitas, riodacitas, tobas y vitrófidios con dacitas masivas con alteración hidrotermal, relativamente cerca del borde Norte se localizan aglomerados y brechas volcánicas lamprofídicas.

Las formaciones masivas presentan disyunciones columnares debidas al enfriamiento. Estas formaciones masivas presentan una gran alteración hidrotermal de muy baja temperatura con silificación y desarrollo de alunita, limolita y jarosita.

### 2.3.3. LITOESTRATIGRAFIA

La serie presente en la cuenca de Mazarrón es muy monótona, siendo difícil su división en unidades. No obstante y gracias a las dataciones realizadas a partir de la microfaua (d'Orb, Blow, Bolli y Bermudez, Tala y Saito y Kennet) hemos diferenciado en la síntesis geológica a escala 1:100.000 tres unidades que exponemos a continuación. Estas unidades comienza por la Unidad 3 ya que se encuentran ausentes sedimentos de las dos unidades neógenas inferiores. (Infraserravallense-Tortonense I) que se han diferenciado en la cuenca de Lorca y en la de Fortuna-ALhama de Murcia.

#### Unidad 3.- Tortonense II - Messiniense I

Se trata de una serie detrítica margo arenosa en la que alternan margas con areniscas y arenas de color amarillento. Las arenas contienen multitud de lamelibranchios y las margas presentan en algunos puntos cristales seleníticos de yeso en punta de flecha en niveles centimétricos o como rosas del desierto. Estos yesos tienen un origen secundario, sin que definan, por tanto, depósito evaporítico alguno.

Conforme nos alejamos de los bordes aumentan los sedimentos finos (margas) en los que alternan niveles centimétricos a decimétricos de arenas que se encuentran eslumplizadas.

Próximas al borde Noroeste se han observado unos bancos de arenas y microconglomerados de matriz areniscosa de colores morados con granuloclasificaciones

normales y laminaciones horizontales. La unidad que estamos describiendo se presenta discordantemente sobre estas arenas, tratándose posiblemente de una discordancia progresiva, lo que nos indicaría un borde activo con rápida subsidencia de la cuenca.

#### Unidad 4.- Messiniense II - Plioceno I

Dentro de la cuenca de Mazarrón no llega a aflorar el Messiniense II quedando aquí por tanto esta unidad reducida al Plioceno, según la datación en base a microfauna realizada por Bolli y Bermudez. Los materiales de esta unidad están representados por conglomerados, areniscas con niveles de lumaquelas y afloran en el extremo Este de la cuenca y en la mitad suroccidental sobre afloramiento de substrato dentro de la misma.

#### Unidad 5.- Plioceno II - Actual

Forman los materiales más modernos de relleno de la cuenca y están representados por conglomerados de cantos angulares y heterométricos de materiales del substrato fundamentalmente de carbonatos y cuarcitas, embebidos en una matriz calcárea roja. Presentan muros erosivos y corresponderían a un depósito de debris-flow. En algunos puntos llegan a formar un glacis. Este nivel tiene poca potencia no llenado a alcanzar los 5 metros.

En esta unidad se incluyen también los cuaternarios aluviales de las ramblas así como los coluviones situados en los bordes de la cuenca.

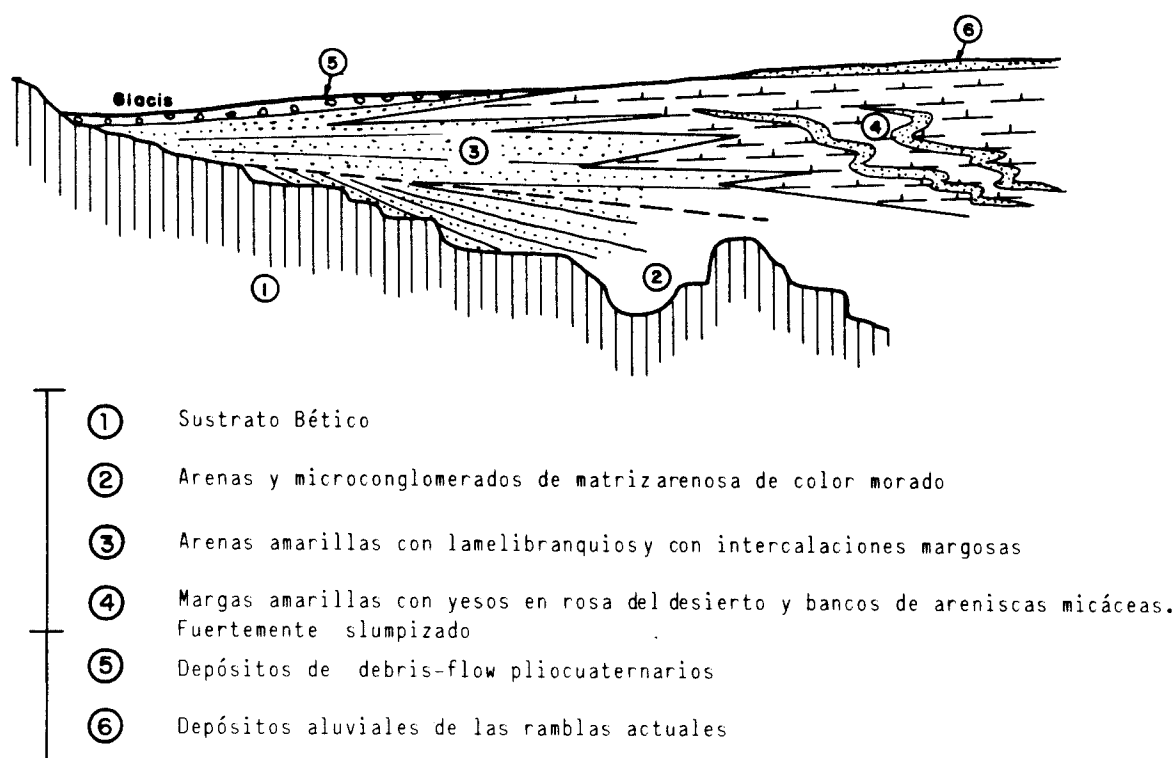


Fig. nº 25.- Esquema litoestratigráfico de la cuenca de Mazarrón

	1	Substrato Bético
TORTONIENSE	2	Arenas y microconglomerados de matriz arenosa de color morado
PLIOCENO I	3	Arenas amarillas con lamelibranquios y con intercalaciones margosas
	4	Margas amarillas con yesos en rosa del desierto y bancos de areniscas micáceas. Fuertemente slumpizadas.
PLIOCENO II -	5	Depósitos de debris flow pliocuaternarios
ACTUAL	6	Depósitos aluviales de las ramblas actuales

#### 2.3.4. TECTONICA

Parece en principio que la cuenca de Mazarrón se limita por bordes activos según dos direcciones una NE-SO y otra N100° lo que coincidiría con la estructuración a escala regional que hemos establecido para las cuencas de Lorca y de Fortuna-Alhama de Murcia.

La posición subhorizontal, buzando ligeramente al SE de las capas podría hacer pensar en una sedimentación tranquila, si bien se observan los siguientes aspectos que indican una inestabilidad importante dentro de la cuenca.

1. La posible discordancia progresiva en el borde NE de la cuenca que indicaría una rápida subsidencia. A esto se contraponen la presencia de numerosos paleorelieves dentro de la cuenca que indican que el relleno de la misma no ha sido de gran envergadura. Aunque cabe la posibilidad de que estos respondan a una tectónica de bloques creada en el interior de la cuenca a partir de su configuración regional.
2. La presencia de numerosos slumps hacia el SE que indican la existencia de pendientes durante el depósito, posiblemente debidas a causas tectónicas.

A pesar de estas observaciones la estructura de los materiales neógenos de relleno de la depresión es simple, presentando las capas una posición subhorizontal buzando levemente hacia el SE.

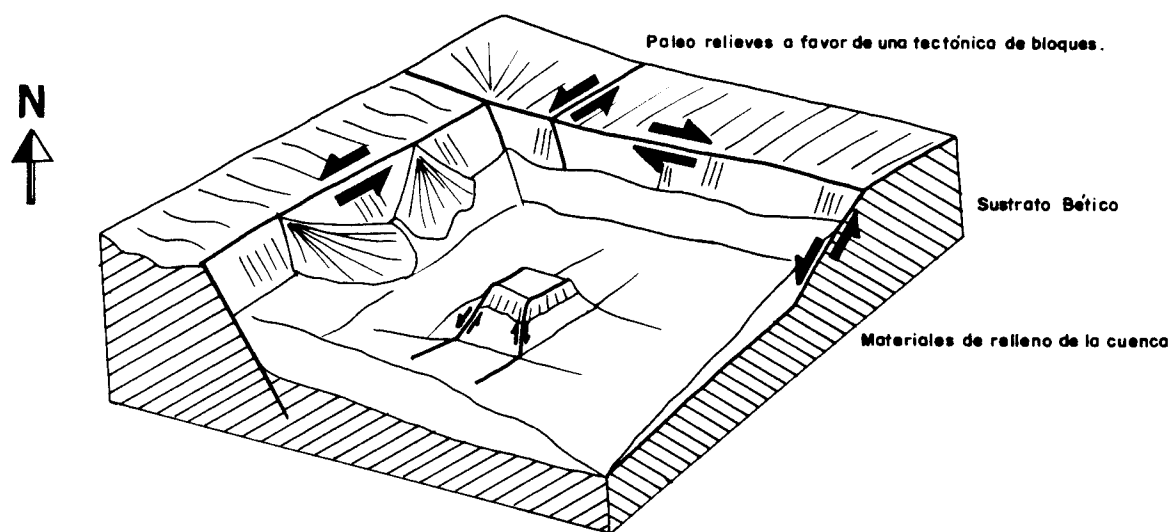


Fig. nº 26.- Esquema tectónico de la cuenca de Mazarrón

### 2.3.5. ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO

#### 2.3.5.1. ESTUDIOS ANTERIORES

El Mapa Metalogénico de España a escala 1:200.000, en su hoja nº 79 (Murcia) sitúa en esta zona dos indicios de azufre nativo de morfología desconocida. Posteriormente, en dos proyectos realizados por ITGE se revisaron dichos indicios. Estos proyectos son:

- Investigación de Pizarras Bituminosas en relación con manifestaciones de azufre.
- Posibilidades de las mineralizaciones de azufre biogénico en la Península Ibérica.

Estos proyectos llevaron a la localización del indicio de la Rambla de Villalba sin que se lograra encontrar el otro. No existen más datos bibliográficos al respecto.

#### 2.3.5.2. DESCRIPCION DE SERIES

Las series neógenas de la cuenca de Mazarrón no presentan grandes variaciones entre si. Estando constituidas por la siguiente sucesión, de muro a techo, en las ramblas de los Tollos y de Pastrana.

- Substrato indiferenciado.- Constituido por calizas y dolomias masivas y fétidas al impacto, con potencia sin determinar.
- Discordantemente sobre este substrato se presenta 55 metros de areniscas de color morado y conglomerados finos con matriz areniscosa con granuloclasificación normal y laminación horizontal.
- Arenas amarillas con abundantes lamelibranquios, hacia el centro de la cuenca pasan, en cambio de facies lateral, a margas amarillentas con niveles areniscosos con abundante mica. Las margas presentan abundantes yesos en rosas del desierto. La potencia observada en este tramo es de unos 25 metros. Las margas con areniscas presentan numerosos slumps.
- Tres metros de arenas y limos amarillos.



- Dos metros de conglomerados de matriz calcárea roja. Los cantos son heterométricos y angulares y se encuentran en el seno de la matriz sin que haya contacto entre ellos; su naturaleza es variada, siendo fundamentalmente cantos de carbonatos y cuarcitas de rocas del substrato bético. El muro de este nivel es erosivo, presentando todas las características de un depósito de debris flow.

### 2.3.5.3. INDICIOS

Se han realizado varios itinerarios geológicos en el objetivo de localizar los indicios 112 y 113 del Mapa Metalogénico a Escala 1:200.000 de Murcia. En estos recorridos sólo se localizó el indicio 113 que ya fue descrito en los proyectos del ITGE:

- Investigación de Pizarras Bituminosas en relación con manifestaciones de azufre.
- Posibilidades de las mineralizaciones de azufre biogénico en la Península Ibérica.

En la memoria de estos proyectos se describe una labor consistente en una galería de 3 metros de longitud que da entrada a un pozo interior de profundidad superior a 15 m. En el exterior de la galería existe otro pozo de 10 m de profundidad y una calicata. En la actualidad el pozo interior se encuentra tapado y la galería de acceso a él parcialmente rellena.

El indicio está enclavado a techo de las areniscas amarillas con abundantes ostreoides y lamelibranquios, en un tramo más margoso con venas de yesos seleníticos que tienen un espesor máximo de 5 cms, oblicuas a la estratificación. A este indicio le correspondió la ficha 976-1 y se le ha denominado Rambla de Villalba. No se ha observado azufre.

La potencia observada de areniscas es de 25 metros y sobre ellas se encuentran niveles de areniscas alternando con otros de yeso blanco pulverulento y cristalizado en punta de flecha en niveles de 2 a 5 cm, donde suponemos encaja la mineralización de azufre. Sobre el conjunto descansa un conglomerado poligénico de cantos heterométricos y angulares de edad pliocuaternaria.

Un corte de la Rambla de Villalba respondería al siguiente esquema:

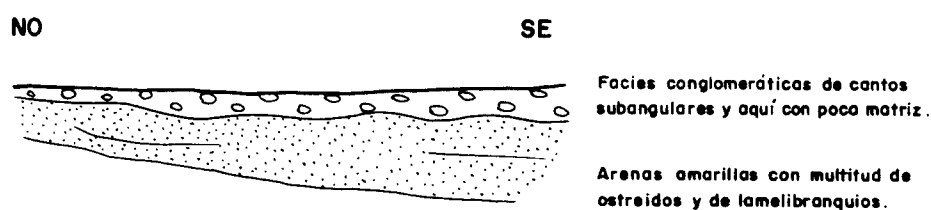


Fig. nº 27.- Corte por la Rambla de Villalba

Un corte por el Barranco de los Tollos responde al siguiente esquema:

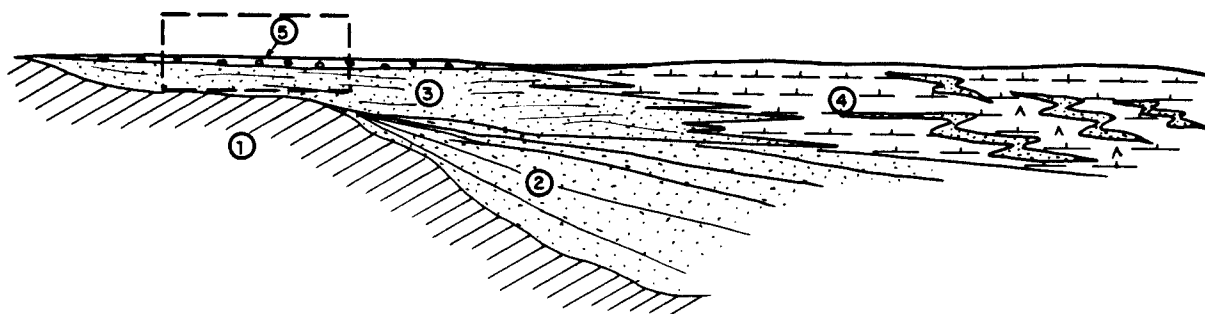


Fig. nº 28.- Corte por el Barranco de los Tollos

1. Substrato del Trías del Complejo Alpujarride (calizas y dolomías masivas fértidas).
2. Areniscas en bancos decimétricos de distintos tamaños de grano, incluso conglomeráticos, color morado a rojo, con granoclasificación normal.
3. Arenas amarillas con abundantes conchas de lamelibranquios y bancos decimétricos de areniscas laminadas.
4. Margas amarillas, limos y areniscas micáceas con yesos en rosas del desierto.
5. Depósitos de debris flow. Conglomerados de abundante matriz micrítica y cantos angulares y heterométricos con algunas granuloclasificaciones inversas.

Con la observación de estos esquemas se ve como el de la Rambla de Villalba es una parte del esquema de la Rambla de los Tollos que quedaría dentro de la ventana señalada.

### 2.3.6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

La cuenca de Mazarrón es una cuenca de orientación aproximada N100° en la que se depositan sedimentos terrígenos arenosos con multitud de organismos, presentando, al alejarnos de sus bordes, facies más finas (margas y limos). En principio parece que se trata de una cuenca con fuerte subsidencia si bien la potencia de sedimentos no parece elevada, posiblemente por la tectónica de bloques a que está sometida, quedando zonas de substrato elevadas que enfatizan los paleorelieves.

No se han observado, ni parece patente al estudiar la cartografía 1:100.000, evidencias de confinamiento de la cuenca, presentando esta por el contrario unas facies siempre abiertas y no pudiéndose por tanto hablar de cuenca confinada o semiconfinada. Por esto no parece en principio probable la existencia de sedimentos ricos en materia orgánica necesarios para la formación del azufre biogénico. Si bien el fuerte olor que desprenden algunas de las rocas del substrato nos hace pensar que una posible fuente de materia orgánica se encuentre fuera del ámbito de los materiales neógenos.

Por otro lado no hay tampoco constancia de la implantación de un medio claramente evaporítico, base del origen biogénico del azufre, siendo todos los niveles de yeso de tipo local e implantados después de la sedimentación en pequeñas zonas extensivas.

De todo lo anteriormente expuesto se desprende que no se trata de una zona de interés potencial en cuanto al azufre biogénico.

Hay que señalar por otra parte y con relación a los materiales del substrato de dos importantes metalotectos que han dado origen a yacimientos que fueron objeto de explotación.

Nos referimos concretamente a la sierra de Almenara donde hay multitud de indicios de óxidos de hierro a los que aparecen asociados algunos de bario (y posiblemente estroncio).

El otro corresponde a la Sierra del Cantar con numerosos indicios y minas de cobre, plomo, cinc y plata en sulfuros y óxidos de hierro. Asociados al vulcanismo de Mazarrón existen también multitud de indicios de plomo-cinc.

### **2.3.7. RECOMENDACIONES**

Esta cuenca no presenta interés para continuar con trabajos futuros la investigación de azufre biogénico.

## 2.4. CUENCA DE CALATAYUD - TERUEL

### 2.4.1. SITUACION GEOGRAFICA - GEOLOGICA

La cuenca de Calatayud-Teruel se sitúa en el ámbito de la Cordillera Ibérica y dentro de las provincias de Zaragoza y Teruel fundamentalmente.

Con una superficie total de unos 3.275 km<sup>2</sup> se encuentra ocupando las siguientes hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000: Illueca (381), Calatayud (409), La Almunia de Doña Godina (410), Ateca (437), Paniza (438), Daroca (465), Moyuela (466), Calamocha (491), Segura de los Baños (492), Oliete (4-93), Monreal del Campo (516), Argenta (517), Montalbán (518), Santa Eulalia (541), Alfambra (542), Villarluego (543), Cella (566), Teruel (567), Terriente (589), La Puebla de Valverde (590), Ademuz (612) y Camarena de la Sierra (613).

La cuenca de Calatayud - Teruel se puede dividir en dos subcuencas, la primera, al Norte, denominada de Calatayud - Montalbán, presenta una forma elongada con una orientación NO - SE; y la segunda, fosa de Teruel - Alfambra, presenta una forma de huso con una orientación NNE - SSO. Ambas subcuencas enlazan en sus extremos Sur y Norte a la altura de Monreal del Campo.

El conjunto de ambas subcuencas se encuentra flanqueado por la sierra de Albarracín y las Parameras de Molina al Oeste, por la Sierra de Javalambre al Sur y por las Sierras de Vicor, Cucalón y Gudar al Este. Estando separadas entre sí por las Sierras de Palomera y San Just.

Orográficamente la zona presenta dos áreas bien diferenciadas. Al Norte de Daroca el relieve está generalmente por debajo de los 900 m.s.n.m. y surcado por valles de laderas acarcabadas. Al Sur de Daroca los valles se ensanchan y los

flancos se suavizan, a excepción de los páramos calizos que coronan los depósitos terciarios. La cota media es aquí superior a los 1000 metros.

Los principales accidentes hidrográficos son los ríos Jiloca, Alfambra y Jalón, y con menor relevancia en la zona los ríos Turia, Huerva, Aguasvivas, Perejiles y otros. Debe señalarse que las cuencas fluviales solo coinciden con los depósitos terciarios estudiados parcialmente.

Los principales núcleos de población con categoría de cabecera de comarca son Calatayud, Daroca, Calamocha, Teruel y Montalbán. Otros menos importantes son Ateca, Monreal, Cella, Alfambra y multitud de pequeños núcleos rurales.

En cuanto a comunicaciones la principal vía es la carretera Nacional 330 de Zaragoza a Teruel, hacia el Sur la Nacional 420, Tarragona-Cuenca. Hacia la mitad de la depresión confluyen a la primera la N211 procedente de Madrid y la Nacional 234 de Calatayud a Teruel. La red secundaria es de una densidad y calidad aceptable dando fácil acceso a la mayoría de las localidades.

Conviene destacar además la existencia de las líneas férreas Calatayud-Sagunto y Madrid-Zaragoza además de algunos ferrocarriles mineros hoy desmantelados.

En relación con su marco geológico la cuenca neógena de Calatayud-Teruel se localiza en el ámbito de la cordillera Ibérica. Esta es una cadena intracontinental orientada NO-SE, limitada por las cuencas terciarias del Tajo (al SO), el Duero (al NO) y el Ebro (al NE).

En este estudio la cuenca de Calatayud - Teruel se ha dividido en tres subcuencas, en sentido geológico, que son de Norte a Sur, la cuenca de Calatayud-Montalbán, que con una dirección NO-SE, es paralela a las directrices ibéricas; la cuenca Calamocha-Teruel de dirección aproximada NNO-SSE y la cuenca de

Teruel-Alfambra que con una dirección NNE-SSO es claramente oblicua a las directrices de la Cordillera Ibérica.

La separación entre la depresión de Calatayud-Montalbán y las otras dos estudiadas se debe a un complejo accidente transversal Monreal-Montalbán, oculto, al Oeste, por los depósitos pliocuaternarios y manifestado al Este por el cabalgamiento de Utrillas que sin duda tiene sus raíces en él.

La dirección de la Fosa Teruel-Alfambra parece deberse a un conjunto de estructuras de dirección NNE-SSO con las que coincide la depresión del Turia y que dentro de la cuenca parece definir ambientes sedimentarios distintos.

Las manifestaciones de azufre se localizan en el sector de Libros, que se ubica en el extremo Sur de la denominada Fosa de Teruel-Alfambra. Estas manifestaciones de azufre fueron intensamente minadas a principios de siglo.

#### **2.4.2. LOS MATERIALES DEL BORDE**

El substrato ibérico es el resultado de la superposición de dos grandes unidades estructurales, una hercínica y otra alpídica separadas por la discordancia pretriásica.

Las estructuras debidas al ciclo hercínico se ven posteriormente afectadas por el alpidico, llegando ambos a ser difíciles de diferenciar.

Los materiales que bordean a la depresión de Calatayud-Montalbán son Paleozoicos como también lo son, en parte, los del margen Oeste de la depresión del Alto Jiloca, siendo mesozoicos los bordes de la depresión de Teruel-Alfambra.

Las diferencias litológicas y su evolución tectónica han condicionado los depósitos terciarios.



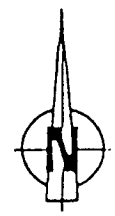
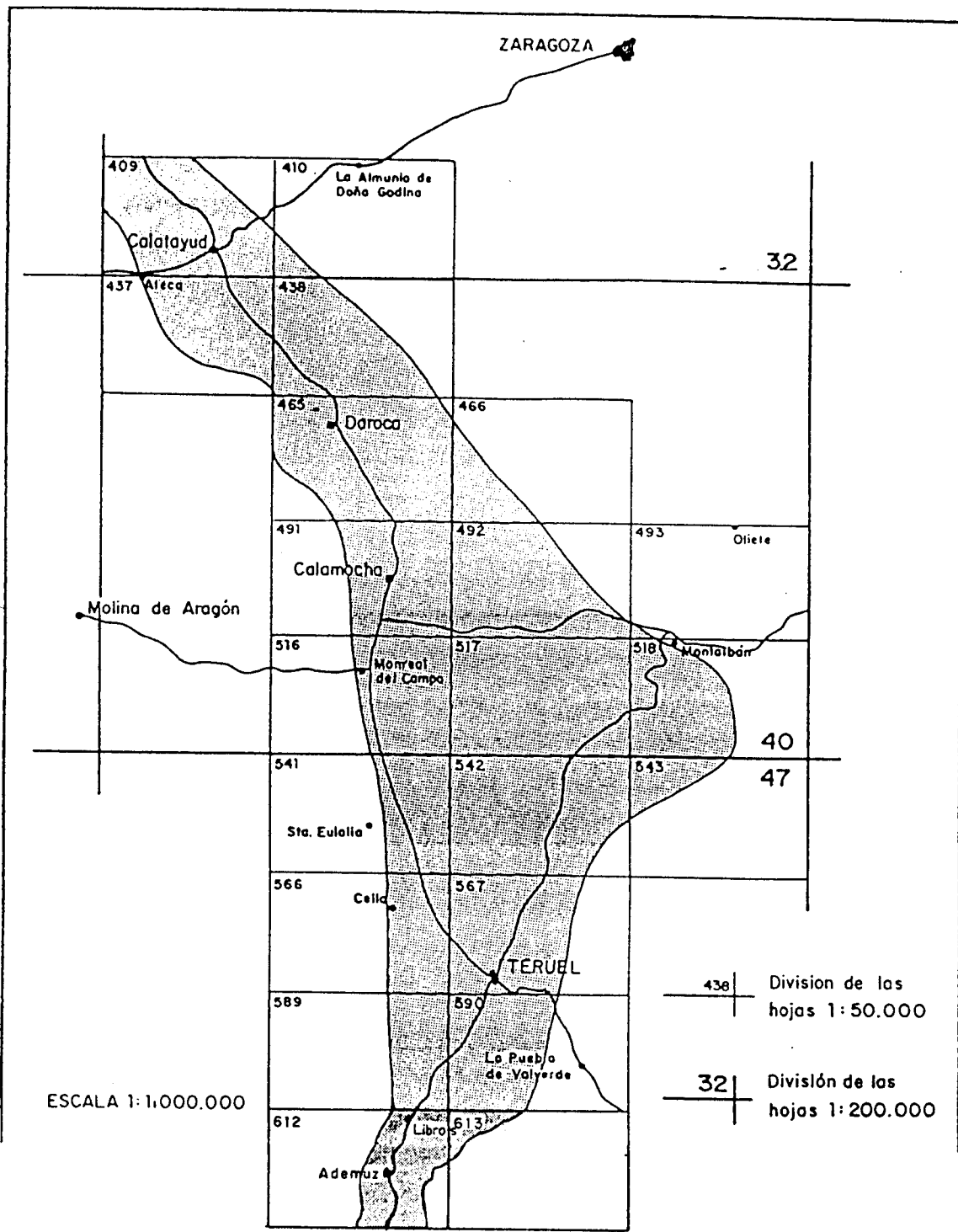


FIGURA 29.— PLANO DE SITUACION DE LA CUENCA DE CALATAYUD-TERUEL

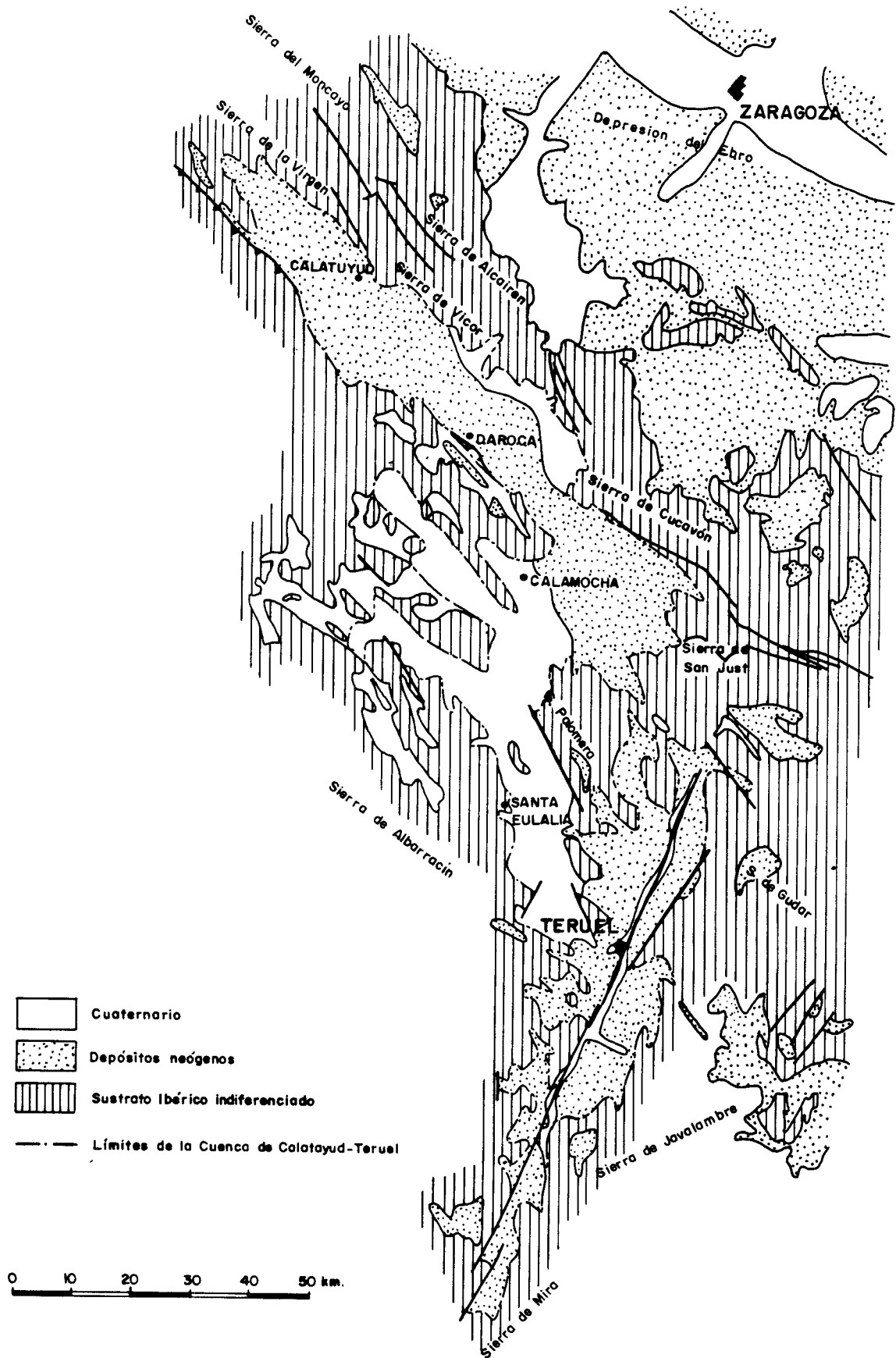


Fig. 30. - Situación geológica de la cuenca de Calatayud - Teruel

Los materiales de las unidades hercínicas según Lotze et al, se ajustan al esquema que resumimos a continuación:

- Precámbrico: Pizarras de Paracuellos (filitas y ortocuarcitas en la base).
- Cámbrico: El Cámbrico Inferior se constituye de muro a techo por las cuarcitas de Bámbola en la base; las capas de Embid que están formadas por una secuencia de pizarras, grauvacas y arcosas y las capas abigarradas del Jalón formadas por materiales detríticos, calizas y dolomías.

El Cámbrico Medio se divide en: las dolomias con margas pizarrosas de Ribota; las pizarras de Herrerueta las cuarcitas de Daroca con intercalaciones de areniscas y pizarras y las capas de Murero constituidas por rocas detríticas finas con abundantes trilobites.

El Cámbrico superior por su parte se divide en, las capas de Villafeliche (margas, areniscas y calizas), la serie flyschoides pizarrosa de Jiloca y las capas de Ateca formadas por pizarras y cuarcitas.

- El Ordovícico está representado por una secuencia en cuya base se encuentra la cuarcita armoricana seguida de pizarras, areniscas y grauvacas del Llandeilo sobre las que se sitúa una serie de areniscas, cuarcitas y dolomías a techo.
- El Silúrico presentan en su base grauvacas, pizarras y cuarcitas. El Silúrico medio está representado por la formación Bádenas que está constituida por pizarras arcillosas con algunas cuarcitas. El Silúrico superior es una serie de pizarras y areniscas.

- Devónico: En la base una serie detrítica pizarrosa con alguna cuarcita y caliza, sobre la que se sitúa el Devónico Superior representado por calizas, areniscas y pizarras.
- Carbonífero inferior con liditas, pizarras, grauvacas, cuarcitas y un flysch, sobre él se encuentra el Carbonífero medio formado por un flysch arenoso.
- El Permico presenta rocas volcánicas de composición dacítica y riolítica que deben corresponder a un vulcanismo producido a favor de fracturas tardihercénicas. También cerca de los bordes hay algunos pequeños afloramientos de ofitas.

En cuanto a los materiales mesozoicos que limitan a las dos subcuencas Calamocha-Teruel y Teruel-Alfambra están representadas por la siguiente serie:

- Triásico, constituido por los siguientes términos:
  - . Bundtsandsstein: areniscas rojas con algunas arcillas y conglomerados en la base.
  - . Muschelkalk: calizas y dolomías con margas a techo y muro.
  - . Keuper: arcillas abigarradas, margas rojas y yesos.
  - . Rhetiense: carniolas, calizas dolomíticas y dolomías brechoides.
- El Jurásico está representado por: en la base (Lias inferior) calizas compactas en bancos decimétricos y dolomías. El Lías superior por una alternancia de calizas organógenas y margas; en el tramo inferior con fauna nerítica y más profunda en el tramo superior. El Dogger está representado por un conjunto de calizas y dolomías con escasa potencia.

El Malm es un complejo calcáreo con intercalaciones margosas y areniscas en la base.

- El Cretácico, en su base, presenta las facies weald de areniscas blancas, margas rosadas y arcillas, con fauna somera. Sobre estas se sitúan las facies urgonianas de calizas detríticas y margas grises con fauna litoral y caráceas. El Albiense está constituido por la Formación Escucha en la base, que es una formación lignitífera, margo - arenosa - arcillosa, y la Formación Utrillas, caolinífera, de arenas cuarzo feldespáticas. Los pisos superiores están formados por rocas carbonatadas fundamentalmente calizas con algunas dolomías en el Senoniense y calizas y margas blancas que constituyen las facies Garum.

#### **2.4.3. LITOESTRATIGRAFIA Y CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS DEPOSITOS**

Los materiales terciarios que constituyen la cuenca de Calatayud - Teruel se agrupan en las siguientes series:

- **Paleoceno** Está representado en el borde oriental por una formación calcárea de escasa potencia, con fauna de edad Daniense que corona el depósito senoniense en concordancia; ocasionalmente esta formación calcárea presentan intercalaciones de arcillas rojas.
- **Eoceno** Comienza con una serie continental paraconforme con su basamento. Es conglomerático en la base y hacia los bordes mientras que hacia el centro y techo pasa a facies distales con episodios palustres y lagunares que dan lugar a depósitos arenoarcillosos con algunos yesos y un nivel carbonatado a techo que termina en una alternancia margo - caliza que en algunos sitios presenta lignitos sapropélicos.

- **Oligoceno** No presenta una discordancia visible con el Eoceno y es la continuación de este por reactivación de la cuenca. En su parte inferior es conglomerático rojizo con arcillas y areniscas intercaladas, en su tramo medio presenta facies evaporíticas y carbonatadas con calizas lacustres y sílex para volver a ser conglomerático a techo. Al Norte de Calatayud está representado por margocalizas en la base que progradan a facies detríticas más groseras.
  
- **Mioceno** La cuenca Neógena está más estructurada en cuanto a que comienza la definición de las dos depresiones principales objeto de estudio (Teruel - Alfambra y Calatayud - Calamocha - Montalbán). Comienza con un depósito de calcarenitas, elaborado a partir de los relieves levantados por la fase principal alpina, es abiertamente discordante sobre lo anterior y su depósito se extienden a todo el Mioceno Inferior.

De los bordes al centro y de abajo a arriba, así como de NE a SO presenta una sucesión de conglomerados basales, arcillas rojas, calizas margosas, calizas magnesianas blancas, yesos sacaroideos, calizas y margas lacustres con algún nivel de lignito.

Las formaciones de colmatación del Mioceno están caracterizadas por sus variaciones de facies en la horizontal y en la vertical.

Horizontalmente, los materiales se disponen en aureolas concéntricas, en la periferia de las cuencas y al pie de los relieves marginales se localizan las facies detríticas groseras, verdaderas brechas de contacto de los abruptos márgenes, luego conglome-

rados con elementos cuarcíticos y pizarrosos débilmente desgastados, en la zona intermedia aparecen areniscas y, sobre todo, margas y arcillas rojas: el centro de la cuenca está ocupado por las formaciones finas y las evaporitas (calizas, margas claras y rojas y yesos).

En sentido vertical, las variaciones de facies, en el centro de la cuenca, permiten distinguir, para finales del Mioceno dos etapas paleogeográficas:

- a) En un primer estadio, los yesos se acumulan en dos cubetas muy localizadas, una en las cercanías de Calatayud y otra al SE de Calamocha. Los yesos, con potencias entre 200 y 300 metros como mínimo, en el centro de las cubetas, pasan lateralmente y con mucha rapidez a margas rojas.

Cuando estos yesos rebasan cierto espesor crítico, se ven afectados por plegamientos no dirigidos de tipo halocinético.

- b) En la parte culminante de las series, unas calizas sustituyen bruscamente a los yesos. No se trata de calizas masivas, sino de una alternancia regular de capas calcáreas compactas y de margas, a veces amarillas o anaranjadas, a veces rojas; capas de sílex aparecen episódicamente en las calizas (Sierra de los Amantes). Las calizas se extienden mucho más ampliamente que los yesos, ya que estas corresponden a la máxima extensión espacial del relleno ascendente.

Uno de los rasgos más característicos es la extrema rapidez de los cambios de facies laterales, pasando en unos cent-

nares de metros de los conglomerados a las formaciones finas y evaporíticas lo que indica la pérdida brusca de la capacidad de transporte de los torrentes y mantos de arrollada al abandonar los relieves, rasgo significativo de un clima semiárido. El endorreísmo de la cuenca durante el Mioceno debió ser por tanto conjunción de factores tectónicos y climáticos.

Un examen de detalle de los yesos, nos muestra la alternancia de lechos de cristales con otros de margas arcillosas de color verdoso cuya decantación precedió a la precipitación de las sales por desecación según ritmos climáticos cortos.

El Mioceno superior (Vallesiense-Turolense) se deposita bilateralmente en las dos depresiones principales, Calatayud - Calamocha - Montalbán y Teruel - Alfambra, si bien con preferencia en esta última donde además de los depósitos detríticos marginales (conglomerados y areniscas), presenta arcillas rojas, yesíferas hacia el centro, y en la parte alta de los ciclos, potentes bancos de calizas lacustres blancas.,

Al contrario que durante el Mioceno Medio, la regularidad y extensión de estos bancos calcáreos inducen a pensar en unos ambientes lacustres mucho más extendidos, en los que precipitarían lodos calcáreos en aguas saturadas de bicarbonato. Los conglomerados marginales tienden a progresar más lejos hacia el centro de la cuenca, a pesar de la reducción de desniveles, lo que ha sido interpretado como una disminución de la acidez, llegando en ocasiones a alcanzar



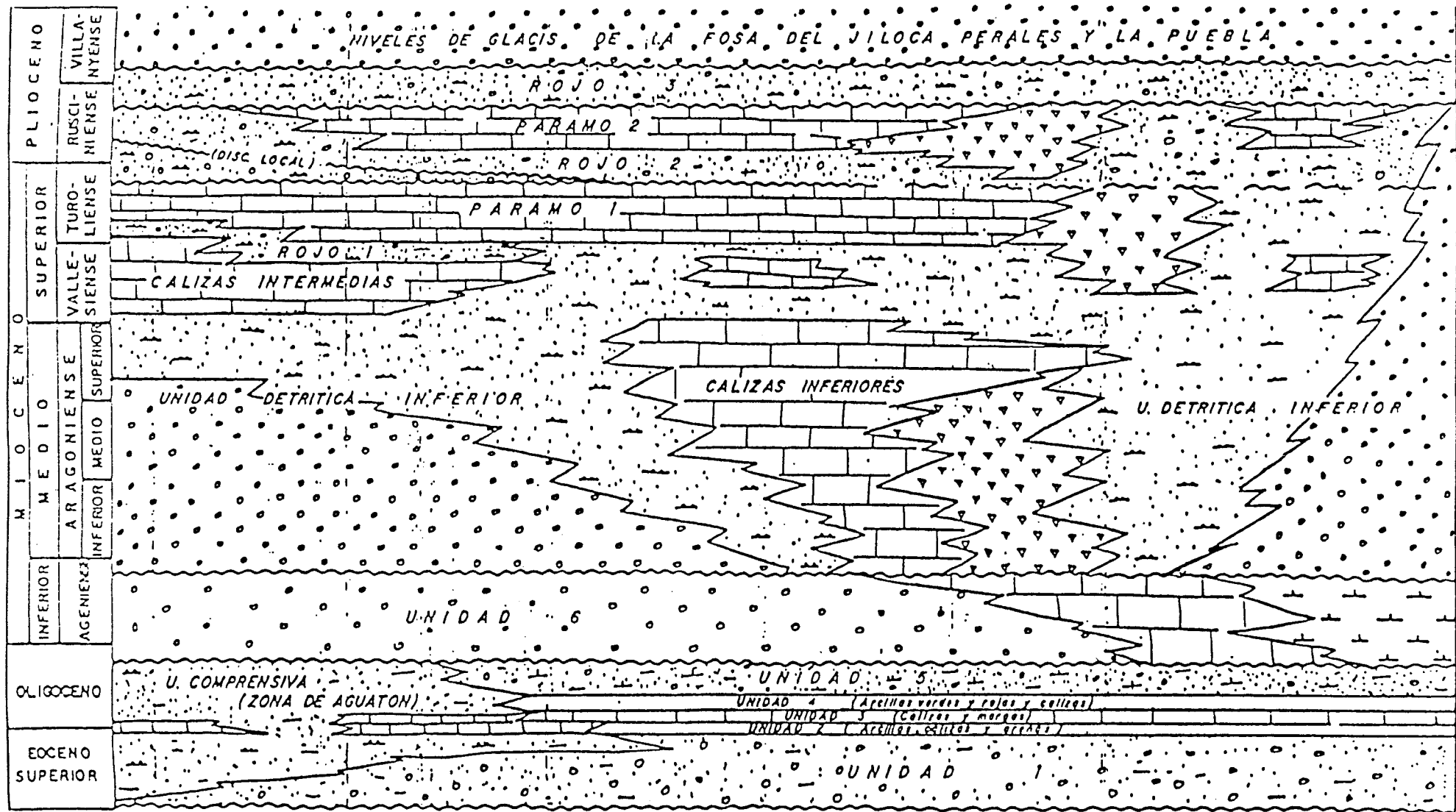
estos el centro de la cuenca encontrándose en el seno de las calizas.

- Durante el Plioceno las condiciones de depósito continúan con un nuevo ciclo en ambas depresiones que termina en unas calizas (llamadas Páramo 2). Al mismo tiempo, se produce un basculamiento y como consecuencia del rejuvenecimiento de los relieves se deposita una nueva serie detrítica discordante. Este último depósito tiene lugar fundamentalmente en la fosa de Teruel - Alfambra, mientras que la de Calatayud - Calamocha tan solo registra el páramo citado, posibilitado por el rejuego del borde oriental de la cuenca.
- Los depósitos más recientes se depositan discordantemente, como las rañas rojas de los glaciares que rellenan la tardía depresión del alto Jiloca y el Norte de la depresión de Teruel - Alfambra.

#### 2.4.4. LITOESTRATIGRAFIA DEL SECTOR DE LIBROS

El Mioceno (Vindoboniense - Pontiense) se ha dividido en varios tramos en la zona de estudio que atienden a la litología y/o posición estratigráfica. Estos tramos son de muro a techo: Serie Inferior constituida por calizas y margas, Serie Roja, Serie Blanca Inferior, Calizas de Bolage, Serie Blanca Superior, Tramo Mixto y Calizas de Santa Bárbara (tradicionalmente llamadas Páramo 1), Arcillas Rojas y calizas o Páramo 2.

- **Serie Inferior:** Está constituida por una alternancia de margas y calizas que se encuentra directamente sobre el substrato. Formada por calizas blancas y margas rosadas, blancas y grises con niveles carbonosos. Esporádicamente contiene areniscas en el muro. Incluye niveles de 1 metro de margas laminadas, similares a "paper shale" y margas fétidas. Los afloramientos



DISTRIBUCION ESQUEMATICA DE LAS FACIES DEL TERCIARIO CONTINENTAL EN LAS CUENCAS DE CALATAYUD (ZONA DE DAROCA-CALAMOCHA) Y (TERUEL-ALFAMBRA)

FIGURA-31

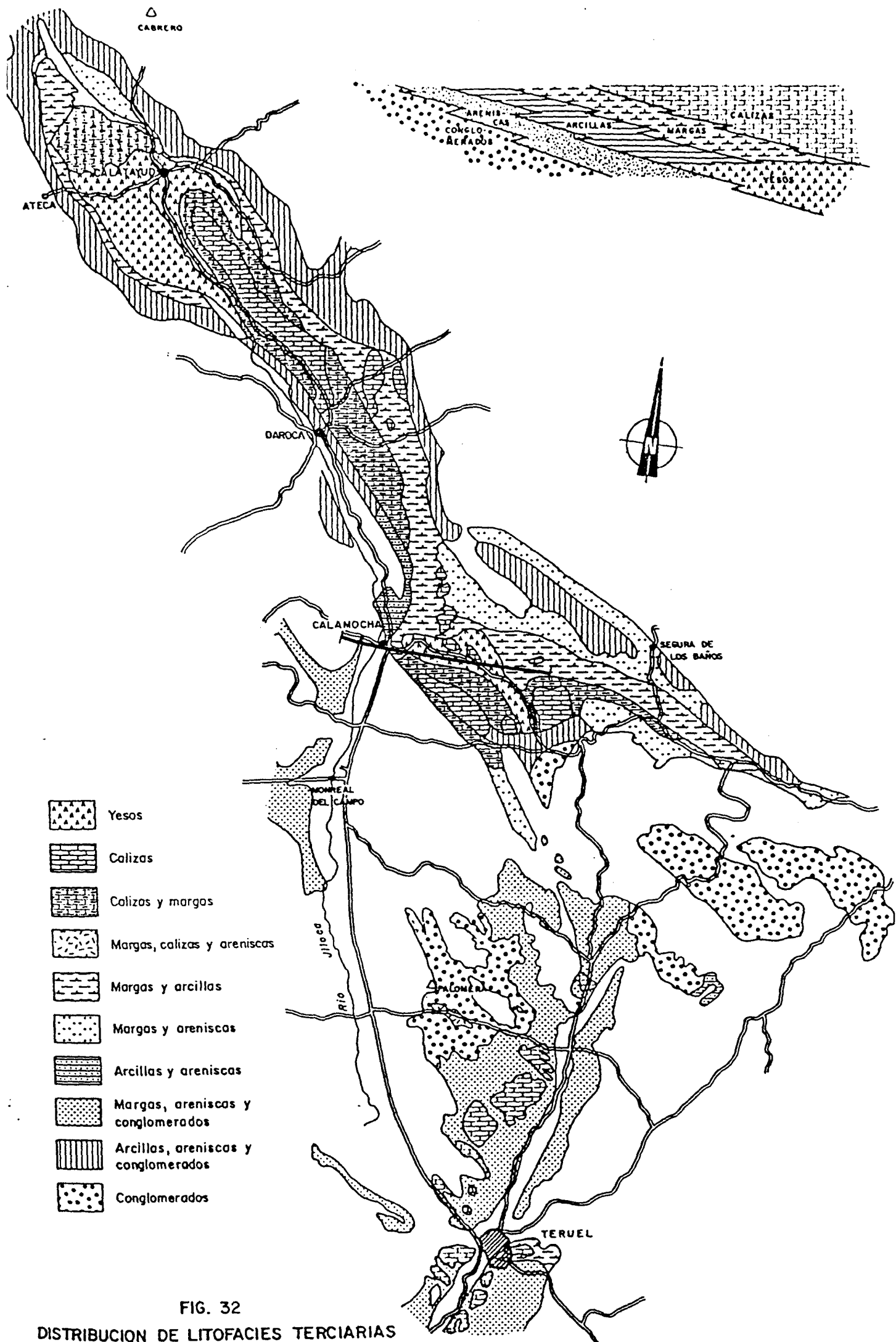


FIG. 32  
 DISTRIBUCION DE LITOFACIES TERCIARIAS  
 Escala 1:500.000

tos de estos niveles se encuentran en la carretera de Tramacastiel y en la desembocadura de la Rambla de la Naveruela. En los proyectos de pizarras bituminosas realizados por el ITGE en esta zona las destilaciones cualitativas de estos niveles laminados dieron resultados negativos.

- **Serie Roja:** Presentan un marcado color rojo y está constituida por arcillas, areniscas y conglomerados, tiene una potencia observada de hasta 150 metros. En su parte inferior es esencialmente conglomerática con abundantes paleocanales mientras que hacia arriba dominan las facies detríticas finas (arcillas y areniscas) que representan facies de llanura de inundación. Se trata de una formación fluvial depositada en condiciones oxidantes y con desarrollo de facies de canal y de llanura de inundación. Presenta algunos niveles de yeso de entre unos decímetros a 2 metros que se sitúan hacia el techo de la formación en una secuencia "Thickening upward".

El conjunto no presenta interés en si mismo debido a que se depositó en ambiente oxidante, si bien su interés puede estar en que los niveles areniscosos y conglomeráticos presentan una permeabilidad relativa alta con respecto a los demás materiales de la serie, lo que facilitaría el paso de soluciones mineralizante hacia otras formaciones. Esta permeabilidad está no obstante, restringida debido a que los niveles arcillosos impermeables que se intercalan entre los detríticos gruesos limitan la circulación de fluidos a estos últimos y paralelamente a la estratificación.

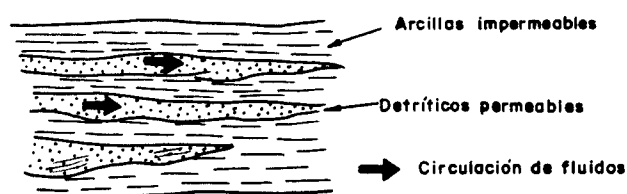


Fig. n° 33.- Esquema de circulación de fluidos en la Serie Roja.

La Serie Roja se pierde en algunos puntos de la cuenca debido a la existencia de paleorrelieves que también son la causa de buzamientos originales y discordancias angulares dentro de ella.

- **Serie Blanca Inferior:** Con un espesor entre 0 y 80 metros está constituida por margas blancas y rojas y margocalizas con algunos niveles calizos. La litología es variable según el área a considerar. Una columna tipo en el sector central, serían: 20 metros de margas blancas, 40 metros de margas rojas y 20 metros de margas y margocalizas blancas. En otras zonas desaparecen las margas rojas y el conjunto se hace más carbonatado, incluyendo niveles de yeso en la base. En la zona Sur está representado únicamente por margas rojas.

Esta serie se dispone bien sobre la Serie Roja o sobre el substrato.

En algunos puntos de esta serie se localizan niveles de margas finamente laminadas.

- **Calizas de Bolage:** Se trata de un conjunto de potencia variable, alcanzando hasta 60 metros de calizas pardas y blancas (algunas de ellas fétidas), calizas travertínicas, calizas intraclásticas, calcarenitas y calizas con pequeñas cavidades. Constituyen el muro de la Serie Blanca Superior, donde se localizan los niveles kerogénicos y los yesos con azufre. Su localización está fuertemente condicionada por el paleorrelieve, desapareciendo al Sur de río de Riodeva.

Los niveles fétidos fueron analizados cualitativamente en un proyecto de pizarras bituminosas realizado por el ITGE en la zona, sin que se obtuviesen resultados positivos.

- **Serie Blanca Superior:** Está constituida por yesos, margas blancas y ocreas, margas yesíferas, laminitas, diatomitas, lentejones de shert, y niveles de yeso metasomatizados a calizas y azufre. En ella se sitúan todos los indicios de azufre observado y las explotaciones de azufre de Libros.

Las laminitas intercalan algunos niveles centimétricos de yeso y presentan numerosos restos de organismos superiores. Asociados a estas laminitas se intercalan bancos de aproximadamente 1 m de yeso con caliza y azufre o enteramente transforma-

dos a caliza. Este tramo llega a alcanzar los 25 metros de potencia, presentando a techo un potente nivel evaporítico de yesos alabastrinos y sacaroideos que también presentan nódulos de azufre, y niveles de calizas travertínicas.

La serie Blanca Superior alcanza hasta 110 metros de potencia, en conjunto, en algunos puntos.

Al Sur del río de Riodeva no aparecen yesos, siendo la litología de margas verdes, grises, pardas y blancas a veces laminadas, y de margocalizas que incluyen niveles de lignito. Estos suelen presentar en el muro estructuras de paleocanales anchos y poco profundos. La potencia media del conjunto es de 20 a 30 metros. Es en este tramo donde se efectuaron explotaciones de lignito para abastecer las minas de azufre de Libros durante la primera etapa de su explotación.

La Serie Blanca Superior culmina en ocasiones con un nivel de 10 a 20 metros de potencia de calizas blancas con gasterópodos que dan paso al Tramo Mixto.

- **Serie de yesos de Cascacante del Río:**

Al Norte de la zona de Libros aparece, sobre la Serie Roja, esta formación ampliamente extendida y que corresponde lateralmente con las series

descritas anteriormente (Serie Blanca Inferior, Calizas de Bolage y Serie Blanca Superior).

Está compuesta por capas de yeso, niveles de arcilla y bancos de calizas, alternando con arcillas yesíferas y arcillas arenosas; llega a alcanzar una potencia de 100 metros.

Hacia la base de esta formación existe un tramo laminado de color pardo a gris oscuro y fétido en ocasiones, cuyo espesor varía de uno a 7 metros de margas carbonosas que se extienden de forma discontinua.

- **Tramo mixto:**

Está constituido por arcillas y margas con pasadas de calizas y areniscas en proporción variable según la zona; predominantemente arcilloso, presenta bancos de areniscas, margas o calizas pardas con gasterópodos. Tiene un color rojo anaranjado oscilando su potencia en torno a los 60 metros.

Tiene en si mismo poco interés desde el punto del azufre, aunque se han descrito algunos niveles de pizarras bituminosas entre el Pajar Blanco y el Cuerno del Pinar.

Sin embargo si es importante dentro del contexto, ya que por su naturaleza fundamentalmente arcillosa se trata de un nivel impermeable justamente encima y discordantemente de la serie evaporítica y kerogénica, sellando los yesos y pudiendo rete-



ner las soluciones mineralizantes, dándole tiempo a estas para la metasomatosis de los sulfatos.

- **Calizas de Santa Bárbara:**

Están constituidas por unas calizas pardas y blancas con abundantes gasterópodos. Tienen una gran continuidad formando el llamado Páramo 1, y alcanzan una potencia de hasta 100 metros. Localmente presentan intercalaciones de niveles margosos y arcillas.

- **Arcillas rojas:**

Forman un conjunto de arcillas rojas con intercalaciones de conglomerados y areniscas también rojas.

Llega a alcanzar una potencia de 40 metros.

- **Calizas (Páramo 2):**

Están constituidas por una serie de calizas, calizas arcillosas y margas y arcillas grises verdosas hacia la base.

Estos dos últimos niveles no se encuentran en la zona de Libros, presentándose hacia el Norte.

- **Abanicos aluviales:**

Se localizan en la zona al Norte de Libros y están fundamentalmente constituidos por un conjunto de color rojizo que descansa discordantemente sobre las formaciones más antiguas.

A escala regional se pueden distinguir los sedimentos gruesos de las zonas proximales y en las facies distales términos de llanura de inundación. Están datados en el tránsito Mioceno-Plioceno y tienen una procedencia septentrional.

- **Pliocuaternario:** Está constituido por arcillas, areniscas y conglomerados de color rojizo con paleocanales. Se deposita discordantemente sobre el resto de la serie, incluidos los del substrato. Su potencia es muy variable pudiendo llegar a alcanzar los 50 metros.

#### **2.4.5. TECTONICA. EVOLUCION TECTOSEDIMENTARIA**

La depresión de Calatayud-Calamocha-Montalbán se esboza como consecuencia de al menos tres fases orogénicas postestampienenses que han fragmentado el zócalo paleozoico a lo largo de accidentes longitudinales. El estudio de la falla inversa de Daroca y la disimetría de facies parece datar una fase compresiva al final del Burdigaliense a consecuencia de la cual llegan a ser cabalgantes los depósitos vindobonnienses del sector.

La depresión tiene, en general, una estructura de bloques basculados y hundidos al NE y todo parece indicar que durante el Paleógeno los movimiento de compresión hicieron funcionar la zona como un anticlinal de fondo, con escasos depósitos; de hecho los únicos depósitos de esta edad se localizan en el SE de la depresión y en la fosa de Teruel-Alfambra, pero en ambos casos parece que se trata de surcos sinclinales heredados del Mesozoico más o menos reactivados durante la fase Pirenaica.

La depresión de Teruel-Alfambra por su parte es oblicua a la dirección de plegamiento y disimétrica en cuanto al depósito, con fallas normales en relevo que delimitan el flanco oriental, de dirección NNE-SSO coincidiendo con la traza de Río Turia y que dentro de la cuenca parecen definir ambientes sedimentarios distintos. Por otro lado el borde occidental de esta depresión se presenta difuso ante la fosilización discordante y parcial del macizo mesozoico que sirve de borde y basamento, al tiempo que de separación de la depresión del alto Jiloca. Esta depresión de Teruel-Alfambra parece haber funcionado independientemente de la de Calatayud-Calamocha-Montalbán, permaneciendo durante el Mioceno medio sin apenas depósitos, posiblemente porque es este momento actuó como zona levantada por despegue de su cobertera mesozoica, en cuyos surcos se habrían depositados los sedimentos paleógenos.

El Pontiense (Messiniense) supone para ambas depresiones una calma distrófica general con peneplanización y evacuación de las sales al mar, calma que termina con nuevas deformaciones (Rodánicas) que hunden la depresión de Teruel formando suavemente el páramo finipontiense (Páramo 1) dando lugar al depósito discordante de un nuevo páramo (Páramo 2). Estos movimientos postpontienses tuvieron poco relieve y no son causa de depósitos detríticos de importancia.

Un resumen general de la evolución muestra que, tras la precoz emersión definitiva que tienen lugar al final del cretácico por el levantamiento de ejes anticlinales y sinclinales de dirección NO-SE, las cubetas sinclinales se rellenan, a partir de entonces, de formaciones continentales de facies cambiantes en las que se han reconocido el Oligoceno, Eoceno y Paleoceno. Esta primera secuencia continental está muy presente en los bordes Norte y Sur del conjunto de las depresiones y escasamente en el interior, en forma de algún afloramiento discontinuo al Norte de Teruel.

El Mioceno se sitúa discordante con una evolución postorogénica en la que en una primera fase de distensión aerea el macizo plegado y abre en él, a partir del

Mioceno Inferior y Medio, fosas direccionales (Calatayud-Montalbán) o transversas (Teruel-Alfambra). Con subsidencia variable, se rellenan con formaciones continentales muy potentes en las que las facies se disponen como aureolas concéntricas. En la proximidad de los bordes flexurados y fallados predominan las formaciones detríticas rojas conglomeráticas y arenosas, dispuestas en lentejones y canales torrenciales superpuestos. Hacia el centro dominan las facies de llanura de inundación, arcilloso-arenosas con sedimentos calcáreos por último las facies palustres con calizas tableadas, travertinos y lentejones carbonosos, y las facies lacustres de margas y calizas con gasterópodos y evaporitas.

Tras el depósito del Páramo I o calizas de Santa Bárbara se produce su basculamiento y depósito discordante del Páramo 2, al que se le ha dado una edad Plioceno Inferior y Medio, por restos de vertebrados. Esto indica la persistencia en esta época de una sedimentación residual caliza a favor de accidentes, cuyo acentuado rejuego posterior da lugar a las masas detríticas finipliocenas más restringidas hacia los bordes y que constituyen la tercera serie continental.

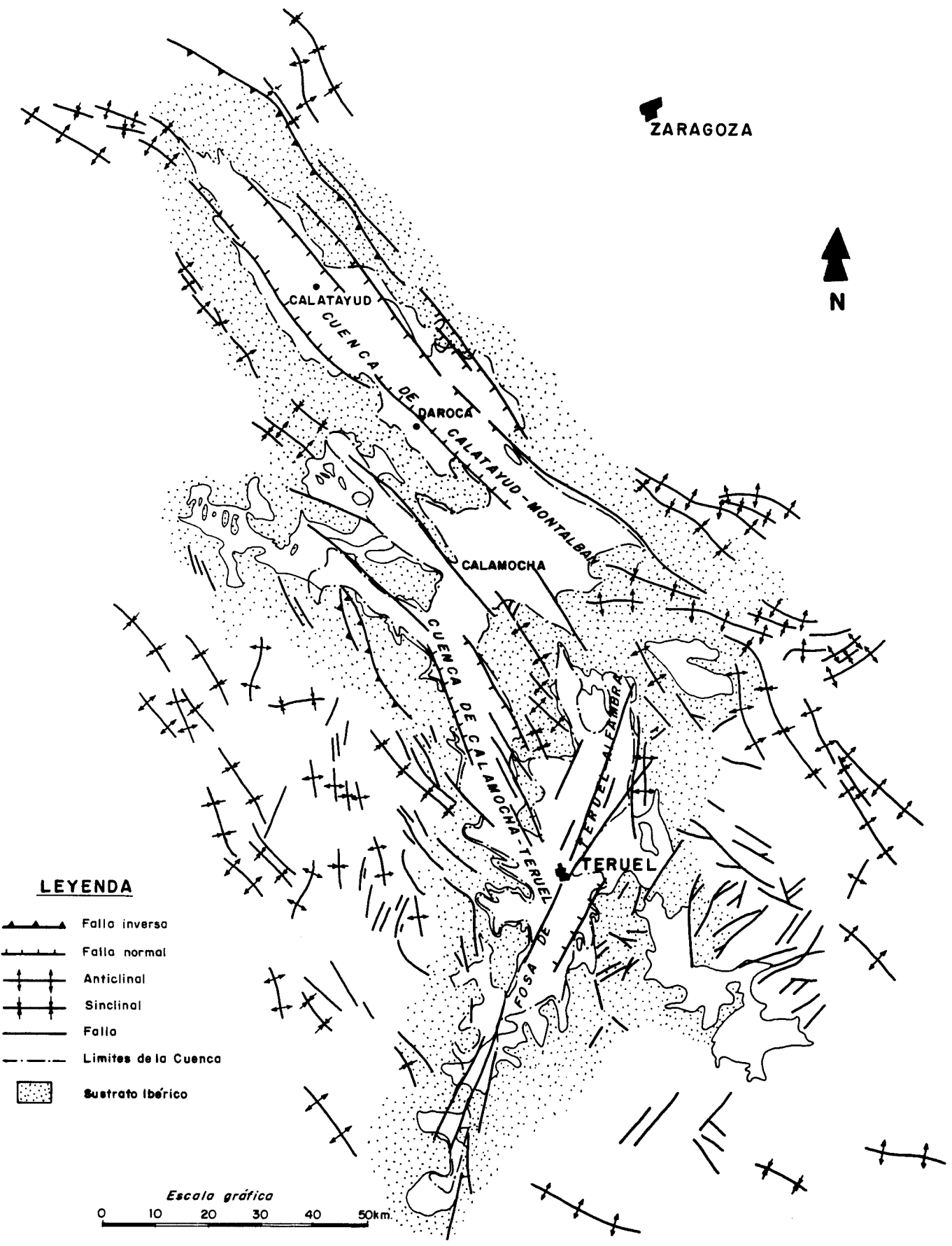
Todas las fosas tienen en común el presentar su borde oriental mas neto, presentando carácter de borde activo de la cuenca.

## **2.4.6. ESTUDIO GEOLOGICO MINERO**

### **2.4.6.1. ESTUDIOS ANTERIORES**

Las antiguas labores realizadas para la explotación de azufre, se encuentran entre los términos municipales de Libros y Riodeva dentro de la hoja 612 (Ademuz) de Mapa Topográfico Nacional a Escala 1:50.000.

A pesar de haber sido una de las explotaciones más importantes del país, junto con las de Hellín, no existe apenas bibliografía que haga referencia al yacimiento de azufre de Libros.



**Fig. 34** —Esquema tectónico de la cuenca de Calatayud-Teruel y subdivisión de la misma en tres subcuencas. a) Calatayud - Montalbán. b) Calamocha - Teruel. c) Teruel - Alfambra.

Prácticamente todos los datos pertenecen al trabajo de Braun (1841) que además es el más antiguo. Este autor hace referencia a las características geológicas del yacimiento describiendo con detalle la serie litológica del sector.

Señala Braun que las minas de Libros se encuentran en terrenos terciarios a los que asigna una edad Plioceno Inferior.

Sin embargo, los autores de la Hoja Magna dan a la serie una edad Mioceno Medio-Superior, que presenta una sucesión de facies detríticas (Serie Roja) y facies evaporíticas (Serie Blanca), resultantes de la colmatación de la fosa tectónica de Teruel.

Braun continua diciendo que los estratos depositados en la cuenca forman dos grupos bien distintos, uno inferior constituido por conglomerados, arenas y margas rojas, y otro superior formado por margas yesíferas y yesos, calizas y dolomías.

Indica este autor que en los alrededores de Libros, el grupo superior está muy desarrollado estando casi todos sus lechos constituidos por yesos sacaroideos y margas yesíferas, conteniendo numerosos filoncillos y nódulos de sulfato cálcico cristalizado.

La potencial total, dice, de los niveles yesíferos es muy considerable, estando dividida en dos mitades casi iguales por el yacimiento de azufre. Se trata de un nivel regular de margas yesíferas impregnadas de azufre, con un espesor muy constante que varía muy poco del metro de potencia. Su parte inferior contiene gran abundancia de restos orgánicos, sobre todo del género *Planorbis* y tallos de plantas acuáticas.

Comenta Braun que los moldes de estos fósiles están formados por azufre (reemplazados), pero que a veces los caparzones no se encuentran perfectamente

conservados. La parte superior del nivel de azufre del criadero contiene gran cantidad de fósiles, pero es muy difícil distinguir unos de otros ya que forman una mezcla de azufre y margas bituminosas que contiene del 50 al 70% de este elemento. Este nivel forma casi la tercera parte del criadero, la cual arde con una llama azul y deja un residuo de marga. También pone de manifiesto que el azufre está íntimamente ligado a la presencia de restos orgánicos.

El muro del nivel de azufre explotable es una marga yesífera bituminosa de un color oscuro. El techo es una roca parecida, más bituminosa que el muro y casi negra; cuando se le golpea exhala un olor muy fuerte como todas las rocas "bituminosas", es esquistosa y está reemplazada por pequeños cristales de yeso; se encuentran, pero más raramente algunos fósiles diseminados. Este horizonte es muy constante e indica la presencia del nivel de azufre; su espesor es muy constante y a menudo está separado por laminillas de yeso espático.

Los siguientes bancos de yeso y margas situados a techo contienen algunos nódulos de azufre y muchos cristales de sulfato cálcico; tienen en conjunto una potencia de 12 a 15 metros y están separados de los niveles superiores por un banco de caliza compacta que parece silíceo, en la cual continúan existiendo reemplazamientos de nódulos de azufre y reemplazamientos de pequeños restos de moluscos. Encima de este banco los yesos sacaroideos y las margas yesíferas se repiten alcanzando una potencia de 15 a 19 metros. El último de estos niveles contiene esferoides de dolomía porosa, la cual separa la serie de los niveles yesíferos y las calizas y dolomías que forman las mesetas de las más elevadas colinas terciarias.

La columna litológica que Braun indica en el área de la antigua mina de azufre de techo a muro es la siguiente:

- 15 metros de calizas grises compactas, en bancos espesos
- 5 metros de margas arcillosas
- 10 metros de caliza amarillenta porosa
- 8 " de dolomía rojiza margosa rellena de geodas con carbonatos
- 5 " de yeso sacaroideo conteniendo nódulos de dolomía
- 10 " de una alternancia de yeso sacaroideo y margas yesíferas con lechos delgados de caliza compacta
- 2 " de caliza compacta
- 15 " de una alternancia de margas yesíferas y yesos sacaroideos
- 1 " de margas yesíferas bituminosas oscuras que forma el techo del nivel de azufre
- 1 " de marga yesífera y azufre
- 2 " marga yesífera bituminosa oscura que forma el muro del nivel de azufre
- 12 " de yeso sacaroideo y margas yesíferas
- 2 " de marga bituminosa con restos vegetales
- 5 " de una alternancia de margas y calizas conteniendo abundantes fósiles y restos vegetales



- 15 " yeso sacaroideo y margas yesíferas
- 100 " de alternancia de calizas, margas, areniscas y arenas rojas hasta el nivel del río Guadalmar.

En 1.885, Cortazar, hace también referencia detallada de las minas de azufre de Libros pero basa todas sus descripciones en las hechas por Braun en 1841, no aportando nada nuevo.

Bakx (1935) hace un estudio geológico general de la zona de Valadoche y Cascante del Río y describe un tramo de constante contenido bituminoso para las zonas de "La Muela" y de "Santa Bárbara". Este nivel al que denomina "couche bitumineuse" se encuentra asociado, de igual manera que en Libros, a yesos y margas yesíferas. La unidad donde se sitúa este nivel es de litología y posición estratigráfica completamente similar a la formación kerogénica de las minas de Libros.

Margalef (1947) hace un estudio micropaleontológico de los niveles de pizarras bituminosas de las minas de Libros, estudio que es interesante para la reconstrucción paleogeográfica de la cuenca y por tanto puede ayudar a la prospección. Después del estudio de los microfósiles, en particular diatomeas y esponjas, y haciendo notar la falta absoluta de organismos planctónicos concluye: "Podemos suponer, con muchas posibilidades de acertar, que los sedimentos estudiados se depositaron en las orillas de un gran lago de agua dulce, cuyas aguas presentaban una reacción algo alcalina, por contener una cantidad notable de sales en disolución ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ )".

Los autores de la Hoja Geológica de Ademuz (MAGNA 1977) señalan que el tránsito de la, "Serie Roja" detrítica, a los términos superiores carbonatados, "serie Blanca", en el sector de Libros, lo marcan los primeros niveles evaporíticos, constituidos por arcillas y margas arcillosas blanquecinas con yeso disperso

o interestratificado, incluyendo margas verdosas o grisáceas. A continuación de este episodio lagunar se suceden margas calcáreas grisáceas, finamente tableadas o en capas de 20 a 30 cm, que intercalan niveles de yeso sacaroideo, de margas azufrosas y de lignitos. La potencia total de este tramo salobrelacustre alcanza un máximo de 100 metros. Estos autores asignan a este tramo lacustre-salobre, donde se encuentran enclavadas las minas de Libros una edad Vindoboniense-Pontiense (Langhiense-Messiniense), que hacia techo progresa hacia términos de carácter lacustre más marcado.

Recientemente el ITGE ha realizado una serie de proyectos destinados a la investigación de pizarras bituminosas en la cuenca de Calatayud-Teruel. Estos son:

- Proyecto de investigación de Pizarras Bituminosas en España (1980)
- Fase previa de la investigación de pizarras bituminosas en el terciario de la cuenca de Calatayud-Teruel (1982)
- Investigación de pizarras bituminosas en el sector de Libros (1981)
- Ampliación de la investigación de pizarras bituminosas en el Sector Norte de Libros (Teruel) (1982)
- Investigación de pizarras bituminosas en los sectores de Libros (Teruel), Lorca (Murcia), Hellin (Albacete) y Campins (Barcelona) (1981)
- Ampliación de la investigación de pizarras bituminosas en el sector Norte de Libros (Teruel) (1982)
- Posibilidades de las mineralizaciones de azufre biogénico en la península Ibérica

El proyecto de Exploración de Pizarras Bituminosas en España, realizado entre 1977 y 1980, cuyo objetivo fundamental era la localización de posibles zonas de interés para investigar en fases sucesivas, se recomendó una investigación más detallada del sector de Libros. Con este fin el ITGE fue elaborando los sucesivos proyectos anteriormente comentados.

El "Proyecto de Investigación geológico-minera de Pizarras Bituminosas en los sectores de Lorca (Murcia), Hellin (Albacete), Libros (Teruel) y Campins (Barcelona)" puso de manifiesto la existencia de al menos tres niveles kerogénicos asociados a los niveles azufrosos de las minas de Libros.

Por otra parte el PNIM señala que el yacimiento de azufre de Libros se sitúa en un conjunto que representa el Tortoniense superior, indicando que está constituido por 15 capas con separaciones que oscilan entre los 0,80 metros a los 15 metros, y en las cuales el mineral se encuentra, bien en nódulos muy puros, bien veteados entre las margas y yesos íntimamente asociados con caliza y marga formando vetas duras.

La potencia de las capas oscila entre los 0,60 y los 2 metros y la ley del mineral entre el 20 y el 80% de azufre.

Continúa diciendo el informe del PNIM que el azufre se presenta en estado nativo y que el origen de la formación parece ser debido a un proceso de reducción de los yesos por los hidrocarburos que provienen de la descomposición de los organismos. Estos hidrocarburos aún impregnan las pizarras que forman el techo y que fueron explotadas como combustible. Las reservas del yacimiento se estimaban en 1946 en unas 700.000 toneladas y la producción era en esta misma fecha de 15.600 toneladas anuales.

Con motivo de la investigación de pizarras bituminosas en el área el ITGE llevó a cabo en el sector de Libros (1981) la realización de tres sondeos mecánicos de

exploración con recuperación de testigo continuo, que a continuación describimos.

### **SONDEO L-1**

- Profundidad: 109,60 metros
- Situación: 100 metros al sur del Km 8 de la carretera de Libros a Riodeva
- Inclinación: vertical

En la columna litológica se distinguieron los siguientes tramos:

- De 0 a 10,70 m: Calizas travertínicas y margocalizas blancas
- De 10,70 a 35,75 m: "Paper shales" con alguna pasada de caliza y azufre en el muro
- De 35,75 a 49,10 m: "Paper shales" alternantes con calizas, margas, yesos y azufre
- De 49,10 a 63,95 m: Calizas, margas, yesos con pasadas de "paper shales" y azufre
- De 63,95 a 78,10 m: "Paper shales" alternantes con margas, calizas y azufre
- De 78,10 a 88,30 m: Calizas travertínicas con pequeños niveles de "paper shales". A techo nivel de azufre de 20 cm

- De 88,30 m a 103 m: "Paper shales" con pasadas margosas, calizas y yeso. Nivel de azufre de 30 cm
- De 103 a 109,6 m: Calcarenitas con intercalaciones margosas

### SONDEO L-2

- Profundidad: 66,20 m
- Situación: 200 metros al NE del Km 7 de la carretera de Libros a Riodeva
- Inclinación: vertical
- Columna litológica: En ella se pueden diferenciar los siguientes tramos:
  - De 0 a 22,40 m: Alternancia de margas y yesos con algún pequeño nivel de "paper shales"
  - De 22,40 a 32,70 m: "Paper shales" con bancos intercalados de yesos y margas
  - De 32,70 a 44,65 m: Calcarenitas con niveles margosos y alguna pasada de yesos y "paper shales". Azufre hacia el muro
  - De 44,65 a 53,90 m: Paper shales alternantes con niveles de margas y yesos
  - De 53,90 a 57,10 m: Calcarenitas, margas y yesos con azufre diseminado
  - De 57,10 a 58 m: Caliza parda con gasterópodos

De 58 a 66,20 m: Caliza travertínica con niveles margosos

### SONDEO L-3

- Profundidad: 24,20 m
- Situación: 600 metros al NNE del km 7 de la carretera de Libros a Riadeva
- Inclinación: Vertical
- Columna litológica: En ella se distinguen los siguientes tramos:
  - De 0 a 4,0 metros: Yesos pardos muy compactos con azufre
  - De 4 a 7,90 metros: Yesos de color crema con intercalaciones margosas laminadas y margas yesíferas
  - De 7,90 a 8,90 m: Yesos pardos laminados con azufre
  - De 8,90 a 14,95 m: Margas y margas yesíferas laminadas con pasadas de calizas travertínicas
  - De 14,95 a 16,05 m: Yesos y margas yesíferas con azufre
  - De 16,05 a 19,65 m: Margas blancas y grises laminadas alternantes con yesos
  - De 19,65 a 24,20 m: Calcarenitas y calizas travertínicas

A lo largo de los tres sondeos efectuados se intersectaron numerosos niveles conteniendo azufre.

En los informes se indica que el azufre se presenta cristalizado o de aspecto terroso, formando niveles de hasta 30 cms de espesor. En otros sectores se observa la presencia de enclaves de azufre a manera de pequeños lentejones de varios centímetros de longitud o bien diseminado en las pizarras, yesos y/o margas. Así mismo conviene recalcar la denominación de muchos niveles como "caliza travertínica", debido a que este es un aspecto muy normal de la caliza procedente de la sustitución de niveles evaporíticos. Con los datos obtenidos de estos sondeos en la presente investigación se ha realizado un panel de correlación que presentamos en la fig. 35.

Así mismo se realizó una cartografía geológica del área de Libros a escala 1:25.000, definiéndose el contexto litoestratigráfico del sector con mineralizaciones de azufre como formado esencialmente por un conjunto detrítico inferior, de color rojizo, depositado en un medio fluvial y un conjunto carbonatado yesífero superior, de color gris claro, cuyo ambiente de depósito fue salobre-lacustre o lacustre. El conjunto de interés se constituye según este estudio de muro a techo por:

- Calizas con gasterópodos
- Arcillas margoarenosas
- Yesos, margas, laminas con alto contenido en kerógeno y azufre que pasan a margocalizas con niveles de lignitos
- Calizas travertínicas y calcarenitas
- Margas y margocalizas

También se definió la tectónica del área; esta es sencilla existiendo únicamente dos estructuras laxas y tendiendo en conjunto a la horizontalidad. Continúa diciendo que las fallas son poco significativas y no afectan de manera profunda a los materiales Miocenos.

Las laminitas son de buena calidad presentando en los sondeos hasta 90 litros/tonelada algunos niveles.

En 1982 el ITGE realizó un proyecto de ampliación a la investigación de pizarras bituminosas en el sector Norte de Libros entre Villel y Cascante del Río. En el se puso en evidencia que las condiciones de sedimentación en esta zona evolucionaron de lo sapropelico a lo húmico y al desarrollo de unas facies evaporíticas hacia la parte Norte del área estudiada.

Se realizó una cartografía geológica 1:25.000 y se destilaron 100 muestras. Los resultados obtenidos de las destilaciones junto con los cambios de facies detectados mediante la cartografía llevaron a concluir la desfavorabilidad de los niveles investigados como kerogénicos. No se describen así mismo en este estudio manifestaciones de azufre en los niveles evaporíticos.



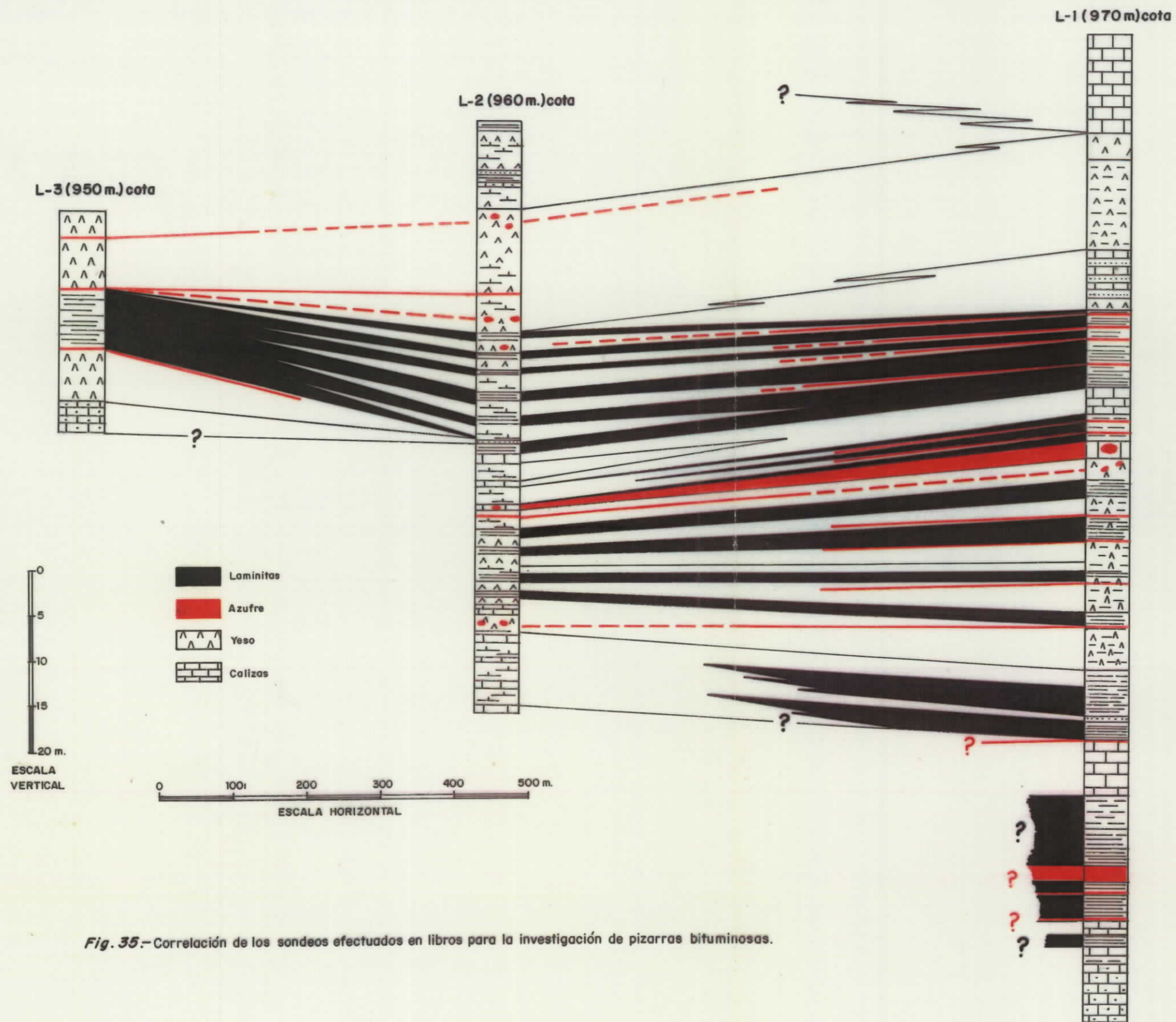


Fig. 35.-Correlación de los sondeos efectuados en libros para la investigación de pizarras bituminosas.

#### 2.4.6.2. DESCRIPCION DE LAS SERIES

En la zona de Libros y Riodeva se han levantado las columnas 612-C-1, 612-C-2, 612-C-3 y 613-C-1, estando las dos primeras en la zona del Barrio de las minas, mientras que las segundas se encuentran hacia el Norte de esta zona en los parajes de Rambla de la Navaruela y Cerro del Cuervo del Pinar respectivamente. Entre Villel y Valacloche se ha levantado la columna 590-C-1 en el barranco de Pesebre.

- En la zona del Barrio de las Minas se pueden distinguir los siguientes tramos (columnas 612-C-1 y 612-C-2), de muro a techo:
  - Substrato cretácico indiferenciado; formado por limos, arcillas rojas, blancas y amarillentas. A él se asocian los depósitos de caolinitas. Sobre él se sitúa una serie detrítica amarillenta de conglomerados y arenas y que incluimos dentro del substrato.
  - Serie Blanca Inferior: Aquí descansa directamente sobre el substrato sin que aflore la Serie Roja a causa de los paleorelieves existentes en la zona. Está formada por unos 35 metros de areniscas y conglomerados de matriz arenosa, presentan colores blancos y asalmonados. Algunos niveles de limos asalmonados y otros de calizas con gasterópodos.
- Sobre este nivel se sitúan 21 metros de margas grises y verdes con algunos niveles calizos fétidos. Los afloramientos de este nivel están muy cubiertos y sobre él se encuentra ya el tramo de calizas de Bolage.
- Calizas de Bolage: Forman un nivel muy continuo que se ha observado en otras zonas (columna 612-C-3).

Por debajo de las minas presenta una potencia de unos 50 metros y se puede dividir en dos tramos bien diferenciados.

El inferior con una potencia de 30 metros está constituido por una alternancia de limos marrones varvados y laminados con algunas laminitas y bancos de calizas pardas de 0,5 metros de potencia con gasterópodos, y algún nivel fino de yeso laminado. Representa un medio lacustre y los limos varvados indican dentro de ellos ciclos climáticos cortos.

El tramo superior con una potencia de 20 metros está constituido por unas calizas travertínicas de color crema con algunas manchas de ocre y gasterópodos. Presentan algunas láminas horizontales y onduladas. Se presentan bien estratificadas formando bancos de 0,5 a 1 metro de potencia. Se trata de unas calizas lacustres.

Encima, bajo las escombreras, se sitúa el contacto con el tramo suprayacente que es la serie Blanca Superior.

- Serie Blanca Superior: Con una potencia de unos 100 metros se presenta en la zona parcialmente cubiertas por escombreras de las antiguas minas. Se puede dividir en dos tramos.
  - 1.- El inferior tiene una potencia media de unos 60 metros y está contituído por una alternancia de calcilitas laminadas (laminitas), yesos parcial o totalmente metasomatizados a caliza y azufre, algunos niveles de limos pardos de 0,4 m de potencia, algunos niveles areniscosos finos, algún banco métrico de calizas lacustres y niveles métricos de diatomitas.

Las laminitas tienen un alto contenido en kerógeno y se presentan varvadas en niveles finos alternantes claro-oscuros que indican períodos cli-

máticos cortos (invierno-verano). Presentan numerosos restos carbonosos de organismos superiores, sobre todo plantas.

Los bancos de yeso con una potencia que oscila entre los 20 centímetros y el metro y medio se encuentran total o parcialmente metasomatizados a caliza y azufre, llegando a formar algunos de ellos bancos enteros de caliza de sustitución con azufre. Hacia techo, los bancos se presentan como yesos laminados oscuros con niveles centimétricos de azufre según la estratificación. Hay algún nivel de caliza lacustre (indicio 612-3) con restos de organismos rellenos, en su interior, de azufre.

En la columna 612-C-2 se han distinguido hasta 7 niveles de yeso y/o caliza con azufre. Uno de ellos, el segundo comenzando por el muro presenta yesos sacaroideos y seleníticos (secundarios) con azufre y tiene una potencia de 1,5 metros. Estos siete niveles de la columna 612-C-2 se encuentran definidos dentro de una potencia real de 56 metros. Posiblemente existan más niveles dentro de esta potencia, pero se encontrarían cubiertos por las escombreras de las antiguas labores.

En la columna 612-C-1 se han definido hasta 4 niveles de yeso y/o caliza con azufre presentando potencias de 1 a 1,5 metros, además de labores en dos niveles inferiores en las que no se ha observado azufre. Estos niveles con azufre se encuentran definidos en una potencia de 15 metros si bien las labores abarcan hasta 28 metros de potencia.

- 2.- El tramo superior tiene una potencia media de 57 metros y está constituido por un potente banco evaporítico, donde dominan los yesos sacaroideos, si bien hay también alabastrinos y laminados. Cerca del muro hay un nivel de 4 metros de potencia de yesos alabastrinos con algunos laminados y sacaroideos, presentando su mitad inferior convolucionada

y separada de la superior por un nivel centimétrico, también yesoso con estructuras en teppee.

Estos yesos sacaroideos y laminados con algunos alabastrino de este tramo superior, se encuentra en numerosas ocasiones presentando calizas de sustitución y azufre lo que puede tener una gran importancia desde el punto de vista de la investigación del azufre, sobre todo si tenemos en cuenta la gran potencia de esa serie evaporítica.

Así la serie que presentan los materiales del Barrio de las minas tiene ciertas similitudes con la de Lorca, un tramo en el que alternan niveles kerogénicos con bancos de yeso sustituidos a caliza y azufre y un tramo superior de yeso, aquí principalmente sacaroideos, en Lorca algo más alabastrino, con gran potencia, pero con la particularidad de que aquí en ese tramo evaporítico superior se encuentran reemplazamientos en algunos puntos a caliza y azufre.

- Tramo mixto.- Se sitúa discordantemente sobre el anterior y se caracteriza por su color rojo anaranjado. Tiene una potencia media en las series levantadas, 612-C-1 y 612-C-2, de 85 metros y está formado por un tramo de arcillas rojas con algunos niveles de 0,5 metros de potencia de areniscas y de calizas pardas con gasterópodos. Este tramo, estéril en si mismo desde el punto de vista del azufre, tiene por el contrario gran importancia pues por su impermeabilidad sella al tramo anterior que contiene los indicios de azufre.

En la columna 612-C-2 hacia su parte media presenta un nivel de calizas blancas con pequeñas vacuolas, de 8 metros de potencia.

- Calizas de Santa Bárbara: Constituyen el nivel estratigráficamente más alto de la zona constituyendo el denominado Páramo 1 (término geomorfológico que en el Barrio de las minas se ve perfectamente justificado, pues forman

un páramo en el cerro de la Ermita de Santa Bárbara). Con una potencia mínima en el Barrio de las Minas de 20 metros están formadas por calizas pardas y blancas con gasterópodos. Se presentan bien estratificadas formando bancos de 0,5 a 2 metros de potencia. Representan un medio de depósito lacustre.

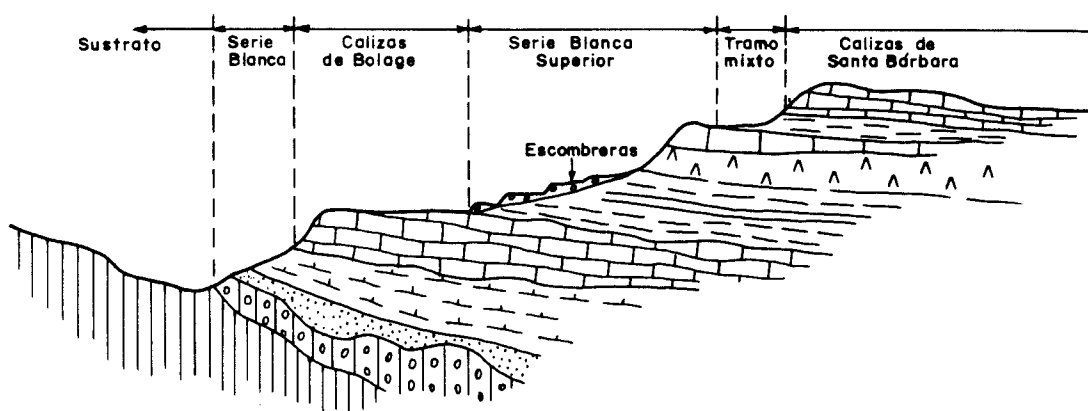


Fig. n° 36.- Corte esquemático en el Barrio de las Minas (Libros)

- En la zona Norte en los parajes de la Rambla Navaruela y el Cerro del Cuerno del Pinar se han levantado las columnas 612-C-3 y 612-C-4. Situadas a Norte y Noreste del Barrio de las Minas cortan el tramo de interés (serie Blanca Superior) al otro lado del Páramo de Santa Bárbara, donde aflora este de forma mas localizada debido a que en numerosas zonas es cubierto por el tramo mixto que al ser discordante está en ocasiones directamente sobre las calizas de Bolage o incluso sobre el substrato donde los paleorelieves son acusados (al NO de Riodeva).

En la zona de la rambla Navaruela (612-C-3) situada al Oeste del Páramo de Santa Bárbara se han distinguido los siguientes términos.

- Serie Roja: Está constituida en este sector por arcillas rojas con bancos métricos de areniscas y conglomerados con paleocauces. Representan un medio de depósito fluvial y como ya se ha comentado no tiene interés desde el punto de vista del azufre por la casi total ausencia de evaporitas. En este sector dominan las facies de llanura de inundación, lo que desde el punto de vista del azufre es un factor limitante pues estas facies, al ser impermeables, impiden el paso de soluciones perpendicularmente a la estratificación bajo el nivel de interés, limitándose estos a los bancos detríticos groseros.

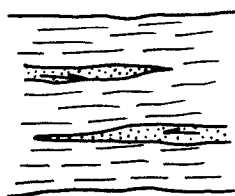


Fig. nº 37.- Circulación de fluidos restringida a niveles detríticos groseros (arenas y conglomerados)

- Serie Blanca Inferior: Representada en este sector por unos 70 metros de margas verdes y rojas constituyen también un nivel impermeable que impide el paso de fluidos a muro de la Serie Blanca superior.
- Calizas de Bolage: Se encuentran representadas por calizas blancas con gasterópodos con esporádicas pasadas limoarenosas. Tienen aquí una potencia de 28 metros y cuando se encuentren fracturadas podrían permitir percolación de soluciones hacia la Serie Blanca Superior que se sitúa justamente encima. Las calizas se encuentran bien estratificadas en bancos métricos.
- Serie Blanca Superior: Compuesta por 25 metros de yesos sacaroideos con algunos niveles de centimétricos a decimétricos de calizas tableadas travertínicas, algunos de ellos fétidos. En este sector no se observan los niveles de laminitas quedando la serie restringida al tramo superior de evaporitas. En estas no se ha observado sustitución alguna del yeso a caliza y/o azufre. Así mismo el tramo calizo de techo está aquí muy reducido, sin que generalmente llegue a observarse, presentando únicamente una potencia de 2 metros,. Lógicamente este se encuentra bajo el tramo mixto, discordante sobre él.
- Tramo mixto: Con una potencia de 100 metros en este sector presenta las mismas características que en el Barrio de las Minas, estando formado por arcillas rojas con esporádicas pasadas areniscosas y bancos decimétricos de calizas pardas con gasterópodos.
- Calizas de Santa Bárbara: Con las mismas características que en el Barrio de las Minas tienen aquí una potencia de unos 10 metros mínimo.

En el área del Cuerno del Pinar (613-C-1) la serie presenta características similares a la de la Rambla de la Naveruela que acabamos de describir, variando algo las potencias, pero con algunas salvedades. Así las calizas de Bolage han reducido fuertemente su potencia quedando aquí solo 10 metros.



Entre estas y la Serie Blanca superior hay 20 metros de arcillas rojas con yesos con maclas en punta de flecha. La serie evaporítica está formada por 30 metros de yesos sacaroideos blancos, con algunos alabastrinos y algún nivel centimétrico de caliza en "nódulos". Hacia techo del tramo evaporítico la serie se repite.

En la zona entre Villel - Valacloche, en el barranco Pesebre, se levantó la columna 590-C-1 que corta la formación de yesos de Cascante del Río estratigráficamente correlacionable con la Serie Blanca Superior del área de Libros donde se localizan las manifestaciones de azufre.

En este sector la serie presenta los siguientes tramos de muro a techo.

- Serie Roja: Con una potencia mínima observada de 35 metros presenta aquí una mayor representatividad de las facies de llanura de inundación sobre las de canal.
- Yesos de Cascante del Río: Correlacionable con la Serie Blanca superior del sector de Libros se puede dividir en dos tramos. Tiene una potencia media de 55 a 60 metros.
  - 1.- El tramo inferior tiene una potencia de 20 metros y se encuentra muy cubierto por derrubios de ladera. Se trata de arcillas y margas con algún nivel conglomerático y algunos niveles finos carbonosos.
  - 2.- El tramo superior claramente evaporítico tiene una potencia entre 35 y 40 metros alcanzando hasta los 60 m y está constituido por una serie de yesos, fundamentalmente sacaroideos, que hacia muro presentan algunos niveles alabastrinos, niveles de margas grises de 2 metros de potencia, algunos finos bancos de calizas oquerosas y de yesos laminados. No se han observado restos de sustitución del yeso a calizas o azufre en todo el

tramo. Algunos tramos evaporíticos (yesos) negros muy fétidos y con restos de organismos.

- Tramo mixto: Tiene una potencia de 25 metros y está formado por arcillas rojas con pequeñas selenitas, se intercalan esporádicos niveles de calizas pardas con gasterópodos y con texturas fenestrales en yeso.

Presenta también niveles de yesos en lugar de arenas como en Libros.

- Calizas de Santa Bárbara: con una potencia mínima de 40 metros se sitúan a modo de páramos en los cerros. Son calizas lacustres pardas y blancas con gasterópodos, y hacia el NE pasan lateralmente a yesos. Entre Valacloche y Cascante del Río descansan directamente sobre el substrato.
- Esta serie terciaria descansa sobre un substrato variado en este sector formado por un Trías calizo-dolomítico en facies Muschelkalk, un Trías Keuper con arcillas, margas y sobre todo yesos con algunas ofitas y un Jurásico fundamentalmente carbonatado.

#### 2.4.6.3. INDICIOS

En la cuenca de Calatayud-Teruel se han levantado 4 indicios de azufre, todos ellos correspondientes al sector de Libros, sin que se halla observado azufre en otros sectores visitados. Así mismo en los materiales del substrato se ha levantado un quinto indicio de Barita (celestina?) en la zona de Herrera de los Navarros.

Estos indicios están situados en el mapa de síntesis geológica 1:100.000, y las fichas, según modelo del Mapa Metalogenético, se puede ver en el anexo de este proyecto.

- Los indicios de azufre se localizan todos en el sector Libros-Riodeva en el paraje denominado Barrio de las Minas, o próximos a él, sin que se hallan localizado indicios de este elementos en otras zonas de la cuenca.

La minería que tuvo lugar en este sector fue muy intensa llegando a formar un auténtico coto minero con poblado e iglesia en el que según las gentes del lugar llegaron a trabajar hasta 500 personas.

En la zona quedan numerosos restos de dicha actividad, desde obras de infraestructura, poblado, plaza de acopio, hasta multitud de labores, pozos y galerías, así como pequeños socavones, y hornos de azufre. El volumen de escombreras que se encuentra en la zona es muy grande, estando estas construidas fundamentalmente de laminitas, tipo "paper shales" con alto contenido en kerógeno.

Aunque alguno de los permisos y concesiones mineras pertenecían a particulares, el yacimiento fue, en su mayor parte, explotado por la Compañía la Industrial Química de Zaragoza durante la primera mitad del siglo pasado. A esta compañía le caducaron los permisos según los datos obtenidos en Jefatura de Minas de Teruel entre 1960 y 1961, si bien la explotación cesó mucho antes. Los últimos datos son de 1946, año en que las reservas se estimaban en 700.000 toneladas y la producción era 15.600 toneladas/año.

Las labores mineras observadas son, multitud de pequeños socavones en el área del Barrio de Las Minas, aquí también hay entradas a una minería más importante de interior, y hacia el Este son frecuentes los pozos verticales.

Las manifestaciones de azufre nativo en superficie son numerosísimas, si bien las hemos resumido en cuatro indicios. Todas ellas se encuentra dentro de la Serie Blanca superior, definida en detalle en el apartado anterior. Según describimos en este apartado la serie que contiene el azufre tiene una

potencia de hasta 100 metros y se divide en dos tramos. El inferior formado por una alternancia de laminitas varvadas con restos de organismos superiores y bancos de yeso desde 20 cm a 1,5 m de potencia, parcial o totalmente metasomatizados a caliza y azufre. Se han distinguido dentro de este tramo hasta 7 niveles con azufre y labores mineras en 9 (en la bibliografía se mencionan hasta 15, si bien nosotros no incluimos los del tramo superior que posteriormente comentaremos). Estos siete niveles (columnas 612-C-1 y 612-C-2) se encuentran dentro de una potencia de hasta 56 metros.

El tramo superior está formado por un potente banco evaporítico de 57 metros de potencia media formado fundamentalmente por yesos sacaroideos y alabastrinos, y en él se han observado además numerosas manifestaciones de azufre.

El indicio denominado Barrio de las Minas se encuentra en el paraje Pajar Blanco junto al antiguo poblado minero, y está constituido por una secuencia, observada, pues la base queda bajo las escombreras, de 28 metros de laminitas alternando con capas de yeso metasomatizado a caliza y azufre de 0,5 a 2 metros de potencia (también se observan pequeños niveles de azufre primario blanco interestratificados en las laminitas), sobre la que se sitúa el tramo superior de evaporitas que con una potencia de 58 metros presenta manifestaciones de azufre en distintos puntos de la serie, así como un nivel de 2 metros de caliza de sustitución en su parte media.

El mineral se presenta como nódulos centimétricos de azufre masivo con aspecto terroso dentro de yesos sacaroideos, así como cristales milimétricos dispersos en bancos de yesos sacaroideos blancos y grises muy sueltos y que le dan a estos un alto contenido en azufre. También se observan pequeños niveles de azufre primario interestratificados en las laminitas. Asimismo algunos bancos métricos de diatomitas.

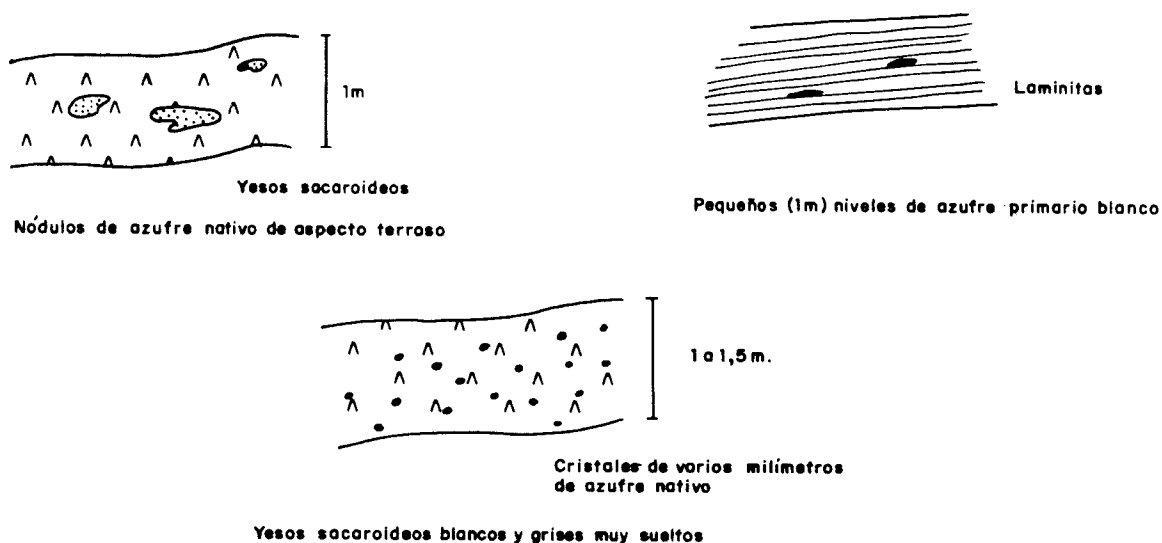


Fig. n° 38.- Hábitos del azufre en el indicio 612-1 (Barrio de las Minas)

Las labores antiguas de este indicio consiste en multitud de pequeños socavones distribuidos por todo el tramo inferior, si bien hacia la parte alta y al Este se observan algunos pozos.

- El indicio denominado Iglesia se encuentra en el paraje Barrio de las Minas y le corresponde el numero 612-2. Se encuentra a poca distancia de la antigua iglesia del poblado minero y por detrás de esta. Consiste en una galería de entrada a una mina de interior. Tiene una longitud desconocida y en la boca de la mina se respira un fuerte olor a azufre. Se sitúa esta entrada bajo un banco de yeso sacaroideo de 1 a 1,5 metros en el que ocasionalmente se observan algunas manifestaciones de azufre nativo. La galería tiene una anchura de 1,90 m y una altura de 1,70 m junto a ella se localizan dos pequeños socavones.
- El indicio denominado Los Planos, con el número 612-3, se localiza junto a la carretera nueva de Libros a Riodeva a la altura de los antiguos hornos de azufre y junto a las escombreras mas grandes de la zona. El nivel que se localiza en este punto se encuentra dentro del tramo inferior de laminitas y yesos de la Serie Blanca superior, y consiste en un banco de caliza primaria en el que se observan numerosos organismos y sus huecos (fundamentalmen-

te gasterópodos y caráceas) presentando multitud de estos organismos azufre nativo cristalizado en su interior. También se puede observar el azufre bien cristalizado en pequeñas fracturas dentro de la caliza. El contenido en azufre del banco puede oscilar entre un 20 y un 35%.

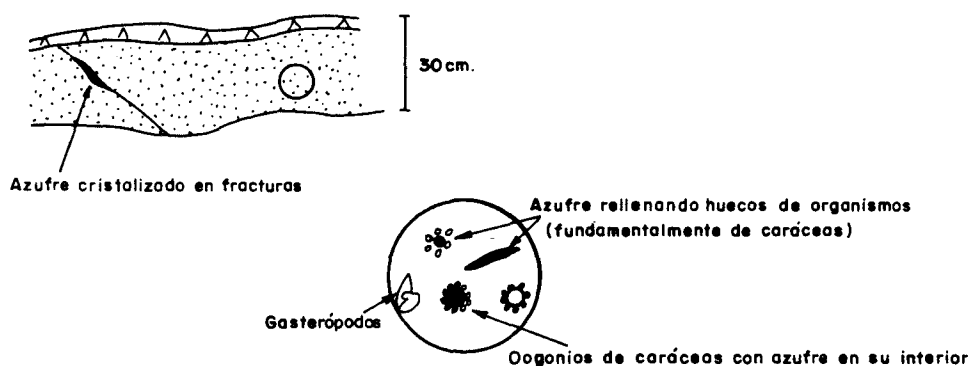


Fig. n° 39.- Reemplazamiento de organismos por azufre

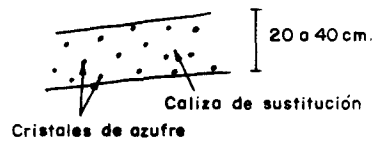
- Por último el indicio denominado Autellar, con el número 612-4, se localiza estratigráficamente sobre el anterior, y está formado por 6 niveles de yeso metasomatizado a caliza y azufre en el tramo de yesos y laminitas y un nivel con azufre en el paquete yesífero superior (columna litoestratigráfica 612-C-2).

Los bancos con manifestaciones de azufre oscilan entre 30 cm y 1,5 metros de potencia estando separados entre si, los del tramo inferior por 2 m generalmente de laminitas con algunos bancos métricos de diatomitas.

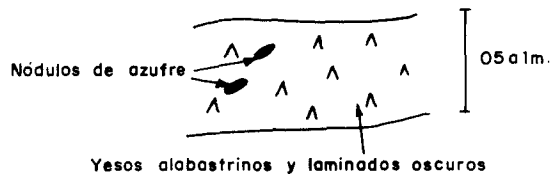
El mineral presenta distintos hábitos (Figura n° 40).

En resumen, los indicios de Libros se encuentra dentro de la llamada Serie Blanca superior en la que con una potencia global de 100 metros se observan manifestaciones de azufre en dos tramos bien definidos:

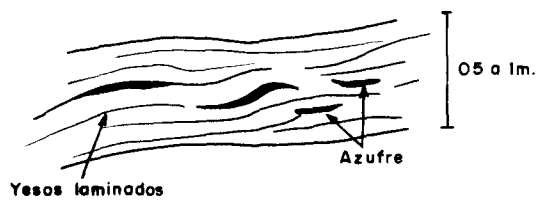
**Fig. 40.- Hábitos de azufre**



1.-Cristales de azufre en calizas de sustitución, dándole a este un importante contenido en azufre (20-30%)



2.-Nódulos de azufre de aspecto terroso en yesos alabastrino



3.-Nódulos estratiformes en yesos laminados oscuros

El primero o inferior constituido por laminitas y yesos parcial o totalmente metasomatizados a caliza y azufre, cada nivel oscila entre 0,5 a 2 metros de potencia.

El segundo o superior, nódulos de azufre en tramo evaporítico de hasta 60 m de potencia de yesos sacaroideos, alabastrinos y laminados. Sobre el que se sitúan 10 metros de calizas lacustres con gasterópodos y una serie de arcillas rojas con pasadas de 0,5 metros de calizas pardas con gasterópodos y de arenas, y que constituye un nivel impermeable sobre la formación de interés.

A muro de la formación de interés se encuentran las calizas de Bolage que constituirían un nivel con permeabilidad potencial por fracturas o por ellas mismas, pues muchas de ellas son travertínicas.

- Se han estudiado otras zonas de la cuenca con características similares a la de Libros no habiéndose visto en ningún caso manifestaciones de azufre.

Así se han revisado los potentes bancos de yesos, fundamentalmente sacaroideos de la zona de Calatayud, entre Calamocha y Portalrubio, Alfambra, Cuevas Labradas, Tortajada, Castralvo y Cascante del Río.

En otro sentido se revisó y levantó uno de los indicios de Barita del Mapa Metalogenético Nacional a escala 1:200.000 de Daroca (nº 40), al que en dicho mapa corresponde el número 15, situado junto a Herrera de Los Navarros.

Se trata este indicio de un filón de Barita y/o Celestina con óxidos de hierro de dirección N60° y buzamiento 67° al SE con una potencia de hasta un metro.



Encaja en cuarcitas del Ordovícico Inferior y presenta una antigua labor minera que consiste en un socavón que da paso a una galería de dirección N60° y que se encuentra parcialmente tapada. Según la dirección del filón hay una serie de escombreras de pequeño tamaño que se extienden a lo largo de unos 200 metros.

El mineral se encuentra bien cristalizado formando cristales blancos tabulares en hojas de libro. En el mapa metalogénico citado describen numerosos indicios como este y otros asociados, al menos especialmente de Cu, Pb, Zn, Ag, As, Bi y Fe.

#### **2.4.7. RESUMEN Y CONCLUSIONES**

La cuenca de Calatayud-Teruel, enclavada en el dominio ibérico se puede subdividir en dos subcuencas.

- La denominada de Calatayud-Montalbán-Calamocha con dirección NO-SE y que es paralela a las directrices de la cadena Ibérica.
- La de Teruel-Alfambra que con una dirección NNE-SSE es oblicua a dichas directrices ibéricas.

Dentro de estas cuencas los sedimentos terciarios en general se dispone en forma de anillos concéntricos presentando hacia los bordes los materiales detríticos y hacia el centro los niveles evaporíticos.

La subcuenca de Teruel-Alfambra presenta una cierta disimetría debido a su evolución tectosedimentaria en la cual una serie de fracturas de dirección NNE-SSO individualizan los diferentes ambientes sedimentarios.

En conjunto y dentro de ambas subcuencas se presentan varios episodios carbonatados-evaporíticos dentro de la serie terciaria incluso con presencia de niveles con materia orgánica. Asimismo los yesos poseen potencias considerables de hasta 300 metros y pueden encontrarse a profundidades óptimas donde la intensidad de un posible metasomatismo los haya transformado a caliza y azufre.

Las condiciones tectónicas de la cuenca, frágil y distensiva, es favorable para crear vías de acceso a las soluciones mineralizantes.

Las manifestaciones de azufre conocidas, dentro de la cuenca se restringen al área de Libros (extremo Sur de la cuenca Teruel-Alfambra) no habiendo denuncias mineras de azufre en otros sectores de la depresión ni ningún tipo de referencia alguna.

En la exploración realizada en todo el contexto de la cuenca no se han localizado otros indicios que no sean los de Libros, siendo la mayor parte de los bancos evaporíticos visitados de yesos sacaroideos, con algunos laminados y alabastriños.

En cuanto al área de Libros hay que decir que en ella se llevó a cabo durante la primera mitad del siglo XX una intensa actividad minera siendo una zona de gran interés por las razones que a continuación comentamos.

- Presencia de numerosos niveles de yeso y caliza de sustitución con azufre.
- Presencia de manifestaciones de azufre en el tramo evaporítico superior.
- Niveles a muro de la formación de interés con permeabilidad potencial (calizas de Bolage)
- Niveles a techo de la formación de interés impermeables (Tramo Mixto)

- Presencia de niveles con alto contenido en kerógeno (laminitas)

En este sentido y de acuerdo con los conocimientos que se poseen sobre la génesis del azufre podemos decir que en este área se conjugan casi todos los factores necesarios para la formación de un yacimiento de interés.

El único factor que no aparece es la presencia de altos estructurales, siendo la zona un suave sinclinal pero que tiende generalmente a la horizontalidad. Si bien el depósito podría haber estado condicionado con una fractura de dirección NE-SO, subparalela a la disposición general de la cuenca, que nos independizaría la zona de depósito donde se sedimentaron los niveles kerogénicos y las evaporitas.

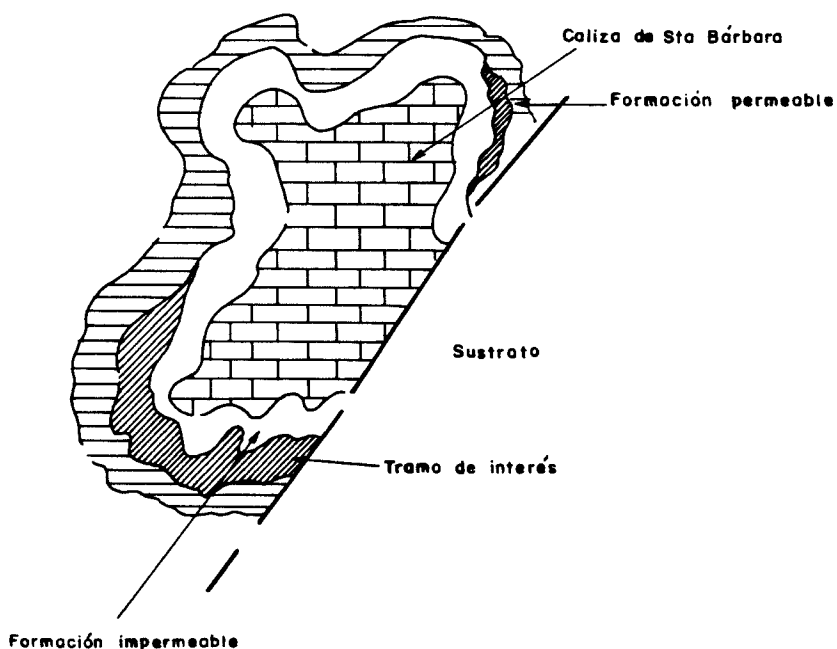


Fig. n° 41.- Esquema de disposición de la serie de interés

Según lo anterior se pueden establecer dos hipótesis:

- 1.- Que los hidrocarburos necesarios para la transformación del yeso a caliza y azufre provengan de los niveles kerogénicos que se encuentran en el tramo de interés. Estos habrían por tanto funcionado al igual que en las cuencas de Fortuna-Alhama y Lorca, reduciendo por tanto los bancos de sulfatos que encontraban a su paso, si bien aquí el contenido en kerógeno es mayor y han llegado a transformar a los yesos del paquete detrítico superior.
- 2.- Si los hidrocarburos necesarios para la reducción de los sulfatos provienen de otras zonas (junto con los del tramo de interés) esto encontrarían ascenso por el nivel inferior calizo que gracias a fracturas facilita el paso de los mismos. No hay que olvidar aquí la presencia de Trías Keuper en zonas próximas de los materiales de borde.

La presencia de un nivel impermeable encima, sellaría a los niveles evaporíticos dando tiempo a que se produjesen las reacciones necesarias para la transformación de estos en caliza y azufre.

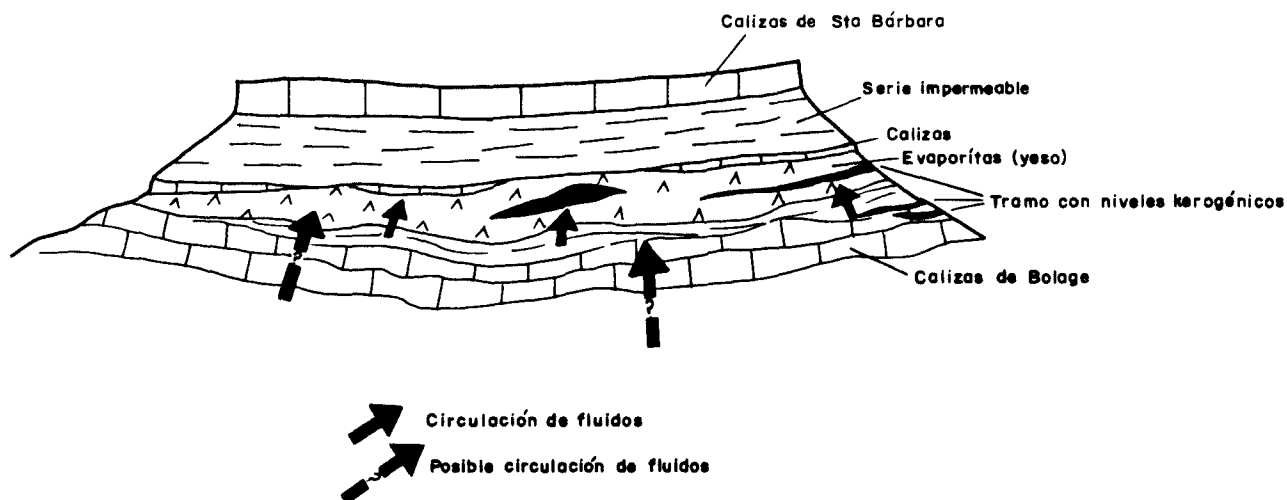


Fig. nº 42.- Esquema de hipótesis genéricas de la formación de azufre

#### 2.4.8. RECOMENDACIONES

Todo lo anteriormente expuesto nos induce a recomendar, como zona de interés inmediato, el área ubicada al NE del sector de Libros ocupada esencialmente por los materiales suprayacentes a los tramos mineralizados (calizas de Santa Bárbara). Estos pueden continuar su desarrollo según se esquematiza en la figura nº 42 y posiblemente se presentan a mayor profundidad en mejores condiciones de confinamiento y entrapamiento.

La investigación de esta área será necesario efectuarla mediante sondeos con recuperación de testigo continuo y una profundidad mínima de 150 m. Creemos que una línea de sondeos E-O constituida por tres perforaciones sería suficiente para definir el interés real del área.

En este sentido el área de interés puede prolongarse a todo lo largo del sector oriental limitado al E por el substrato y al O por la falla que delimita la subcuenta de Calamocha-Teruel y la Fosa de Teruel-Alfambra (figura nº 34). Esta falla separa dos bloques, siendo el oriental en donde los depósitos evaporíticos y laminados con azufre presentan mayor representación.

## 2.5. CUENCA DE BAZA

### 2.5.1. SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA

La Cuenca de Baza se extiende a lo largo de una zona peneplanizada a cotas entre 800 m.snm. y 1.000 m.snm. al Noroeste de la provincia de Granada. Sus límites geográficos están constituidos por las Sierras de Castril, Huescar y la Sagra al Norte, el Jabalcón al Oeste, la Sierra de Baza y el corredor de Caniles al Sur y la Sierra de Orce al Este.

La parte meridional de la Cuenca de Baza se encuentra atravesada por la carretera N-342, de la que parten numerosas carreteras locales y comarcales que conectan las poblaciones de la zona.

El núcleo de población más importante es Baza, seguido de Huéscar, Cúllar, Caniles y Castril. De menor importancia son Benamaurel, Cortes de Baza y Castilléjar, además de pequeñas pedanías y barrios.

El cauce más importante de la Cuenca de Baza es el Guadiana Menor que nace de la confluencia de los ríos de Baza, Guardal, Cúllar, Guadalentín y Castril. El primero discurre en Este-Oeste y los demás de manera general Norte-Sur y Sur-Norte. En el Guadiana Menor existe el embalse del Negratín, que por su capacidad es el segundo más grande de la Cuenca del Guadalquivir.

El clima de la comarca de Baza es frío y seco con numerosas heladas en el invierno y temperaturas muy elevadas durante el verano lo que confieren a la zona un aspecto árido y desértico. Solo en las vegas de los ríos antes citados existen microclimas con zonas de regadío muy fértiles.

Geológicamente la Cuenca de Baza, asociada a la de Guadix, es una Depresión Intramontañosa individualizada en el Mioceno medio, situada en el contacto de la denominada Zonas Externas y Zonas Internas de las Cordilleras Béticas.

La dirección de este contacto es aproximadamente OSO-ENE, de tal forma que solo el relieve de la Sierra de Baza corresponde a las Zonas Internas mientras que el resto de los relieves circundantes pertenecen a las Zonas Externas.

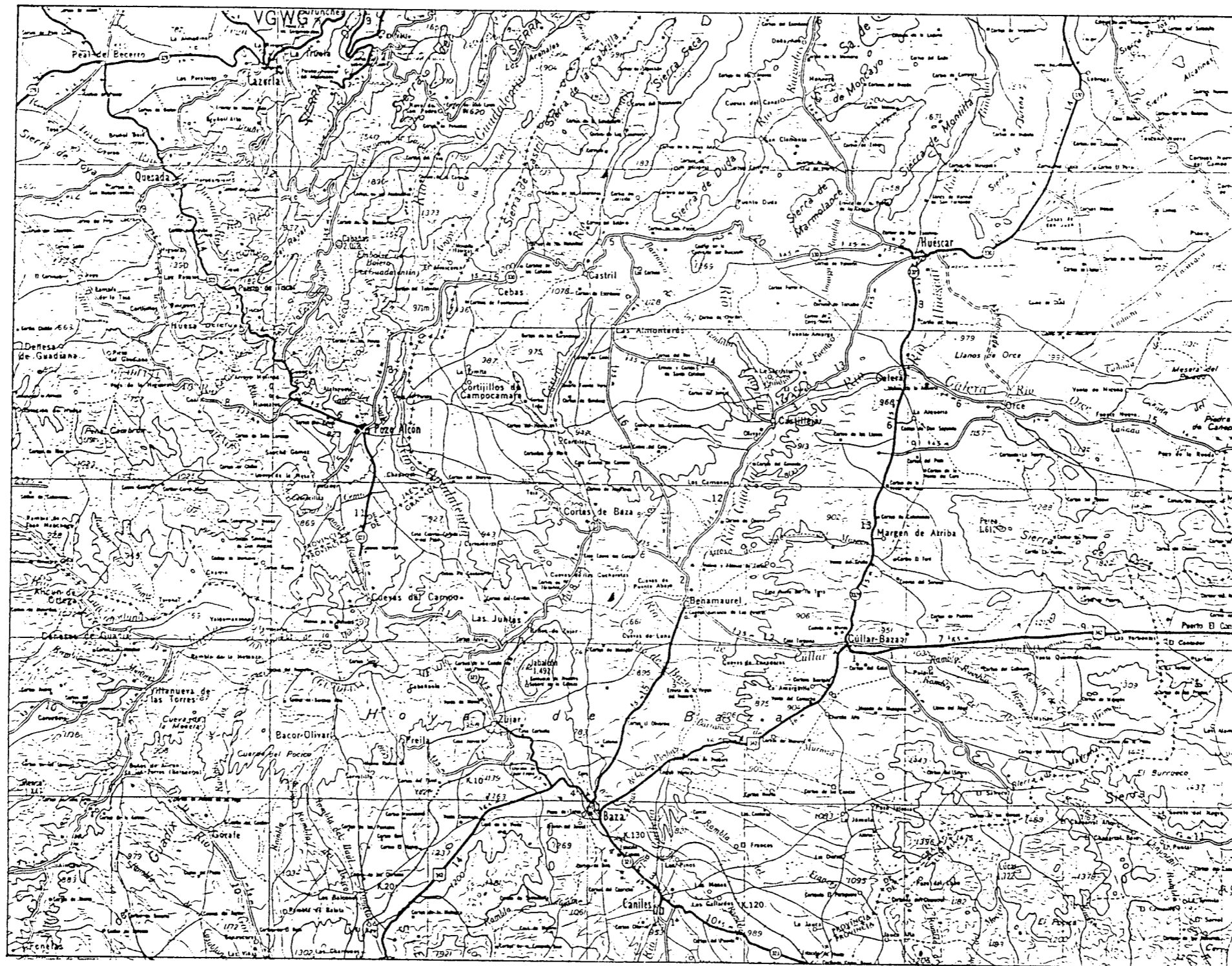
Es importante señalar que este contacto se encuentra jalonado por asomos diapíricos de materiales del Trías de facies Keuper, y es precisamente un diapiro, el del Negratín, que la separa de la Depresión de Guadix al Oeste y el diapiro de Fuencaiente y Huéscar al Este que la separa de las depresiones intramontañosas del Noroeste de la provincia de Murcia.

Los relieves pertenecientes a las Zonas Externas están constituidos por materiales jurásico-cretácicos y paleógenos, mientras que los relieves de las Zonas Internas están constituidos por materiales carbonatados y pelíticos de edad triásica y más antigua, con metamorfismo variable.

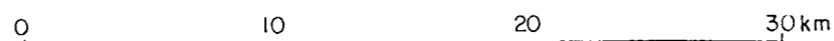
La serie sedimentaria de la Cuenca de Guadix-Baza, en sus términos pertenecientes al Mioceno Superior Plioceno, está constituida por tres formaciones de rango mayor.

- La Formación de Guadix:

Tiene características sedimentarias de depósitos fluviales desde anastomosados en los bordes hasta meandriformes en el centro. Se extiende al Oeste del Jabalcón.



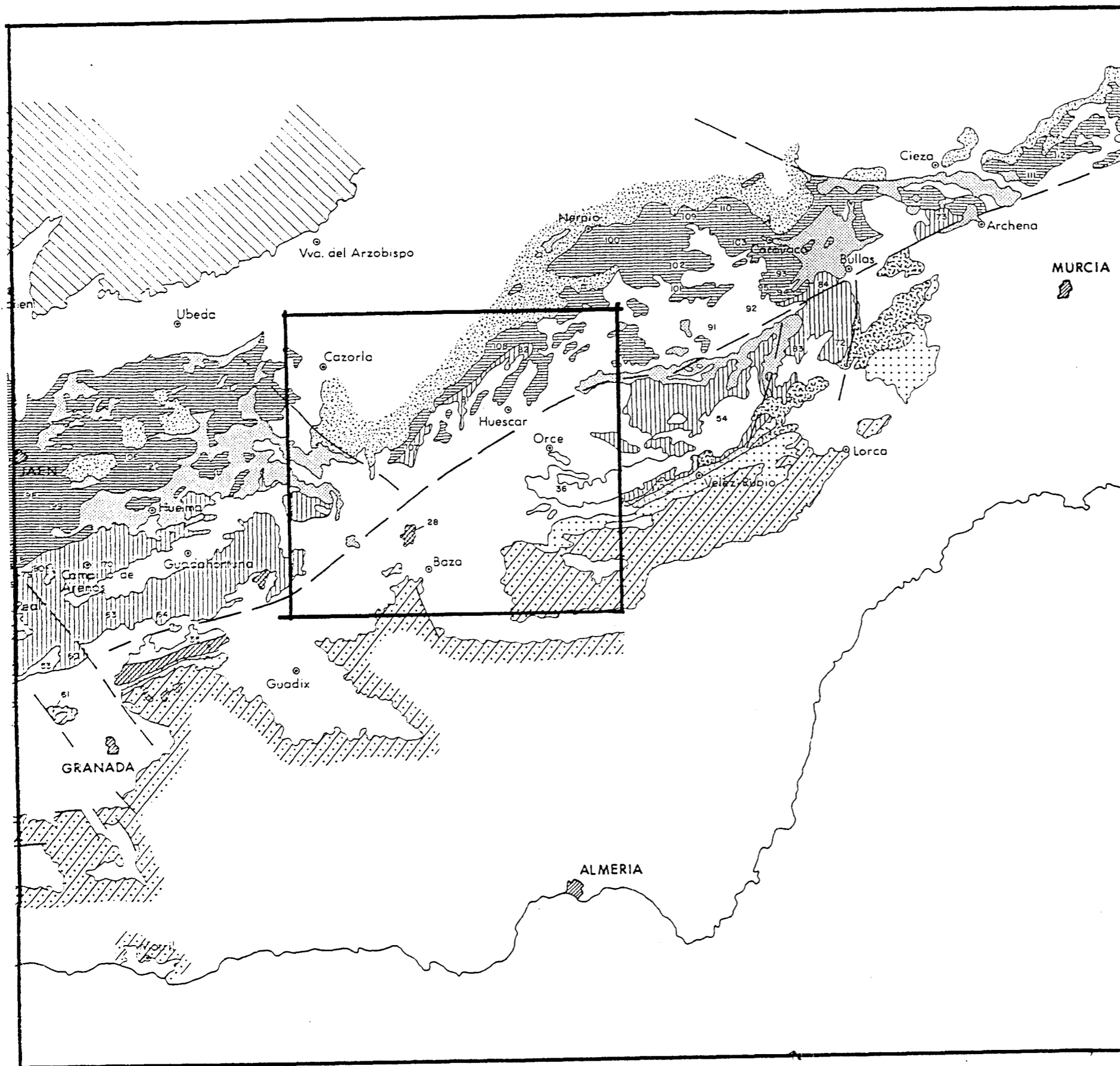
SITUACION GEOGRAFICA  
DE LA CUENCA DE BAZA



Escala gráfica

Fig. 43





**LEYENDA**

- Neógeno y Cuaternario
- Formaciones aliostrómicas tectono-sedimentarias o tectónicas -CLISTOS-
- Prebético
- Triásico - SUB
- Flysch ultras - F.U.
- Flysch mediano - F.M.
- Subbético externo - SUBEX
- Subbético medio - SUBME
- Subbético interno - SUBIN
- Zona Circumbética
- Maláguide
- Nevado-Filábride y Alpujárride

**SITUACION GEOLOGICA DE LA CUENCA DE BAZA**

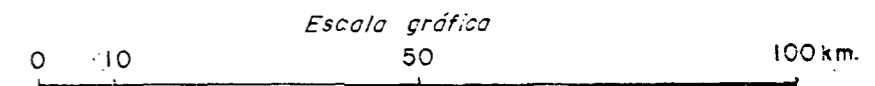


Fig. 44

Tomado de Baero y Jerez (1.982)

- La Formación de Gorafe - Huélago:

Se trata de una formación lacustre constituida por margas y limos con niveles carbonatados y miembros yesíferos. Geográficamente está parcialmente rodeada por la Formación de Guadix.

- La Formación de Baza:

Tiene características sedimentarias de una cuenca confinada evaporítica.

La estratigrafía de la Cuenca de Baza está representada por una serie inferior (Mioceno inferior y medio) claramente marina, constituida por un conjunto basal de calcarenitas bioclásticas y conglomerados y un conjunto superior de margas y limos blanquecinos, gris azulados en corte fresco, con areniscas intercaladas. Las series pertenecientes al Mioceno medio encontradas en la zona más meridional de la Cuenca de Baza se encuentran al Sur de Caniles y están constituidas por facies detríticas en general, con intercalaciones de bancos con gran contenido en lamelibranquios y fauna costera.

La serie Mioceno superior-Plioceno de la Cuenca de Baza está representada por un conjunto de facies con disposición anular en las que los tramos del centro de la cuenca hacia los bordes son facies evaporíticas de yesos laminados y arcillas margosas, calizas y margocalizas, y facies conglomeráticas. La conexión con la Depresión de Guadix está constituida por un conjunto de arcillas rojizas y oscuras denominadas Arcillas del Negratín.

El Cuaternario está compuesto por facies conglomeráticas.

### 2.5.2. LOS MATERIALES DEL BORDE

Los materiales que bordean la Cuenca de Baza pertenecen a las Zonas Internas y Externas de las Cordilleras Béticas. Los materiales de las Zonas Internas afloran en la Sierra de Baza y en su continuación hacia el Este, la Sierra de los Filabres.

El Jabalcón, y las Sierras de Castril, Huéscar, la Sagra y Orce pertenecen a las denominadas Zonas Externas.

#### Zonas Internas

En este sector de las cadenas Béticas afloran materiales pertenecientes al denominado Complejo Alpujárride y al Complejo Nevado-Filábride. Estas unidades se encuentran superpuestas tectónicamente siendo la superior la Alpujárride y la inferior la Nevado-Filábride.

La secuencia Nevado-Filábride está compuesta por series pelíticas de metamorfismo de grado medio y alto.

La secuencia litoestratigráfica que aparece en la Sierra de Baza está integrada por materiales pertenecientes al Complejo Alpujárride y en menor medida al Complejo Nevado-Filábride.

El Complejo Alpujárride está constituido por cuatro unidades tectónicas que de abajo a arriba se denominan:

- Unidad de Santa Bárbara
  
- Unidad de Quintana
  
- Unidad de Blanquizares
  
- Unidad de Hernán Valle

Estas Unidades presentan un mayor grado de metamorfismo cuanto más altas se encuentran dentro de la pila de unidades. La secuencia alpujárride tipo está integrada por un conjunto inferior pelítico de edad Paleozoica y un conjunto superior carbonatado de edad triásica.

La secuencia más completa la exhibe la Unidad de Santa Bárbara. La serie litoestratigráfica sintética de estas unidades es de abajo a arriba:

- Filitas grises azuladas y violetas. Se trata de un potente tramo de filitas azuladas, grises y rojizas con algunas intercalaciones cuarcíticas y conglomeráticas. No se descarta la presencia de niveles de origen piroclástico. La edad de este tramo es de manera genérica Permo-Werfeniense.
  
- Conjunto inferior metacarbonatado de naturaleza algo arcillosa y de edad Anisiense, que intercalan filitas y cuarcitas. En él abundan las facies de laminitas de algas y calcarenitas de playa.
  
- Conjunto dolomítico, con niveles calizo-margosos en la base con pistas y bioturbaciones. En él se desarrollan ciclotemas carbonatados compuestos por laminitas algales, facies de playa, bioconstrucciones de algas, corales y esponjas y facies lagunares algales y micríticas. La edad es Anisiense Superior.

- Conjunto de calizas tableadas con intercalaciones dolomíticas y arcillosas y niveles de calizas con silex. La edad de este tramo es Ladiniense.
- Arcillas, calcoesquistos yesos y calizas del Carniense.
- Conjunto de dolomías mareales muy fracturadas con facies algales y de esponjas y algas de edad Noriense.

### **Zonas Externas**

Las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas están caracterizadas por la presencia de materiales esencialmente de edad jurásica y cretácica, y en menor medida de edad paleógena. No hay que olvidar la presencia de facies triásicas de carácter evaporítico (Trías Keuper) con importantes fenómenos diapíricos.

Las Zonas Externas se organizan en dominios geodinámicos apilados tectónicamente y series sin metamorfismo. Las facies triásicas sirven de nivel de despegue para los corrimientos de las unidades. Los subdominios establecidos para las Zonas Externas en este sector se denominan de Sur a Norte:

- Subbético Interno (Sierra del Jabalcón y Sierra de Orce)
- Subbético Externo (Sierras de la Sagra y de Huéscar)
- Prebético Interno (Sierra de Castril)

La asignación de la Sierra del Jabalcón al Subbético Interno no es compartida por muchos autores, que prefieren asignarla a las formaciones de la Dorsal Calcárea o incluso otros a la cobertera del Complejo Maláguide.

Tanto las series del Subbético Interno como las del Externo están representadas por facies carbonatadas de calizas micríticas de plataforma de edad liásica en general. Tanto el Lías superior, como el Dogger y el Malm presentan numerosas lagunas y estratigráficas y series muy condensadas representadas por margocalizas y margas. Las series cretácicas son margosas en general.

Las series del Prebético Interno están constituidas por una secuencia jurásica de plataforma muy desenraizada y muy tectonizada y un Cretácico inferior de facies de plataforma donde son frecuentes los complejos de carbonatados dolomíticos. El Cretácico superior está constituido por series fundamentalmente costeras.

El Trías de facies Keuper aflora en los alrededores de Pozo Alcón y en los diapiros que jalonan el cauce del Guadiana Menor. Litológicamente está constituido por una serie de arcillas y margas versicolores con intercalaciones areniscosas y yesos rojizos y blancos, además de cuerpos ofíticos muy alterados, todo con una estructura muy caótica y desordenada propia de tectofacies diapíricas.

### **2.5.3. LITOESTRATIGRAFIA**

Bajo el nombre de Formación de Baza se define un conjunto litoestratigráfico constituido por rocas de precipitación química (carbonatos y evaporitas) y que se extiende desde Baza hasta Huéscar y desde Caniles hasta Cortes de Baza.

La disposición subhorizontal de los miembros de esta formación hace que no se conozca su base, y que solo aflore su parte superior. Por la diferencia de cotas que existe en la región solo se conocen los trescientos metros superiores de serie. No obstante la potencia de la formación debe de ser muy superior, ya que perfiles sísmicos realizados en zonas próximas ponen de manifiesto la presencia de horizontes atribuibles al Neógeno de más de mil metros de potencia.

La fauna y microfauna presente en la formación de Baza no sirve para datar con precisión la edad de este conjunto litológico, pero si es válida como ayuda para determinar los medios sedimentarios donde se desarrolló.

De manera general se puede asignar una edad de Messiniense superior al Plioceno para este conjunto, por comparación con otras cuencas y por correlación con los horizontes datados en la Formación de Guadix, aunque en la Formación de Baza no afloran términos inferiores al Plioceno.

La litología general de la Formación de Baza está constituida por un conjunto de calizas margosas y margocalizas con intercalaciones arcillosas y de horizontes ricos en yesos.

La disposición de las litologías es anular dando el aspecto de una cuenca confinada con poca cantidad de aportes de los relieves circundantes. Las litologías de los diferentes anillos se pueden resumir de la siguiente forma:

- Zona Externa: Constituida por facies conglomeráticas y arenosas de colores rojizos y pardoamarillentos en la zona Sur (Arenas de Caniles y más al Sur) y colores amarillentos en la zona Norte (conglomerado de Pozo Alcón).
- Zona Intermedia: Está constituida por calizas y margocalizas de color blanquecino en bancos desde métricos hasta centimétricos con intercalaciones margosas y limosas de color blanco y gris. Se extiende desde el Suroeste de Baza, a las faldas meridionales del Jabalcón y proximidades de Zújar y en los alrededores de Cuevas del Campo, localidad de la que toma el nombre este miembro.

- **Zona Interna:** Esta representada por un conjunto arcilloso y margoso alternante con pequeñas capas de carbonatos y niveles de yesos de grano fino a medio de colores blancos a grises y con potencias desde centimétricas a decimétricas. Es importante reseñar la existencia de niveles, de orden métrico, de limos margosos amarillentos y blancos con gran cantidad de cristales de yeso con macla en punta de flecha, que en algunos casos alcanzan tamaños superiores a los 30 cm y son mayoritarios frente a las margas y los limos.

Esta disposición concéntrica de las facies responde a la de una cuenca confinada sin comunicación con el mar abierto, por lo menos en la parte superior de la secuencia.

Son frecuentes las intercalaciones de niveles centimétricos con restos de lamelibranchios distribuidos a lo largo de toda la serie.

Los cambios de facies en relación con la Formación Gorafe-Huélago y con la Formación de Guadix se realizan al Noroeste del Jabalcón y están representados por indentaciones de facies arcillosas y margosas en el miembro denominado Arcillas del Negratín.

También son visibles las relaciones con los miembros detríticos de la Formación Serón-Caniles y arenas de Caniles al Sur.

#### **2.5.4. TECTONICA**

La estructura tectónica de la región de Baza está caracterizada por la existencia de fracturas de salto en dirección que son las que compartimentan la cuenca de



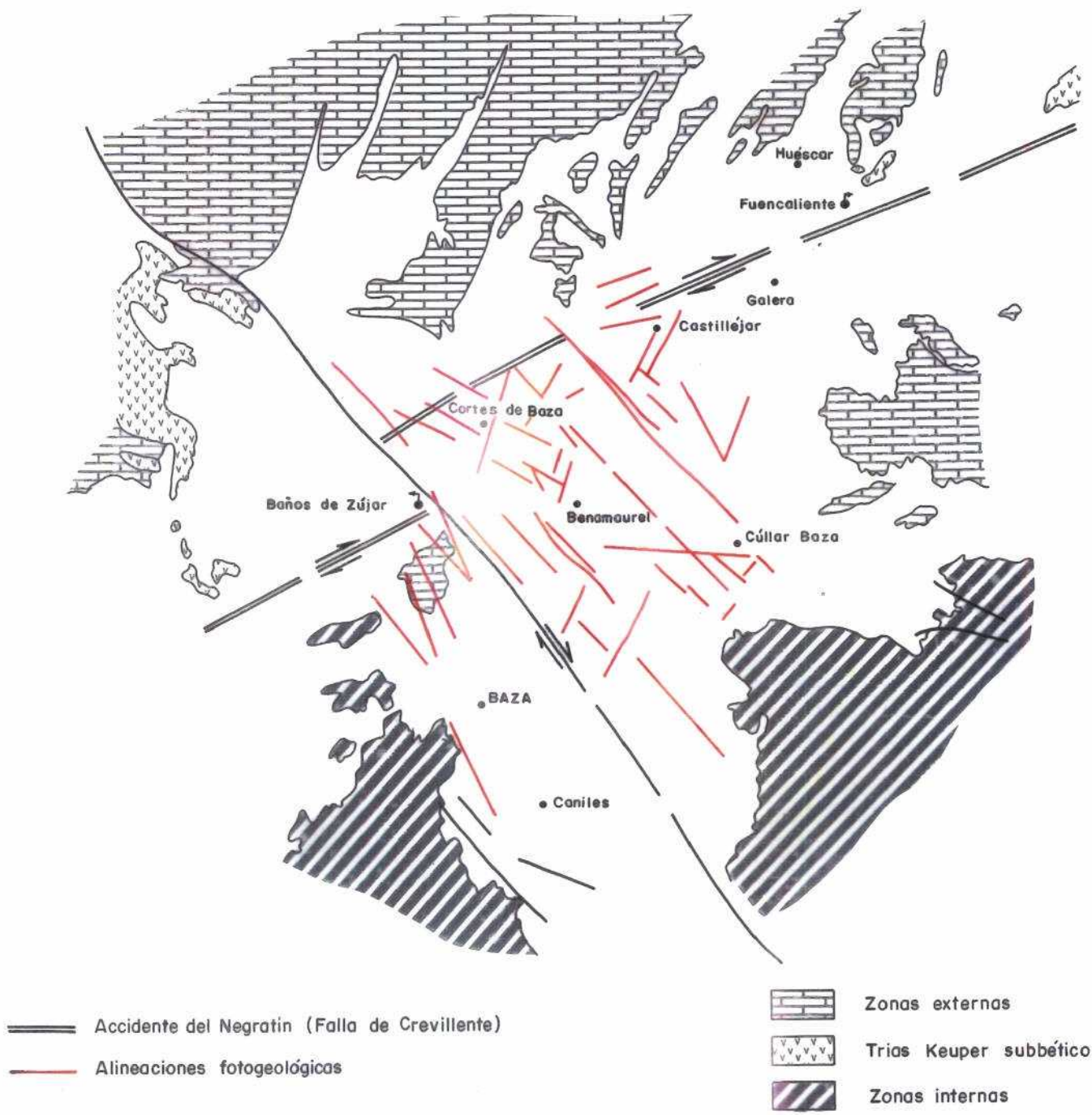


Fig. 45.- Cuadro estructural de la cuenca de Baza

Este a Oeste y de Norte a Sur, además de la compartimentación con las demás formaciones de toda la depresión.

Asociados a estas estructuras existen pequeños pliegues de arrastre de amplitud variable, pero nunca superan los 100 m y son muy laxos.

Las principales estructuras se agrupan en dos juegos:

- N140°E de carácter dextral
- N70°E asociadas al contacto de las Zonas Internas y las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas y con saltos verticales en general.

Las manifestaciones diapíricas están alineadas según el juego N70°E y las diferenciaciones dentro de las formaciones sedimentarias de la cuenca al juego N140°E. La conjugación de ambos sistemas hace que la máxima extensión de la cuenca de Baza sea en dirección Norte-Sur y las secuencias de facies sean más patentes en la dirección N140°E. Los saltos en la vertical de estas fracturas varían de varios metros a las decenas de metros.

Asociadas a los cruces de estas estructuras se encuentran manifestaciones termales, Baños de Zújar y Fuencaliente de Huéscar, como más conocidas, pero existen en la zona más, Parpacén, Galera, Orce, etc. La temperatura de estas surgencias es elevada, del orden de los 40°C en superficie, lo que supone acuíferos de más de 80°C en profundidad.

El macizo del Jabalcón presenta fracturas con las mismas direcciones antes citadas. La actividad de estas fracturas debe de comenzar al menos en el Mioceno medio superior para ambos juegos, independientemente de que el juego N70°E sea anterior y solo haya rejugado.

Las alineaciones diapíricas parece que extruyeron en el Mioceno Superior y condicionaron de alguna manera las diferentes facies de la cuenca.

## **2.5.5. ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO**

Los trabajos realizados en la Cuenca de Baza han consistido, en primer lugar en una revisión exhaustiva del Catastro Minero de la provincia, tanto antiguo como moderno, en segundo lugar un levantamiento de series litoestratigráficas para definir las unidades presentes en la zona y su medio de depósito. Posteriormente se han levantado los indicios de mineralizaciones de azufre de la zona para finalmente realizar una cartografía de detalle a escala 1:25.000 de la zona seleccionada como más favorable.

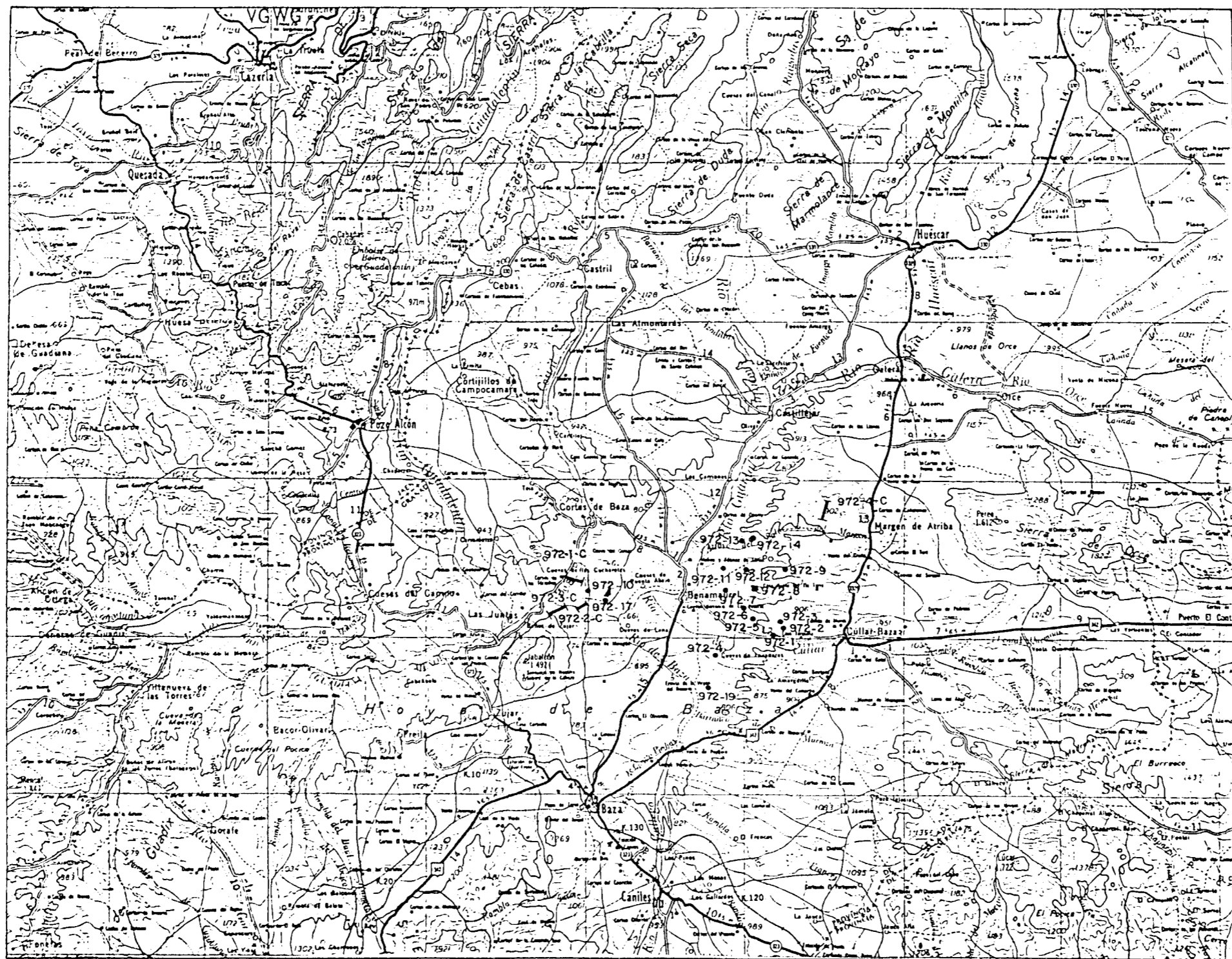
En total se han levantado 719 m de serie litoestratigráfica a escala 1:200, 19 indicios mineros y un total de 315 km<sup>2</sup> de cartografía a escala 1:25.000 y la revisión del Catastro Minero junto con un mapa de síntesis de la Cuenca a escala 1:100.000.

### **2.5.5.1. CATASTRO MINERO**

De la revisión del Catastro minero de la Provincia de Granada se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Solo han existido demarcaciones y registros para azufre en la Cuenca de Baza, y en particular en el término municipal de Benamaurel.

Los datos que constan en la Jefatura de Minas de Granada hacen referencia a una Reserva a favor del Estado denominada Mina de Benamaurel y data del año 1900. Además existen pequeñas demarcaciones colindantes con esta Mina que datan de la misma época o ligeramente posteriores.



● 972-6 Indicios de azufre  
 ↗ 972-4.C Situación de columnas estratigráficas

**SITUACION DE INDICIOS  
 Y COLUMNAS LITOSTRATIGRAFICAS**

0                      10                      20                      30km.  
 Escala gráfica

Fig. 46

Después de cancelada la Reserva del Estado existen concesiones sobre la misma superficie hasta el año 1.965.

Otro grupo de denuncias, aunque puestas para azufre, deben de corresponder a aprovechamientos e investigaciones para aguas termales ya que se sitúan en las faldas del Jabalcón e incluyen los actuales Baños de Zújar.

A Septiembre de 1990, toda la zona que presenta mineralizaciones y minados antiguos de azufre se encuentra, libre, franca y registrable.

#### 2.5.5.2. ESTUDIOS ANTERIORES

Son conocidos desde antiguo los criaderos de azufre de la zona de Benamaurel. En el año 1918 se publica en el Boletín del IGME un trabajo de G. O'SHEA y E. DUPUY DE LOME sobre los criaderos de azufre de la región de Benamaurel. En este trabajo se determina la presencia de siete horizontes portadores de azufre y se le asigna un origen metasomático de alteración por hidrocarburos al azufre, destacan, como muy probable, un importante yacimiento en profundidad.

Hasta la década de los setenta no se vuelven a hacer referencias a este yacimiento y es dentro del Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales. En la monografía referente al azufre se cita este yacimiento y las conclusiones respecto a su importancia se retoman de las de G. O'SHEA y E. DUPUY DE LOME. Igual ocurre con el Mapa Metalogénico de España a escala 1:200.000 nº 78 (BAZA) donde se toman las referencias de los autores anteriores.

Hay que esperar hasta 1983 a la publicación de E.M. SEBASTIAN-PARDO, A. GARCIA CERVIGON y M. RODRIGUEZ GALLEGO en la Revista de la Academia de Ciencias de Granada sobre el "Yacimiento de azufre nativo de Benamaurel: Génesis y mineralogía de las arcillas asociadas". En este trabajo se revisan algunas de las zonas minadas en la antigüedad y se concluye que el origen

del yacimiento hay que buscarlo en un azufre singenético o biosingenético ayudado por desecaciones temporales de la cuenca en un medio típico de albufera o lagoon.

En 1985 el ITGE realiza un trabajo denominado Posibilidades de las Mineralizaciones de Azufre biogénico en la Península Ibérica en el que se estudian tres grupos de labores mineras y se concluye que el metasomatismo en profundidad ha debido de ser más alto por lo que la zona es muy interesante.

En 1986 el ITGE realiza un estudio sobre las posibilidades para lignito en las Depresiones Béticas dentro del PEN, pero solo se estudian los niveles de lignitos asociados a las calizas de Cuevas del Campo. En 1989 el ITGE realiza un estudio dentro del Plan Energético Nacional sobre las posibilidades de lignitos en la zona de Cortes de Baza. En este proyecto se realizan varios sondeos en el miembro carbonatado de la Formación de Calizas de Cuevas del Campo. En uno de ellos se corta la relación de facies con el miembro evaporítico de las evaporitas de Benamaurel.

En 1985 la Consejería de Economía e Industria de la Junta de Andalucía publica el Mapa Geológico-Minero de Andalucía y en el se nombran los yacimientos de azufre Baza y Benamaurel.

Dentro de los estudios de carácter general hay que señalar la importancia de los Trabajos de VERA (1970): Estudio Estratigráfico de la Depresión de Guadix-Baza, la Tesis Doctoral de J.A. PEÑA (1979) sobre la misma zona, y la Tesis Doctoral de E. SEBASTIAN PARDO (1979) sobre la mineralogía de las arcillas de este sector.

Los estudios se han concentrado en la zona donde afloran las facies evaporíticas, que es donde se encuentran los principales minados de la zona.

### 2.5.5.3. DESCRIPCION DE LAS SERIES

La totalidad de las series levantadas se encuentran dentro del tramo evaporítico de la formación de Baza. Solo la serie del Jabalcón y las de Cortijo Grande y Río Castril - Los Términos incluyen parte de los términos detríticos y carbonatados de la Formación de Calizas de Cueva del Campo.

La homogeneidad en la litología es el factor dominante de todas las series. Se trata de una alternancia de niveles arcillosos y margosos de aspecto varvado con intercalaciones centimétricas de yesos de grano fino a medio de color blanco y gris. Son frecuentes los bancos de limos margosos compactos de 50 cm a 2 m con cristales de yeso con macla en punta de flecha de tamaños centimétricos hasta los 30 cm. Este tipo de cristales de yeso se producen en la diagénesis y provienen de la cristalización de los sulfatos presentes en las aguas intersticiales, independientemente de que se nucleen a partir de niveles arenosos de color amarillento o grisáceo.

No obstante y a grandes rasgos se pueden realizar las siguientes diferenciaciones:

- Parece que al Sur de la Cuesta del Peral desaparecen los niveles carbonatados (Columnas de la Cuesta del Peral, Cortijo de las Lavaderas y Las Hermanillas).
- De la misma forma en el perfil de la Rambla de Castillejar los carbonatos se sitúan a techo de los niveles evaporíticos.
- En la zona occidental no se observan apenas niveles carbonatados.
- Las series alternantes con carbonatos y evaporitas se circunscriben al sector comprendido entre el río de Benamaurel, al Oeste, el río de Cullar, al Sur, el sector del Minado, al Este, y la zona de glaciais del Sur de Castilléjar al Norte.

- Los niveles arenosos se concentran en los perfiles de Camarillas, Los Términos-Cortijo del Negro, los Burgos y el Torrejón. Es asimismo en estos perfiles y en sus tramos arenosos donde se localizan los nivelillos ricos en lamelibranchios.
- Los perfiles de Camarillas, Cuesta del Peral y Río Castril-Los Términos incluyen, de alguna manera, el contacto entre un miembro más evaporítico de la serie a techo y uno más detrítico, o menos evaporítico en posición basal.
- Destacar que en la cuenca existen períodos de inestabilidad durante el depósito de la serie evaporítica, como lo demuestra la presencia de gravas y slumping en el perfil de Camarillas.

El medio sedimentario en el que se depositó esta serie parece corresponder a un lago evaporítico muy somero, incluso con desecaciones parciales, aislado del mar abierto, por lo menos desde el Plioceno.

El hecho de que no existan grandes capas de evaporitas puede deberse al propio mecanismo de depósito. Como se ha apuntado en el capítulo de tectónica las facies diapíricas intruyen a partir de Mioceno superior lo que hace que los bordes de la cuenca pliocena estén conformados por grandes afloramientos triásicos de facies keuper (Trias de Pozo Alcón, Diapiro del Negratín, Trias de Huéscar-Puebla de Don Fadrique, etc.) que han podido ser lixiviados y aportar a la cuenca endorreica una cantidad de sulfatos elevada de manera estacional. Este mecanismo explicaría la presencia de facies varvadas lacustres con intercalaciones periódicas de evaporitas de pequeña potencia.

La marcada diferencia de las facies evaporíticas de la Formación de Baza y de las facies evaporíticas de la Formación de Gorafe-Huélago (Sector del Alto de los



Pinos, situado al Oeste del Negratín) y la presencia de paligorskita y paragonita, filosilicatos lacustres en sentido amplio, apoyan esta conclusión.

Por otra parte la zona donde las evaporitas son más patentes está espacialmente relacionada con los afloramientos triásicos de los bordes.

La imposibilidad de conocer las series más basales de la cuenca hace que esta hipótesis de trabajo solo sea válida para las facies pliocenas, no obstante la presencia de los fenómenos diapíricos es Mioceno superior por lo que se desconoce la influencia de las facies triásicas en el depósito de las series messiniense basales, generalmente más margosas.

#### 2.5.5.4. INDICIOS

En el sector de Benamaurel se han levantado 19 indicios de azufre. En estos indicios se han agrupado zonas con minería más o menos abundante y solo se ha levantado un indicio donde no existen labores mineras (Indicio 972-13 El Portillo de Arriba). Por otra parte en los Indicios nº 972-12, 972-14 y 972-5 además de existir labores mineras antiguas aparecen niveles con azufre sin ningún tipo de minería.

En los indicios nº 972-2, 972-4, 972-6, 972-15, 972-18 y 972-19 se observan pozos pero no se observan galerías abiertas en capa mineralizada, no obstante en las escombreras se observa azufre.

El azufre presente en los indicios de la Cuenca de Baza es de tipo pulverulento de grano fino y color amarillo claro muy puro en su composición. La mineralogía presente es de azufre nativo alterado a sulfatos de diferentes tipos de manera supergénica debido a su inestabilidad química. En las paredes de las galerías y trancadas se observan esfluorescencias, de epsomita, con pequeñas proporciones

de hexahidrita y kieserita que se presentan en forma de agregados fibrosos de colores de blanco a gris.

El azufre de la Cuenca de Baza presenta las siguientes morfologías:

- Nódulos de tamaño variable desde 1 cm a 8 cm de azufre pulverulento rodeados por una fina película de óxidos de hierro de color amarillento y yeso, dentro de series con yeso, facies margoarcillosas, e incluso con facies orgánicas (972-1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17).
- Niveles de azufre pulverulento de hasta 5 cm con continuidades laterales de hasta 4 m (972-10, 14, 17).
- Pátinas de tamaño milimétrico de azufre compacto sobre capas de yeso de grano fino o diseminado en el mismo (972-3, 5, 12, 14).
- Nódulos y filoncillos de azufre compacto dentro de cristales de yeso con maclas en punta de flecha (972-2, 3, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 16, 19).
- Filoncillos de azufre cristalizado de color amarillo fuerte de hasta 3 cm dentro de horizontes carbonatados (972-14).

El primer y cuarto tipo son los más comunes dentro del conjunto de indicios estudiados, además de ser los más intensamente minados en la antigüedad.

Los niveles con azufre se organizan en bancos desde 1 m de potencia hasta 3 m de potencia donde aparecen de 2 a 7 niveles con azufre de los tipos antes descritos. Se han podido definir hasta siete niveles con azufre en toda la depresión. Estratigráficamente hablando, en una potencia de serie aflorante del orden de los 100 m se encuentran estos siete niveles, como mínimo, ricos en azufre.

#### 2.5.6. AREAS SELECCIONADAS

Dentro de la Depresión de Baza se ha seleccionado la zona de Benamaurel por ser la que presenta afloramientos con azufre. De la cartografía realizada a escala 1:25.000 se deduce que los horizontes con azufre no están directamente relacionados con los niveles con yeso, salvo en el caso de los cristales con la macla en punta de flecha, y sí con la sedimentación varvada de la cuenca.

Se deduce, del mismo modo, que entre el juego de fracturas N140°E y el juego N70°E existente desde Benamaurel hasta el Minado se concentran la mayor parte de las explotaciones, excepción hecha de los indicios del Llano de Camarillas y de las Cuevas del Conejo o las Hermanillas.

Sin embargo no se observa que en las proximidades de las fracturas la cantidad y calidad de los indicios sean más patentes.

#### 2.5.7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

La Cuenca de Baza se encuentra al Norte de la provincia de Granada. Se trata de una superficie peneplanizada que se encuentra alrededor de la cota 1.000 m.snm. limitada al Sur y Suroeste por la Sierra de Baza y Sierra del Jabalcón, al Norte por las Sierras de Castril, Huéscar y la Sagra, y al Este por la Sierra de Orce.

Geológicamente la Cuenca de Guadix-Baza es una Depresión Intramontañosa individualizada durante el Mioceno situada en el contacto de las Zonas Internas (Sierra de Baza) y de las Zonas Externas (Jabalalcón, Castril, Huéscar, la Sagra y Orce) de las Cordilleras Béticas.

Las series de las Zonas Internas están representadas por facies dolomíticas del Triás de facies Alpinas y las Zonas Externas presentan un conjunto carbonatado y margoso perteneciente al Jurásico y Cretácico.

Los sedimentos pertenecientes al Mioceno medio son muy escasos y están representados por calcarenitas, margas y conglomerados. Las series pertenecientes al Mioceno Superior y Plioceno son las mejor representadas y constituyen una tabla subhorizontal compuesta por una sucesión de facies organizadas en tres formaciones de rango mayor que representan la colmatación de una cubeta interior de tipo evaporítico.

La Formación de Guadix se encuentra situada en el sector occidental y presenta depósitos de facies fluviales, meandriformes y anastomosadas.

La Formación de Gorafe-Huélogo está constituida por facies lacustres carbonatadas y evaporíticas.

La Formación de Baza es la que se sitúa en la parte más oriental de la Depresión. Presenta una distribución concéntrica de facies y se interdigita con la Formación de Guadix y la Formación de Gorafe-Huélogo en las proximidades del Negratín por medio de las denominadas Arcillas del Negratín.

Las facies externas de la Formación de Baza están constituidas por materiales detríticos conglomeráticos y arenosos (Formación de Serón-Caniles, Arenas de Caniles y Conglomerado de Pozo Alcón). Las facies intermedias están representadas por margas, calizas y margocalizas del miembro denominado Calizas de Cuevas del Campo. Las facies más internas están representadas por las Evaporitas de Benamaurel.

Las Evaporitas de Benamaurel son un conjunto muy potente arcilloso y margoso alternante con pequeñas capas de carbonatos y niveles de yesos de grano fino a medio de colores blancos a grises y con potencias desde centimétricas a decimétricas. Es importante reseñar la existencia de niveles de orden métrico de limos margosos amarillentos y blancos con gran cantidad de cristales de yeso con macla

en punta de flecha, que en algunos casos alcanzan tamaños superiores a los 30 cm y son mayoritarios frente a las margas y los limos.

Gran parte de las evaporitas de Benamaurel deben provenir del depósito de aguas sobresaturadas en sulfatos aportadas por la lixiviación de las facies diapíricas circundantes, su textura y disposición espacial apoyan esta idea.

La estructura tectónica de la Depresión de Baza está caracterizada por la presencia de estructuras cortantes de dirección N140°E dextrosas y N70°E con saltos verticales. Esta estructuración es la responsable de la separación con la cuenca de Guadix y de la extensión NS de la Cuenca de Baza.

Las alineaciones diapíricas que limitan la Cuenca de Baza al Este y al Oeste están asociadas a las estructuras N70°E, que además son la dirección del contacto entre las zonas Internas y las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas.

La edad de estas estructuras debe ser al menos Mioceno Superior.

Son conocidos desde antiguo los yacimientos de azufre de la zona de Benamaurel. Dieron lugar por su importancia a una Reserva del Estado en el año 1900. Desde la década de los treinta la actividad minera de la zona se va reduciendo hasta cesar todo tipo de actividad en la década de los sesenta.

La minería de la comarca de Benamaurel está representada por pequeños cotos mineros donde el mineral se explotaba por medio de pequeñas trancadas y pozos de extracción. Aunque muy intensa, por la multitud de labores existentes, no tenía gran magnitud ya que el volumen de las escombreras de los pozos y trancadas es relativamente pequeño. Solo la minería de la década de los sesenta tiene un volumen más grande, está representada por grandes galerías de sección cuadrada y más de 50 m de longitud (Indicio 972-14).

El azufre de la Cuenca de Baza presenta las siguientes morfologías:

- Nódulos de tamaño variable desde 1 cm a 8 cm de azufre pulverulento rodeados por una fina película de óxidos de hierro de color amarillento y yeso, dentro de series con yeso, facies margoarcillosas, e incluso con facies orgánicas.
- Niveles de azufre pulverulento de hasta 5 cm con continuidades laterales de hasta 4 m.
- Pátinas de tamaño milimétrico de azufre compacto sobre capas de yeso de grano fino o diseminado en el mismo.
- Nódulos y filoncillos de azufre compacto dentro de cristales de yeso con maclas en punta de flecha.
- Filoncillos de azufre cristalizado de color amarillo fuerte de hasta 3 cm dentro de horizontes carbonatados.

El primer y cuarto tipo son los más comunes dentro del conjunto de indicios estudiados, además de ser los más intensamente minados en la antigüedad.

Los niveles con azufre se organizan en bancos desde 1 m de potencia hasta 3 m de potencia donde aparecen de 2 a 7 niveles con azufre de los tipos antes descritos. Se han podido definir hasta siete niveles con azufre en toda la depresión. Estratigráficamente hablando, en una potencia de serie aflorante del orden de los 100 m se encuentran estos siete niveles, como mínimo, ricos en azufre.

El hecho de que la extensión de las capas portadoras sea muy grande y la ausencia, por lo menos en superficie, de materiales con altos contenidos en materia orgánica de carácter kerogénico sumado a la falta de carbonatos de sustitución, la

baja permeabilidad de las series y la propia morfología de los niveles con azufre hace pensar que no se trate de un yacimiento de origen bioepigénico, por lo menos en lo referente a los niveles que afloran.

Más parece el resultado de un proceso singenético en el que la reducción de sulfatos por desecación temporal ayudado por la presencia de bacterias de tipo aneorobio, propias por otra parte de las facies de lagoon y similares.

Se puede descartar un origen epigenético, en cambio es difícil decantarse por un origen singenético o biosingenético, aunque este último sea el más probable.

Es importante hacer notar que no se conoce la potencia del tramo evaporítico, y por tanto del potencial de azufre de la zona. No existen perfiles sísmicos que de alguna forma ayuden a conocer la estructura interna profunda de la Cuenca de Baza. Sin embargo la existencia de una cubeta con una deposición miopliocena en el sector de Caniles con más de 1.500 m de potencia hace suponer que en la cuenca de Baza esta potencia sea mayor.

Si se superpone a esta conclusión anterior la existencia de un termalismo acusado de alta temperatura en la zona, y la alta impermeabilidad de las facies superiores es lógico pensar que las posibilidades de encontrar un yacimiento de origen biogénico son muy grandes. Las facies del Mioceno medio de la zona son potencialmente grandes generadoras de materia orgánica de tipo kerogénico que suministraría los hidrocarburos necesarios para la formación de yacimientos de este tipo.

### **2.5.8. RECOMENDACIONES**

Para comprobar y definir específicamente las posibilidades de esta cuenca en cuanto a azufre elemental es necesario realizar sondeos mecánicos, emplazados en los sectores de antiguos minados mas importantes. Estos sondeos deben ser al menos de 200 m de profundidad.



## 2.6. CUENCA DEL ALMERIA

### 2.6.1. SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA

La Cuenca de Almeria se localiza en el extremo meridional de la provincia de Almeria. Sus límites geográficos son al Norte la Sierra Alhamilla, al Oeste la Sierra de Gádor y al Sur y al Este el Mar Mediterráneo y en menor medida la Serrata de Níjar y la Sierra del Cabo de Gata. Los accesos se realizan por la carretera N-340, que discurre entre las Sierras de Alhamilla y Gádor hacia a Almería en su trazado antiguo, y desde Almería en dirección al Alquíán y Níjar en el nuevo, recorriendo la cuenca de Norte a Sur y Este a Oeste. Existe una red importante de carreteras locales, comarcales y vecinales, así como numerosas pistas en la zona que comunican las diferentes poblaciones.

El cauce más importantes del área está constituido por el río Andarax, que drena la zona de Norte a Sur en su parte más occidental y por numerosas ramblas que vierten al Mediterráneo en todo el sector oriental.

Geológicamente la Cuenca de Almeria es una Depresión Intramontañosa individualizada en el Terciario dentro de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas.

Las Zonas Internas en este sector de la Cadena Bética están representadas por una sucesión de unidades apiladas tectónicamente siendo la más basal el Complejo Nevado-Filábride y la superior el Complejo Alpujárride.

Las mineralizaciones de azufre de la zona son conocidas desde antiguo y se encuentra asociadas al borde oriental de la Sierra de Gádor en el contacto entre las zonas Internas y los materiales neógenos del valle del Andarax. Estas mineralizaciones han sido explotadas en las proximidades de Benahadux y en las Balsas de Gádor, a 9 km al Suroeste de dicha población.

En los materiales alpujárrides de la Sierra de Gádor son frecuentes las antiguas explotaciones para plomo y cinc, así como más modernamente para fluorita. En la Sierra Alhamilla predominan las explotaciones de hierro sobre las de Pb-Zn.

### **2.6.2. MARGENES DE LA CUENCA**

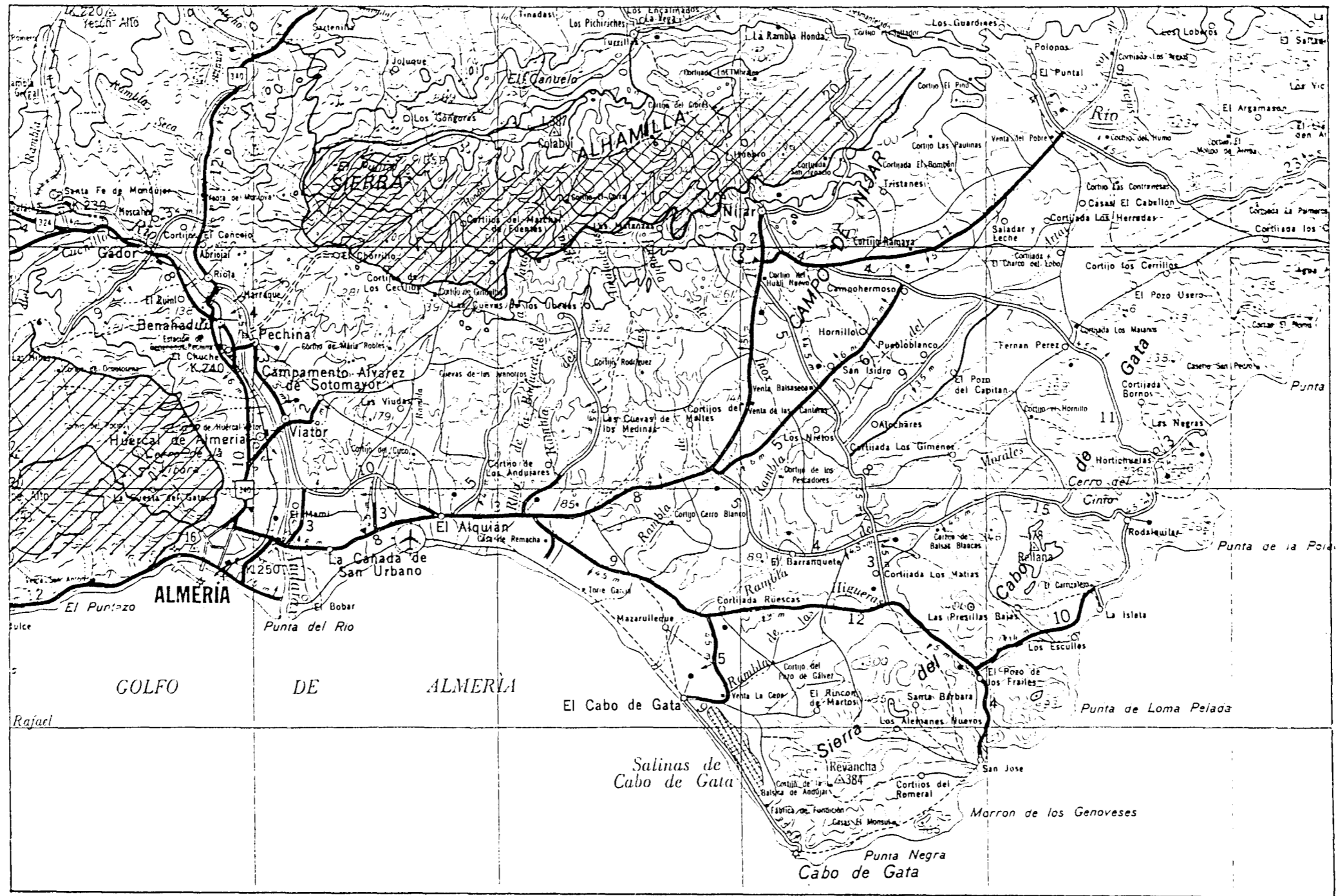
Considerando como límites geológicos de la Cuenca de Almería los macizos de Sierra de Gádor y la Sierra Alhamilla solo existe un corredor de materiales neógenos que la conecta con las cuencas del Andarax y Tabernas, justamente entre los bordes orientales de Sierra de Gádor y occidentales de Sierra Alhamilla.

Estos dos macizos están constituidos por materiales pertenecientes a las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas. En este sector de las Cadenas Béticas afloran materiales pertenecientes al denominado Complejo Alpujárride y al Complejo Nevado-Filábride. Estas unidades se encuentran superpuestas tectónicamente siendo la superior la Alpujárride y la inferior la Nevado-Filábride.

En el núcleo de Sierra Alhamilla aflora el Nevado-Filábride orlado por los materiales alpujárrides y en la Sierra de Gádor solo afloran materiales pertenecientes al Complejo Alpujárride.

#### **Complejo Nevadofilábride**

El Complejo Nevado - Filábride aflora en el núcleo de Sierra Alhamilla y está constituido por dos unidades metamórficas superpuestas tectónicamente. La inferior está constituida por una potente serie de micaesquistos gris verdosos a negros con potentes intercalaciones a techo de cuarcitas feldespáticas y niveles conglomeráticos. Se le atribuye a esta formación una edad paleozoica y tradicionalmente se ha asignado al denominado Manto del Veleta.



SITUACION GEOGRAFICA DE LA CUENCA DE ALMERIA

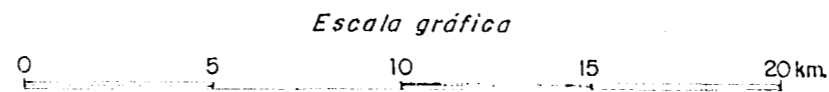
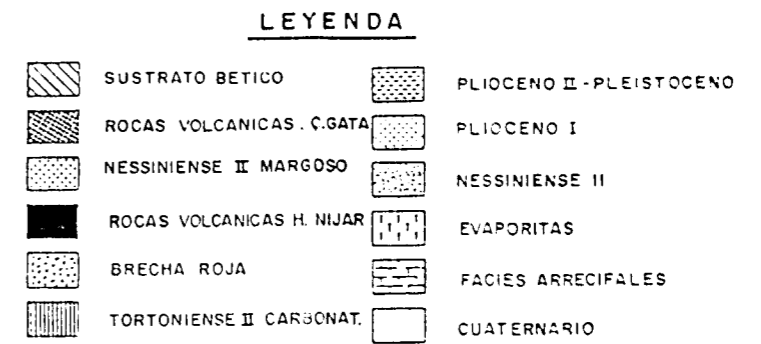
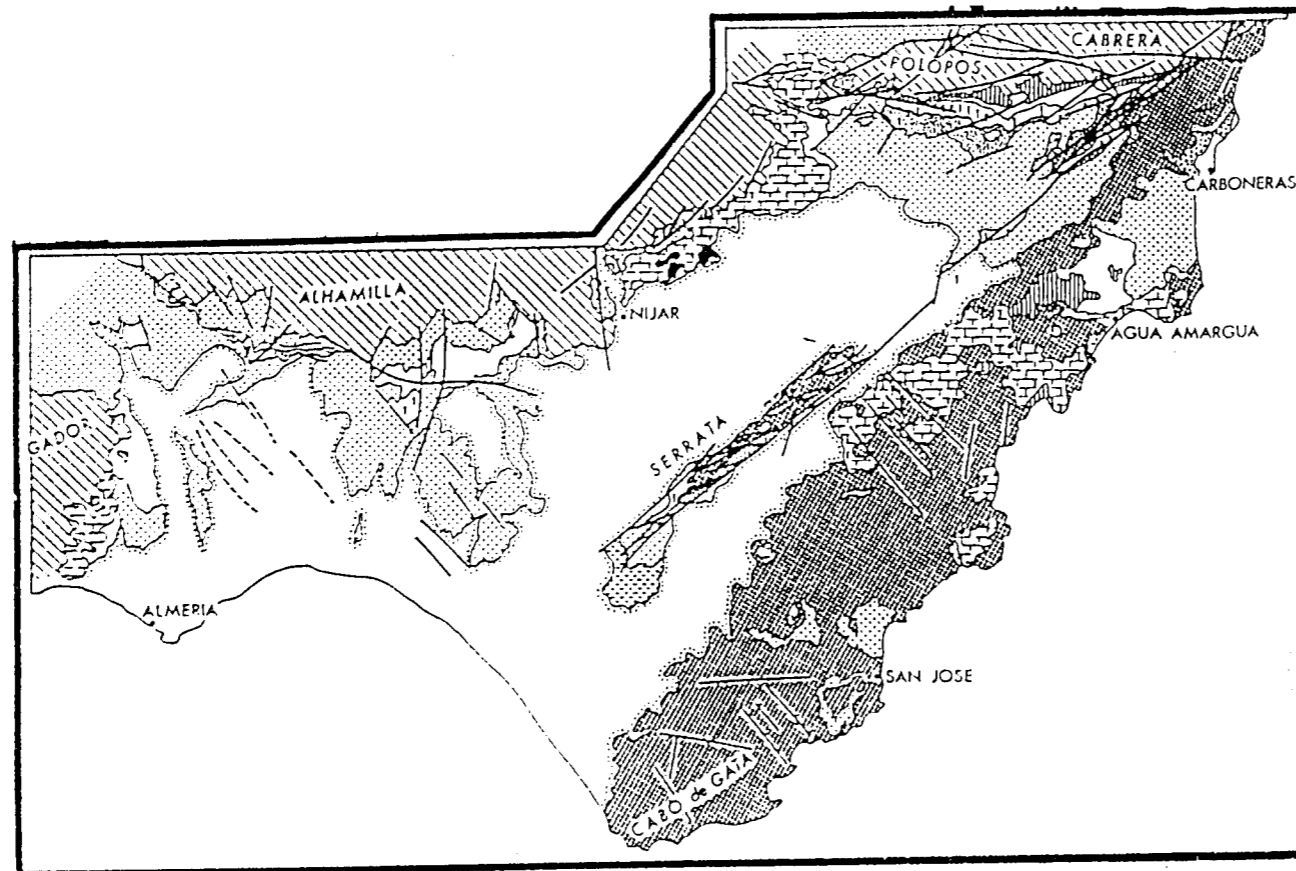
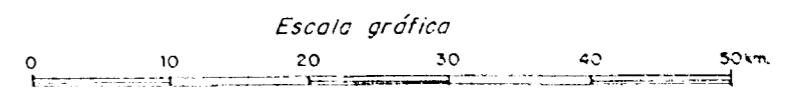


Fig. 47



**SITUACION GEOLOGICA  
DE LA CUENCA DE ALMERIA**



*Fig. 48*

La serie superior está compuesta por una formación de micaesquistos con granates y albita, alternando con cuarcitas y algunos niveles de mármoles. Este conjunto tiene una edad paleozóica y se ha asignado al denominado Manto del Mulhacén.

### **Complejo Alpujárride**

El Complejo Alpujárride está representado por una serie pelítica en su parte basal y una potente formación carbonatada a techo. A su vez esta serie se encuentra duplicada tectónicamente, encontrándose dos unidades en el borde oriental de la Sierra de Gádor y una sola en la Sierra Alhamilla.

La denominación que reciben las dos unidades presentes en Sierra de Gádor y siguiendo la nomenclatura de JACQUIN (1970) son las de Manto de Gádor y Manto de Félix, el primero en posición inferior y el segundo en posición superior. BAENA et al (1983) siguiendo a ALDAYA, denominan a estas unidades respectivamente de Lújar y Murtas. En la Sierra Alhamilla solo aparece una unidad alpujárride, denominada Unidad del Aguilón cuya litología es afín a la de las unidades de Félix o Murtas.

### **Secuencia Pelítica**

La secuencia pelítica de la base de las unidades alpujárrides presentes en el sector está compuesta por un potente tramo de filitas de alrededor de 200 m de potencia. La composición es fundamentalmente arcillosa y areniscosa.

Las pelitas son muy finas y las argilitas a menudo limosas. Las areniscas son también finas, con cantos que superan el milímetro y presentan laminación oblicua y paralela, su potencia y distribución dependen de las unidades consideradas.

Los colores son muy vivos y vistosos, predominando los rojizos violáceos y amarillentos. El color rojizo es debido a la presencia de óxidos de hierro y manganeso y el color verdoso es debido a la presencia de clorita.

El tramo filítico de la Unidad de Lújar (Gádor) se caracteriza por un color rojizo fuerte predominando a la base los tramos cuarcíticos y siendo más raros en el techo. Presentan un metamorfismo de bajo grado en facies de los esquistos verdes.

El tramo filítico de la Unidad de Murtas (Félix) se caracteriza por un color más violáceo con frecuentes intercalaciones de areniscas en el techo, así como de carbonatos laminados y niveles de yeso perfectamente interestratificado. El metamorfismo es muy bajo, casi ausente.

El tramo filítico de la Unidad del Aguilón (Murtas) se caracteriza por una alternancia regular de arcillas, limos y areniscas, siendo muy escasos los niveles con yeso y con carbonatos. Los colores son de rojizos a violetas acerados. El metamorfismo es muy bajo y solo patente en la base de la formación.

Se le asigna a todo este conjunto una edad de PermoWerfeniense.

### **Secuencia Carbonatada**

La secuencia carbonatada de los mantos alpujárrides en este sector es perfectamente concordante con la secuencia pelítica y representan un cambio importante en la sedimentación de estas series. Su naturaleza es esencialmente dolomítica.

La secuencia carbonatada de la Unidad de Lújar comienza con una serie a menudo margosa de color amarillo-ocre. Son frecuentes las alternancias de calizas de grano fino, arcillosas y limosas, de color amarillento y marrón. Hacia el techo la serie termina con bancos de calizas dolomíticas claramente.

La secuencia superior está constituida por un conjunto esencialmente dolomítico de alrededor de 200 m de potencia donde predominan las series de laminitas algales dolomitizadas con frecuentes bancos de facies "Franciscanas". Estas texturas se les asigna un origen diagenético favorecido por la presencia de facies originales de mallas de algas. A techo aparecen niveles más margosos y calizos donde son frecuentes las bioturbaciones.

La inestabilidad sedimentaria está puesta de manifiesto por la presencia de niveles de brechas intraformacionales y frecuentes niveles de slumping.

En la Unidad de Murtas faltan los tramos margosos de la base que están representados por un tramo de dolomías beiges y violáceas muy laminadas y brechificadas con una potencia de 1 a 3 m cuando afloran. Esta brechificación es en parte sedimentaria. Por encima de este tramo aparece un conjunto de alrededor de 60 m de dolomías gris-negro tableadas con juntas arcillosas marrones y pardas y con frecuentes zonas de estilolitos. En algunos bancos más potentes se pueden observar estructuras algales.

En la Unidad del Aguilón la base está representada por margas amarillas, marrones y verdosas con escasos niveles carbonatados y yesíferos. La secuencia superior está constituida por un conjunto de dolomías masivas de color marrón-pardo y aspecto ruiforme debido a una mineralización de óxidos e hidróxidos de hierro. Aún en algunos tramos se pueden reconocer restos de dolomías franciscanas y facies algales.

La edad de este tramo se puede cifrar en Triásico Inferior por la datación realizada con algas.

### **Rocas Volcánicas**

Desde el Tortonense Medio hasta el Plioceno en toda la parte oriental de la Cuenca de Almería (Sierra del Cabo de Gata, Serrata de Níjar) aparece un complejo volcánico asociado a grandes fracturas de dirección N20°-30°E con una componente muy grande de salto en dirección. Las litologías presentes de muro a techo son:

- 1º Andesitas anfibólicas, andesitas piroxénicas y tobas dacítico-riolíticas.
- 2º Dacíticas anfibólicas y aglomerados dacíticos anfibólicos.
- 3º Dacitas rojo-violáceas alteradas.
- 4º Dacitas ignimbríticas con tobas e ignimbritas en la base.

Los afloramientos de estas rocas en la zona del Cabo de Gata pertenecen a series calcoalcalinas. Sin embargo las dacitas cordierítico-almandínicas de la Zona de Níjar se corresponden con un vulcanismo de una serie calcoalcalina potásica, algo diferente al resto de afloramientos. Su posición estratigráfica parece ser posterior al conjunto tercero. La base del edificio volcánico parece ser el propio substrato de las Zonas Internas Béticas.

### **2.6.3. LITOESTRATIGRAFIA**

La secuencia Neógena que aflora en la Depresión de Almería está compuesta por tres unidades de extensión y composición variables según la zona de la cuenca considerada.



### Unidad 3 (Tortoniense-Messiniense Inferior)

Esta unidad aflora en todos los bordes de las Sierras de Gádor y Alhamilla y en parte en la Serrata de Níjar. En el borde oriental de la Sierra de Gádor está representada por un conjunto basal de alternancias de areniscas gruesas con cantos neríticos y margas arenosas. En algunas zonas las areniscas son auténticos arrecifes de algas rojas. En el borde occidental y Sur de Sierra Alhamilla está representada por facies margosas arenosas con pasadas turbidíticas. Los cantos pertenecen a las zonas béticas internas.

Hacia el techo se pasa a una sedimentación margosa, poco o nada arenosa de color gris claro en las dos zonas.

En el borde occidental y Sur de la Sierra Alhamilla a techo de estas facies margosas aparecen series laminadas que indican el confinamiento de la cuenca. De este modo en las secciones levantadas en las proximidades de la Rambla de los Baños de Sierra Alhamilla, la secuencia presente es de laminitas margosas con pasadas decimétricas turbidíticas que evoluciona hacia el Este a una secuencia laminada de carácter arcilloso y limolítico con pasadas de lignitos (Rambla de las Yeseras), y más al este a una zona de laminitas con fuerte contenido en materia orgánica (Los Pipaces).

Sobre las series laminadas aparece en el sector occidental de Sierra Alhamilla un conjunto evaporítico constituido por edificios seleníticos de hasta tres metros de alto con una potencia cercana a los 35 m. Más al Este, en las proximidades de los Juanorros esta formación alcanza los 55 m de potencia.

La evolución de la cuenca durante el depósito de esta unidad varía desde un medio abierto detrítico o carbonatado, según la zona hasta un medio confinado evaporítico. El máximo de confinamiento de la cuenca parece haberse dado entre la Serrata de Níjar y la parte oriental de Sierra Alhamilla.

#### Unidad 4 (Messiniense Superior-Plioceno)

Esta unidad está bien representada en todo el área pero con facies netamente diferentes. De esta forma en toda la zona desde Sierra de Gádor hasta la Serrata de Níjar aparece un conjunto de facies arrecifales con porites y lamelibranquios perfectamente estructurados y definidos. Estas facies se instalan sobre el substrato bético o las calcarenitas tortonienses en el borde Sierra de Gádor y sobre las margas messinienses y los edificios volcánicos en la zona meridional de Sierra Alhamilla. En el sector occidental de Sierra Alhamilla estas facies no aparecen bien al no haberse depositado, bien por ser una zona muy activa o por haber sido desmantelado por erosión de las facies superiores esencialmente detríticas y con base erosiva.

Sobre estas facies y en paso lateral a ellas afloran las denominadas margas con "Lepra", denominadas así por su aspecto externo. Se trata de un depósito de margas limosas y arenas finas con niveles de lamelibranquios que se desarrollan, sobre todo, en la parte meridional y oriental de la Cuenca.

Por el contrario, en la zona occidental, en las proximidades de Sierra de Gádor y de Sierra Alhamilla se desarrolla un sistema deltáico complejo, alimentado por el río Andarax.

Este sistema deltáico aflora bien en las proximidades de Benahadux (Rambla de Jalvos, Rambla de las Pocitas y de la Partala) y en las proximidades de Rioja.

Las facies de prodelta se indentan sobre las margas con lepra, siendo su litología algo más arenosa. Las facies del frente deltáico están representadas por gravas finas y arenas de color amarillento y grisáceo que presentan megaestratificaciones cruzadas. Las facies de la llanura deltáica se encuentran encima de las facies del frente del delta por medio de una superficie muy rubefactada y litificada.

Se trata de una llanura deltáica compleja donde alternan facies arcillosas y algo arenosas con facies claramente palustres que evolucionan hacia unas facies carbonatadas y evaporíticas.

En el borde Sur de Sierra Alhamilla las facies de esta unidad están representadas por un conjunto de gravas y arenas que evolucionan hasta margas arenosas muy finas.

En el sector de los Juanorros, y sobre todo en Cerro Gordo, situado más al Este, las facies de margas con lepra terminan con un conjunto arenosos muy fino con abundantes lamelibranquios.

#### Unidad 5 (Plioceno-Cuaternario)

Las facies pertenecientes a esta unidad son claramente marinas en el sector oriental y continentales en el occidental. Los depósitos de la unidad superior impiden ver la transición de ambos medios en la zona central, inmediatamente al Sur de la Sierra Alhamilla.

En la zona del Andarax las facies que afloran son fluviales meandriformes que evolucionan rápidamente hacia anastomosadas, e incluso aparecen facies asimilables a abanicos aluviales. Las secuencias están constituidas por arcillas rojizas y blanquecinas, en la base, arenas, gravas y conglomerados.

En la zona oriental las facies presentes son claramente litorales constituidas por arenas costeras, con lamelibranquios, e incluso facies de arrecifes de corales solitarios, hermatípicos.

Las facies actuales están representadas por costras fuertemente cementadas de carácter poligénico y por los depósitos actuales de las ramblas.

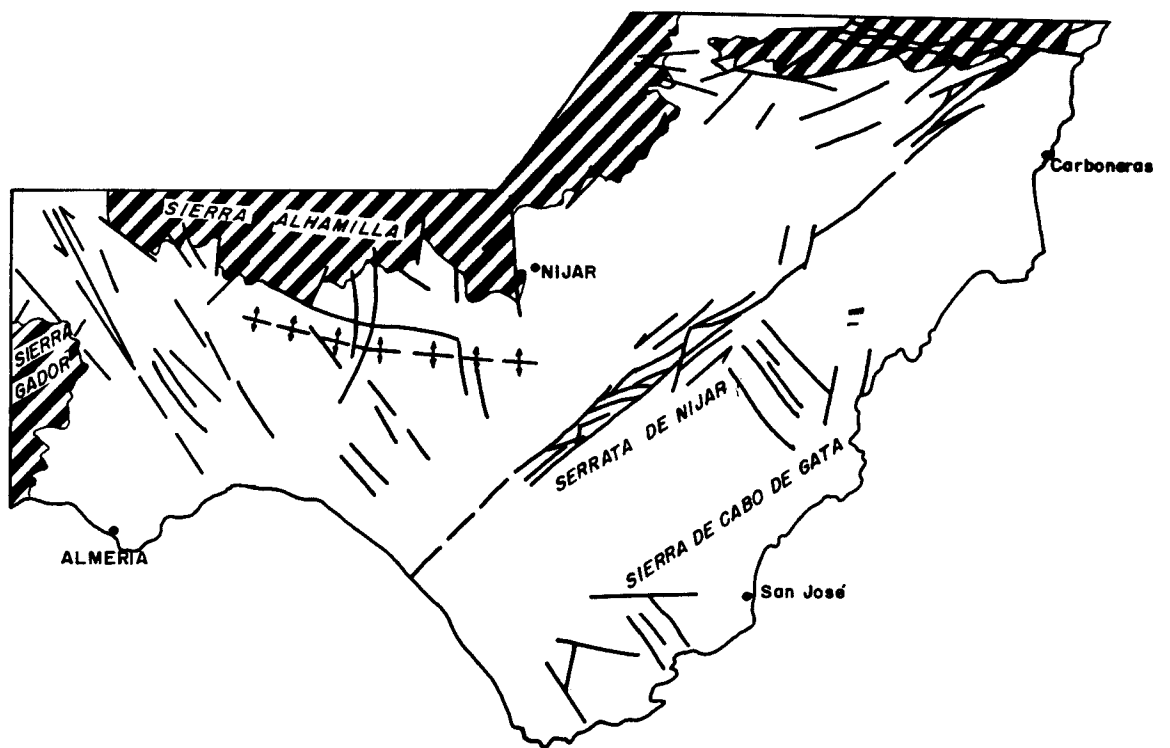


Fig. 49.- Esquema estructural de la cuenca de Almería

#### 2.6.4. TECTONICA

La estructuración en mantos de corrimiento de las zonas internas se había ya realizado en el Tortoniense. Al no quedar restos anteriores a esta edad es difícil poder recomponer la paleogeografía de la cuenca de Almería. Gran parte de los relieves de las Sierras de Alhamilla y Gádor estaban emergidos durante el depósito de las series miocenas.

Gran parte de las estructuras frágiles N50°-60°E que afectan a los materiales de las zonas internas han rejugado durante la tectónica postmiocena que afecta a la cuenca.

La estructura general de las Sierras de Gádor y Alhamilla es de sendos antiformes, muy retocados por fracturas.

La estructura tectónica del área está presidida por una zona de fractura de dirección N130°-140°E que es la responsable del corredor del Andarax en este sector. Esta estructura tiene un carácter sinistral y es la responsable de la curvatura de Siera Alhamilla hacia el Norte y de la de Siera de Gádor al Sur.

Esta estructura de rango mayor condiciona el resto de las estructuras frágiles de la zona siendo los juegos presentes más importantes los de dirección N130°-100°E y N60°-80°E, estas últimas con una componente normal más importante. Estas estructuración hace que los afloramientos de las zonas Internas se presente en bloques mas o menos individualizados y separados por este conjunto de fracturas.

Con respecto a los pliegues en la zona domina una estructura antiformal de dirección Este-Oeste cuyo núcleo se encuentra en el techo de la unidad 3 y que se puede observar desde la parte Norte del Campo de Tiro de Viator hasta la zona

de Cerro Gordo. Este pliegue se encuentra afectado por las fallas antes descritas, que son las responsables de los cabeceos del mismo.

Son también importantes de reseñar los pequeños repliegues que se observan en las gravas y conglomerados de la unidad 4 en la zona del Campo de Tiro de Viator.

### **2.6.5. ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO**

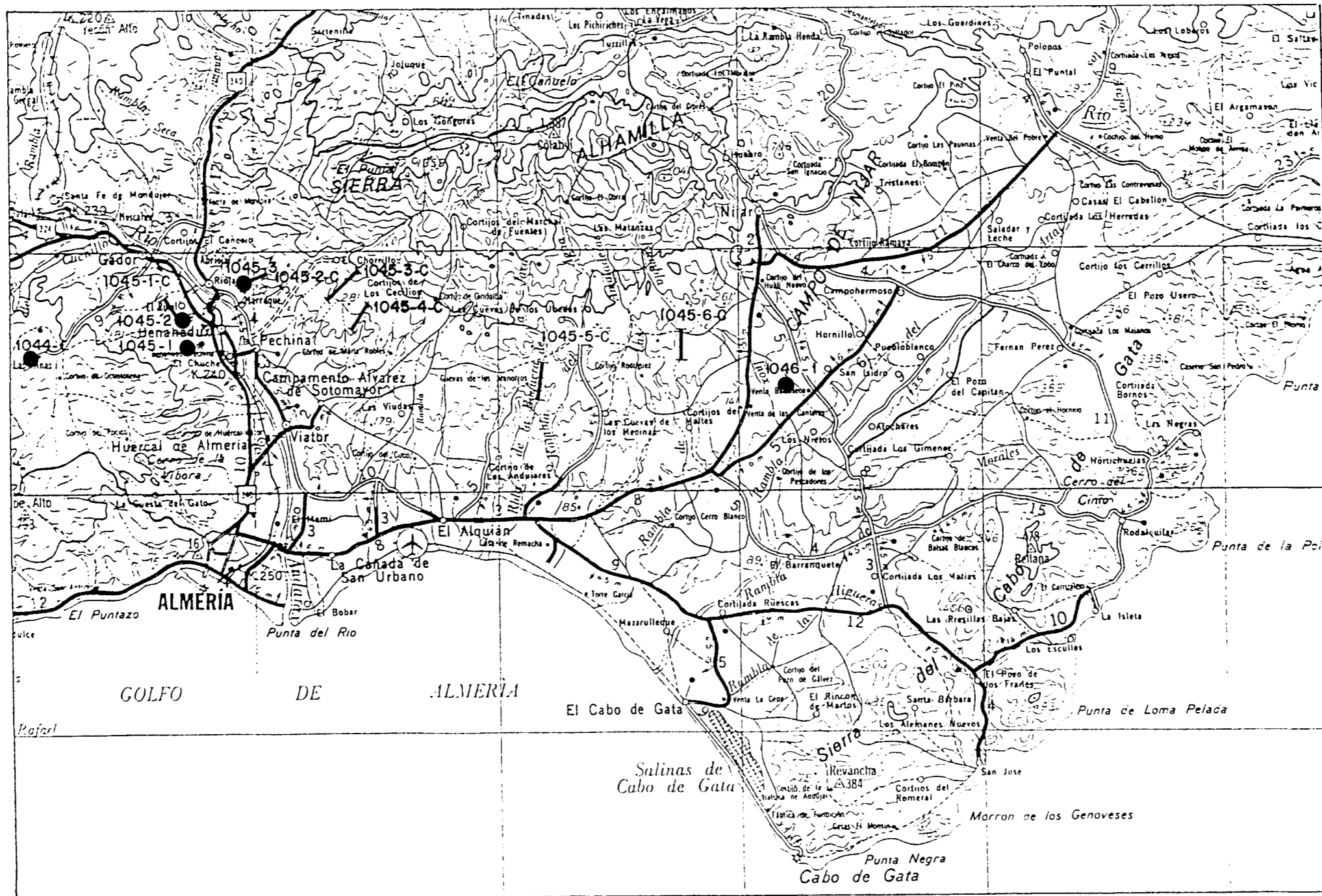
Los trabajos realizados han consistido, en primer lugar en una revisión exhaustiva del Catastro Minero de la provincia, tanto antiguo como moderno, en segundo lugar un levantamiento de series litoestratigráficas para definir las unidades presentes en la zona y su medio de depósito. Posteriormente se han levantado los indicios de mineralizaciones de azufre de la zona para finalmente realizar una cartografía de detalle a escala 1:25.000 de la zona seleccionada como más favorable.

En total se han levantado 789 m de series litoestratigráficas a escala 1:200, cinco indicios mineros y un total de 165 km<sup>2</sup> de cartografía a escala 1:25.000 y la revisión del Catastro Minero junto con un mapa de síntesis de la Cuenca a escala 1:100.000.

#### **2.6.5.1. CATASTRO MINERO**

De la revisión exhaustiva del Catastro Minero de la Provincia de Almería se deduce que solo en la zona comprendida entre Benahadux y Gádor existieron registros mineros para azufre.

Estos registros datan de finales del siglo pasado hasta mediados de este. Los registros se concentran alrededor de las Minas denominadas "La Familia", en Gádor y "El Trovador" en Benahadux.



- Indicios de azufre
- T Columnas litoestratigráficas

SITUACION DE INDICIOS Y COLUMNAS LITOSTRATIGRAFICAS

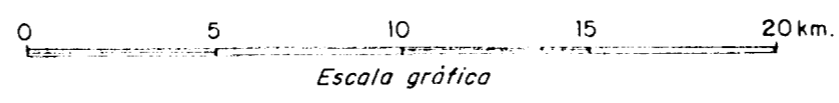


Fig. 50

En la actualidad en el sector de Gádor-Benahadux existe un Permiso de Investigación derivado de un Permiso de Explotación, en trámite de adjudicación, propiedad de MINELFA, S.A. y denominado "Gádor".

#### 2.6.5.2. ESTUDIOS ANTERIORES

Las mineralizaciones de azufre de la zona son conocidas desde antiguo y se encuentran asociadas al borde oriental de la Sierra de Gádor en el contacto entre las zonas Internas y los materiales neógenos del valle del Andarax. Estas mineralizaciones han sido explotadas en las proximidades de Benahadux y en las Balsas de Gádor, a 9 km al Suroeste de dicha población.

En los materiales alpujárrides de la Sierra de Gádor son frecuentes las antiguas explotaciones para plomo y cinc, así como más modernamente para fluorita. En la Sierra Alhamilla predominan las explotaciones de hierro sobre las de Pb-Zn.

Son numerosos los estudios de carácter general que se han realizado sobre la zona, pero sin embargo los estudios mineros han sido menos abundantes y más dilatados en el tiempo.

Dentro de los estudios de carácter general hay que destacar los realizados por compañías petrolíferas en la década de los sesenta sobre todo en relación con las facies terciarias.

En 1920 se realiza un sondeo para hidrocarburos en las proximidades de los Pipaces sufragado por un notario de Almería en base a presentar la zona las mismas condiciones presentes en los campos petrolíferos americanos de la zona de Texas.

En la década de los setenta se comienzan estudios de detalle sobre las Unidades Alpujárrides de Sierra de Gádor y su relación con las mineralizaciones de Pb-Zn-



F de la zona (JACQUIN, 1970) y se editan los mapas metalogénicos de la zona por el IGME.

A partir de la década de los setenta los autores franceses comienzan estudios de detalle sobre los neógenos de esta zona y se presta gran interés a las facies arrecifales messinienses del sector y de todo el borde Sureste del Mediterráneo.

En cuanto a los estudios de tipo minero más estrictamente, hay que destacar el informe realizado por WILLIAMS (1936) sobre los depósitos de azufre de la Sierra de Gádor donde se sientan de alguna manera las bases del origen y evolución de estos yacimientos.

Recientemente se realiza por el IGME un estudio sobre posibilidades de Pizarras bituminosas en el SE (1982), donde se describen con detalle las series de la Cuenca de Almería. Posteriormente dentro del PEN se evalúan las posibilidades para lignitos en el Sector de las Béticas y se estudian los lignitos asociados a las facies deltaicas del Andarax y los presentes en las proximidades de Canjayar (1985).

En 1985 el ITGE realiza un trabajo denominado-Posibilidades de las mineralizaciones de azufre biogénico en la Península Ibérica donde se hace hincapié en la importancia de los yacimientos de Gádor y Benahadux.

En 1985 la Consejería de Economía e Industria de la Junta de Andalucía publica el Mapa Geológico-Minero de Andalucía y en él se nombran los yacimientos de azufre de Gádor y Benahadux.

En 1988 se realiza por parte de MINELFA, S.A. un estudio detallado sobre las posibilidades para azufre de los sectores de Gádor, Benahadux y el borde suroccidental de Sierra Alhamilla.

MINELFA, S.A. establece las siguientes conclusiones para estos criaderos de azufre:

- La paragénesis de la mineralización está compuesta por azufre nativo, piritita y marcasita acompañados por sulfatos de alteración hidrotermal (alunita, natroalunita, jarosita y yeso).
- La estructura de la mineralización es la de un stockwerks desarrollado en las dolomías negras de la Unidad de Murtas, denominada la serie de las Minas, a favor de las fracturas de dirección N130°-140°E, localmente distensivas y muy móviles que engendran zonas microfracturadas de gran porosidad. Esta red de fracturas se atenúa en las proximidades del contacto con las filitas, lo que en momentos determinados puede aparentar una estructura estratoides de la mineralización; por el contrario en las proximidades de las fracturas antes mencionadas su desarrollo es esencialmente vertical.
- Existencia de una roca de caja (Dolomías negras de las Minas) masivas, fracturables, que poseen un contenido en materia orgánica no atacable pero relativamente móvil que puede crear un ambiente reductor y al faltar el calcio evitan la transformación del azufre en yeso.
- Existencia de una cobertera hipofiltrante.
- La existencia de una alteración hidrotermal alrededor de los cuerpos mineralizados que se traduce en la existencia de alunita y yeso.
- Se establecen como zonas de interés prioritario para la presencia de depósitos de azufre del mismo origen las proximidades de los Baños de Sierra Alhambra donde existen las condiciones antes descritas.

Por esta razón, la investigación realizada se ha encaminado hacia zonas que no presentan dominios mineros y que además presenten condiciones favorables para el desarrollo de mineralizaciones de azufre biogénico.

### 2.6.5.3 DESCRIPCION DE SERIES

La zona escogida por presentar unas condiciones más favorables para la existencia de mineralizaciones de azufre de origen biogénico se sitúa en la banda que se extiende desde el Suroeste de Sierra Alhamilla hasta las proximidades de la Serrata de Níjar.

En este sector afloran series evaporíticas de textura y estructura selenítica sobre series con un alto potencial kerogénico.

Los perfiles realizados en la zona se localizan en el mapa a escala 1:25.000. Las series ponen de manifiesto la siguiente litoestratigrafía:

#### **Sustrato Bético**

En el borde Sur de Sierra Alhamilla aflora la Unidad del Aguilón perteneciente al Complejo Alpujárride y dentro de él al denominado manto de Murtas. Está representado por una serie inferior pelítica y una superior carbonatada, ya descritas en apartados anteriores.

### Unidad 3: Tortoniense-Messiniense Inferior

Las series pertenecientes a esta unidad están compuestas por margas arenosas y margas gris blanco a techo que la parte basal y en el sector occidental incluyen bancos de areniscas y de calcarenitas así como de episodios turbidíticos que desaparecen o se hacen menos patentes hacia la parte oriental. La potencia de los cuerpos arenosos es 10 a 25 m y la potencia de las margas y facies turbidíticas superior a los 100 m. Se disponen directamente sobre los materiales pelíticos o carbonatados de la Unidad del Aguilón.

A techo de estos materiales se encuentra una serie laminada que tiene una potencia de 35 m pero que lateralmente evoluciona de Oeste a Este de la siguiente manera:

- Campo de Tiro (Norte de Viator): Margas laminadas con intercalaciones de areniscas de grano fino con una potencia de 10 cm a 20 cm
- Sector de los Juanorros: Limolitas y argilitas laminadas con intercalaciones de pequeñas lentes de gravas y niveles centimétricos de lignito negro-pardo.
- Sector de Cerro Gordo: Margas laminadas y limolitas laminadas con niveles decimétricos de yeso en punta de flecha y niveles más diatomíticos.
- Sector de los Pipaces: Según los datos suministrados por la columna del sondeo realizado en el año 1920 se trata de un conjunto de arcillas tipo paper shale, con fuerte olor a hidrocarburos, impregnaciones de azufre nativo, niveles de azufre, pirita y lignitos.

A techo de la serie laminada aparece un potente tramo de yesos seleníticos estructurados en bancos de 1 a 3 m con edificios verticales o incluso de aspecto arborescente y tamaño de cristales desde los 2 cm a los 4 cm. Intercalan niveles de laminitas más o menos calcáreas de color blanquecino a negro con una potencia de 50 cm a 1 m.

La potencia máxima vista se sitúa en el afloramiento de los Juanorros donde este tramo evaporítico es de 48 m, mientras que en la zona del Campo de Tiro varía de 0 m a 35 m. Esto es debido a que el contacto con la Unidad Superior es de tipo erosivo, más acentuado hacia el Oeste por la acción de las estructuras N140°E de carácter sinistral. En el sondeo de los Pipaces el tramo evaporítico está compuesto por un tramo superior selenítico de 22 m y por un tramo inferior alabastrino de 55 m.

En el tramo superior de la secuencia evaporítica y de manera especial en el afloramiento de los Juanorros, se observan unas intercalaciones de material carbonatado a favor de las superficies de estratificación y de fracturas oblicuas a la laminación más patente que confieren a la roca un aspecto listado. La potencia de estas intercalaciones es de entre unos centímetros hasta 20 cm y la frecuencia de la alternancia desde varios centímetros a no más de 30 cm.

Estas secuencias listadas se dan en bancos de hasta 3 m donde el tamaño de los cristales de yeso no es superior a los 6 cm. Por el contrario no se observan estas laminaciones donde los edificios de selenitas tienen mayor tamaño de cristal.

La evolución lateral de las series pertenecientes a esta unidad evidencia el confinamiento de la cuenca hacia el Este. Este confinamiento hacia el Este, puede ser debido a la existencia del complejo volcánico del Cabo de Gata. La edad de estos materiales volcánicos se establece en Tortoniense Superior y más antiguo. La Serrata de Níjar constituye un bloque elevado que actualmente es el límite geológico y geográfico de la cuenca hacia el Este.

La presencia de facies turbidíticas hacia el Oeste evidencia la actividad del surco provocado por la acción sobre la sedimentación del accidente del Andarax.

Otra característica observable de esta unidad es la presencia de alteraciones hidrotermales en las series laminadas del muro de las evaporitas en las proximidades de los Baños de Sierra Alhamilla y que hacia el Este desaparecen o no se observan.

Las facies laminadas intercalan niveles carbonatados muy silicificados con fractura astillosa, además presentan intercalaciones de areniscas de color verdoso intercrecidas con carbonatos y yesos. A techo de la serie y en la transversal de los Baños de Sierra Alhamilla aflora un tramo de dolomías oquerosas de color ocre con gran cantidad de pátinas ferruginosas y de manganeso.

#### Unidad 4: Messiniense Superior-Plioceno Inferior

Las facies de esta unidad están muy controladas por su posición dentro del marco estructural de este borde de la Cuenca de Almería. De esta forma varían desde continentales a marinas dependiendo que se encuentren en el borde occidental u oriental.

Las series del corredor del Andarax están representadas por un conjunto inferior margoso y limoso donde se desarrollan facies de calizas arrecifales que se instalan sobre las calizas tortonienses o sobre el sustrato bético.

En la sección de la Rambla de los Baños de Sierra Alhamilla y sobre las facies evaporíticas en contacto erosivo se encuentra alrededor de 15 m de margas arenosas amarillentas con intercalaciones arenosas y a techo dos metros de areniscas muy cementadas con pátinas ferruginosas.

Sobre estos niveles, que se corresponden con las denominadas margas con "lepra" se encuentra un conjunto de gravas y arenas compuestas por cantos metamórficos de las unidades béticas. Intercalan niveles limosos y son muy frecuentes las facies canalizadas de base erosiva, cantos imbricados, etc.

Presentan a techo numerosas intercalaciones de arenas y limos con alto contenido en lamelibranquios. La potencia de esta serie es superior a los 150 m.

Un poco más al este de este perfil, dentro del Campo de Tiro de Viator la serie es muy similar, pero el tramo basal margoso es algo más potente, alrededor de los 18 m.

La base de esta unidad no se vuelve a observar hasta el afloramiento de los Juanorros, donde las margas con "lepra", son menos arenosas, tienen una potencia de alrededor de los 15 m, se encuentran muy erosionadas por las facies conglomeráticas de la unidad superior.

En la sección de Cerro Gordo, la más oriental de las levantadas, solo aflora el techo de esta unidad. Está constituido por un tramo basal de margas muy arenosas y limosas de potencia superior a los 15 m con frecuentes intercalaciones de cantos y de restos de lamelibranquios. Por encima afloran un conjunto de arenas con lamelibranquios y balanus con estructuras de estratificación cruzada a gran escala. Representan facies costeras.

Hay que estacar como perteneciente a esta unidad la serie levantada en la Rambla de Jabos, al Oeste de Benahadux, donde aflora con claridad el complejo deltaico plioceno. Se trata de un delta progradante donde la serie basal está constituida por las facies de prodelta, similares en litología a las margas con "lepra" e interdigitadas con ellas.

Sobre las facies del prodelta se encuentra las facies del frente deltaico constituidas por un conjunto de gravas y arenas de medio a finas con estratificaciones y laminaciones cruzadas, el buzamiento original en la cabeza de los sets supera a los 20°, de colores grises y amarillento. La potencia observada de este tramo es de alrededor de 30 m.

Las facies de la llanura deltaica se establecen sobre las del frente deltaico por medio de una superficie muy compactada y ferruginizada de varios centímetros de potencia, recuerda de alguna manera a un nivel de "hard ground".

Dentro de la llanura deltaica se pueden distinguir las siguientes facies:

- Facies parállicas de color grisáceo con intercalaciones de lignitos de hasta 40 cm que se presentan alternantes con facies de sulfatos de alteración (Jarositas, natrojarositas, e incluso azufre). El lignito es color pardo a negro. Son frecuentes en este tramo los crecimientos diagenéticos de yesos en punta de flecha en maclas de hasta 30 cm.
- Facies evaporíticas compuestas por alternancias de yesos de grano fino de varios centímetros con arcillas margosas rojizas y blancas.
- Facies carbonatadas compuestas por manglares en un tramo de alrededor de 2 m de potencia.
- Facies de llanura de inundación compuestas por arcillas rojas.

En estas últimas facies se observan la presencia de nódulos de alunita ligados a niveles de arcillas versicolores de hasta 10 cm de potencia.

La potencia de las facies de llanura deltaica son de alrededor de los 25 m.



En las proximidades de Rioja, en la Rambla del Sombrero, aparece la serie de llanura deltaica parállica con una potencia de alrededor de los dos metros. También se observan lignitos y las facies de alunitas.

En la columna del sondeo de los Pipaces esta unidad está representada por un conjunto de arenas finas y margas de una potencia superior a los 100 m.

Esta distribución de facies dentro de esta unidad está condicionada por la estructura tectónica de la Cuenca de Almería, así en el sector oriental la Serrata de Níjar funciona como un umbral que genera una zona costera relativamente separada del mar abierto, mientras que en la zona occidental la estructura que condiciona el corredor del Andarax sirve como asiento del aparato deltaico descrito anteriormente. El borde Sur de la Sierra Alhamilla funciona como una zona costera con importantes aportes de la misma donde predominan los delta-fan y alluvial-fan.

#### Unidad 5: Plioceno Superior-Cuaternario

Esta unidad está bien desarrollada en toda la zona pero solo se ha levantado con cierto detalle en el sector más oriental (área de los Juanorros y de Cerro Gordo). En el sector de Benahadux está representada por facies de ríos meandriiformes, en la base, que evolucionan hasta anastomosados y finalmente incluso abanicos aluviales.

La base de la unidad en la zona oriental es claramente marina y está compuesta por alternancia de gravas y arenas en facies de playa con intercalaciones de colonias de corales hermatípicos, solitarios, y bancos de lamelibranquios. La potencia varía de 2 a 220 m según las zonas. La parte superior de la unidad es claramente continental y está compuesta por una brecha poligénica muy cementada con una potencia de 1 a 3 m.

Los depósitos actuales están constituidos por arenas y gravas procedentes del desmantelamiento de las unidades anteriormente descritas.

#### 2.6.5.4. INDICIOS

Los indicios de azufre que se han estudiado dentro de la Cuenca de Almería se agrupan en tres conjuntos bien definidos. Un grupo está constituido por las labores mineras existentes en Benahadux y Gádor, otro grupo por los afloramientos de lignitos fuertemente sulfurados de las facies deltaicas de Benahadux y por último la columna del sondeo de los Pipaces que por si misma es un indicio de gran importancia.

##### **Indicio de las balsas de Gádor**

A este indicio se accede desde la población de Gádor por la carretera que conduce a las Minas, siguiendo la Rambla de las Balsas a unos 9 km de dicha población. Se encuentra en el término municipal de Gádor y ocupa un área de alrededor de 4 Km<sup>2</sup>.

Geológicamente la zona de las Balsas de Gádor se encuentra en el contacto de las unidades alpujárrides de la Sierra de Gádor con los materiales neógenos de la Depresión del Andarax.

Las unidades alpujárrides presentes en este sector pertenecen al manto de Lújar y al manto de Murtas. La descripción detallada de las series se ha realizado en el apartado de litoestratigrafía.

Son muy numerosas las labores mineras de la zona. Están constituidas esencialmente por pozos verticales de hasta 100 m de profundidad y pequeñas trancadas, además de pequeñas canteras para la obtención de piedra de sillería para las construcciones mineras. Los pozos y trancadas están emboquillados en el tramo

filítico de la unidad de Murtas y las canteras para sillería en las calcarenitas y calizas de algas del tortoniense.

Las construcciones mineras de la zona están compuestas por un conjunto de baterías de hornos para el refinado del azufre es grupos de seis y diversas viviendas y construcciones de servicio.

La litología de las escombreras es de dos tipos:

- Las asociadas a las bocas de los pozos mineros están compuestas esencialmente por filitas y dolomías donde se observan restos de la mineralización.
- Las asociadas a los hornos que son de mucho mayor tamaño y están compuestas esencialmente por filitas y carbonatos dolomíticos calcinados.

La mineralización está encajada en el contacto del tramo pelítico con la formación dolomítica de la Unidad de Murtas. Su estructura está controlada por un conjunto de fracturas asociadas a un bloque estructural levantado limitado por fracturas de dirección N110°E, N45°E y N150°E.

La explotación de este criadero se remonta a finales del siglo XIX y cesa su actividad en la década de los treinta del siglo XX. El primer registro minero de la zona se denominaba la Familia.

### **Indicio de Benahadux**

A este indicio se accede desde Benahadux por una pista que sale de la N-340 a la salida de pueblo y corre en dirección Oeste a unos 3 km del mismo. Ocupa la zona minada una extensión de 1 km<sup>2</sup> en los parajes de la Rambla de la Partala y Rambla de D. Nicolás.

Geológicamente la zona que ocupa el Indicio de Benahadux se encuentra en el contacto entre la Unidad Alpujárride del Manto de Murtas y las facies detríticas del delta Plioceno del Andarax. La zona está muy cubierta por las costras cementadas del Cuaternario.

Las labores mineras están constituidas por un gran número de pozos, una galería y varias trancadas de acceso. Existen además dos baterías de hornos para el refinado del azufre y diversas construcciones mineras, actualmente en ruinas.

La litología de las escombreras es de dos tipos:

- La más importantes y numerosas están constituidas por filitas versicolores de la Unidad de Murtas.
- Facies de gravas deltáicas cuya matriz está compuesta por azufre nativo.

Las escombreras de los hornos están compuestas por filitas versicolores calcinadas.

La mineralización encaja en las filitas del tramo pelítico de las Unidad de Murtas y en las facies deltaicas groseras del delta del Andarax. Su estructura está controlada por una red de fracturas asociadas a un bloque estructural levantado limitado por fracturas de dirección N140°E y N40°E.

Las primeras explotaciones datan de principios de este siglo y el primer registro minero se denominó El Trovador. Las explotaciones cesan en la década de los cincuenta.

### **Indicio del Marchal de Araoz**

A este indicio se accede desde el pueblo de Benahadux por la N324 hasta el cruce con la Fábrica de Cementos de HISALBA, desde aquí por la pista que conduce a la fuente del Marchal de Araoz y a la cantera de calizas de la cementera. En el cruce del camino del Marchal con el de la cantera se encuentra la Rambla de Jalbos.

A lo largo de la Rambla de Jalbos existen explotaciones antiguas para lignitos, hoy abandonadas, y antiguas explotaciones para arcillas de la fábrica de cementos, también abandonadas donde se observa con gran nitidez el tramo explotado.

En la Rambla de la Partala, situada al Sureste de la de Jalbos existen varios pozos que cortaron el nivel lignitífero.

Las escombreras están integradas por un conjunto de arcillas de color gris con restos de lignitos y sulfatos de degradación del azufre.

La mineralización está compuesta por un tramo de alrededor de 1 m de potencia constituido por arcillas grises laminadas y niveles de lignito de hasta 40 cm con frecuentes intercalaciones de jarosita y natrojarosita en niveles centimétricos.

El área fuente de este tramo parálico hay que buscarlo en el desmantelamiento de las filitas impregnadas de azufre de la Unidad de Murtas durante el depósito de las facies de llanura deltaica.

### **Indicio de la Rambla del Sombrero**

Se accede a este indicio desde el Pueblo de Rioja hacia el Sur por la carretera de Pechina hasta el cruce con la Rambla del Sombrero y desde aquí siguiendo la rambla a 1.500 m.

En este indicio se observan las mismas facies parálicas de la llanura deltaica a favor de un juego de fracturas N30°E-N130°E. La secuencia que aparece está integrada por un metro de arcillas grises limosas con varios carboneros centimétricos y un nivel de cuatro centímetros de lignito negro. Al igual que en la zona de la Rambla de Jalbos en esta serie se observan niveles centimétricos de jarosita y natrojarosita de origen similar a los anteriormente mencionados.

### **Indicio del Sondeo de los Pipaces**

Este indicio se encuentra en el barrio de los Pipaces. Se accede desde Almería por la N-332 en dirección a Níjar hasta el pk. 21 y desde aquí por la carretera C-1.008 en dirección a San Isidro a 6.5 km del cruce se encuentra el barrio de los Pipaces en el término municipal de Níjar. A doscientos metros hacia el Norte en las proximidades del grupo escolar se encuentra el emplazamiento del sondeo.

En el año 1920 se realizan un sondeo en las proximidades de los Pipaces que llega hasta 350.8 m, el sondeo se paraliza por falta de fuerza de la máquina. La columna litoestratigráfica de este sondeo desde la cota de emboquille es:

- 0 m - 5 m: Calizas conglomeráticas
- 5 m - 46 m: Arenas, limos y conglomerados del Plioceno
- 46 m - 191 m: Arenas finas grises con restos de conchas marinas y en la base arcillas verdes compactas
- 191 m - 235 m: Yeso y sílice gris ceniza con intercalaciones de calizas gris claro muy duras y margas y arcillas verdes con lentículas de yeso
- 235 m - 240 m: Yeso cristalizado y arcillas salíferas
- 240 m - 280 m: Yesos seleníticos
- 280 m - 300 m: Anhidritas y yesos pudingas
- 300 m - 330 m: Margas hojosas con incrustaciones carbonosas, lignitos, algas marinas oleaginosas con impresiones de pirita con arcilla plástica y grasa azufrosas.
- 330 m - 350 m: Sílice pizarrosa (Sustrato Bético)

Otra descripción de la columna del sondeo, realizada por otro técnico es la siguiente:

- 30 m de gravas y costras cementadas de naturaleza poligénica
- 30 m de conglomerados y arenas con intercalaciones calcareníticas
- 120 m de arenas grises
- 10 m de arcillas verdes
- 20 m de calizas grises muy compactas
- 22,50 de yesos seleníticos
- 77,50 m de alabastros
- 35 m de facies laminadas tipo "paper shale" con fuerte olor a hidrocarburos y aspecto oleaginoso, azufre nativo, pirita y lignito.
- 30 m de margas grises con olor a hidrocarburos

Ambas series son muy similares a las levantadas en el borde Sur de Sierra Alhamilla (Campo de Tiro de Viator) y a las de los Juanorros pero indican una posición en la cuenca más restringida.

#### **2.6.6. RESUMEN Y CONCLUSIONES**

La parte central de la cubeta neógena de Almería se encuentra limitada al Este por la Serrata de Níjar, al Norte por la Sierra Alhamilla y al Sur por el Mar Mediterráneo. La parte más occidental de la cuenca linda con las estribaciones de la Sierra de Gádor y con los materiales neógenos del corredor del Andarax.



Los materiales que conforman los bordes de la Cuenca de Almería están constituidos por series de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas. En el núcleo de Sierra Alhámilla afloran materiales metamórficos perteneciente al Complejo Nevado-Filábride, que es el más bajo, tectónicamente hablando, de la Zona Bética. Sobre el y en contacto mecánico debido a mantos de corrimiento afloran los materiales pertenecientes al Complejo Alpujárride. En este sector, el Complejo Alpujárride se encuentra representado por dos unidades denominadas, de abajo a arriba: Unidad de Lújar, compuesta por una base de materiales pelíticos y una cobertera de dolomías y calizas dolomíticas, y la Unidad de Murtas, de litología similar a la anterior.

Los materiales neógenos de la Cuenca de Almería son de una edad que varía desde Tortonense superior hasta el Cuaternario. Las unidades representadas en este sector son:

Unidad 3 (Tortonense superior - Messiniense inferior). Esta unidad está compuesta por un tramo basal calcarenítico que evoluciona hacia margas de color gris con intercalaciones turbidíticas. Encima aparece una serie laminada que se hace más kerogénica hacia el Este. La unidad termina con un gran paquete de yesos seleníticos.

Unidad 4 (Messiniense superior - Plioceno inferior). Los depósitos de esta unidad están compuestos por facies marinas (margas con Lepra) que hacia el techo evolucionan, hacia el Oeste, a un complejo deltaico y hacia el Este a facies litorales. Unidad 5 (Plioceno superior - Cuaternario). Los depósitos de esta unidad están compuestos por series detríticas continentales hacia el Oeste y facies marinas costeras en el Este.

La Cuenca de Almería se estructura como una cuenca sedimentaria estrictamente controlada por la localización de sectores extensionales y sectores compresionales asociados a las zonas de desgarre del corredor del Andarax y a! de la Serrata de

Níjar. La fracturación dominante durante el neógeno tiene dirección N140°E, N40°E, y las asociadas y conjugadas. Los pliegues son siempre subsidiarios de esta estructuración.

Los indicios de azufre que se han estudiado dentro de la Cuenca de Almería se agrupan en tres conjuntos bien definidos. Un grupo está constituido por las labores mineras existentes en Benahadux y Gádor, otro grupo por los afloramientos de lignitos fuertemente sulfurados de las facies deltaicas de Benahadux y por último la columna del sondeo de los Pipaces que por si misma es un indicio de gran importancia.

Las labores mineras de Benahadux-Gádor se encuentra dentro de las unidades béticas internas. La paragénesis de la mineralización está compuesta por azufre nativo, pirita y marcasita acompañados por sulfatos de alteración hidrotermal (alunita, natroalunita, jarosita y yeso).

La morfología de la mineralización es la de un stockwerks desarrollado en las dolomías negras de la Unidad de Murtas, denominada la serie de las Minas, a favor de las fracturas de dirección N130° - 140°E, localmente distensivas y muy móviles que engendran zonas microfracturadas de gran porosidad.

Los lignitos de la formación deltaica de Benahadux afloran en las proximidades de Benahadux y al Sur de Rioja. La mineralización está compuesta por un tramo de alrededor de 1 m de potencia constituido por arcillas grises laminadas y niveles de lignito de hasta 40 cm con frecuentes intercalaciones de jarosita y natrojarosita en nivelillos centimétricos.

El área fuente de este tramo parálico hay que buscarlo en el desmantelamiento de las filitas impregnadas de azufre de la Unidad de Murtas durante el depósito de las facies de llanura deltaica.

Por último el sondeo de los Pipaces realizado en 1.920 corta la serie neógena de la Cuenca de Almería y en la base del tramo evaporítico se cita la presencia de azufre nativo y grasas azufrosas.

Del estudio detallado de los neógenos de la banda Sur de la Sierra Alhamilla se deduce que existen posibilidades de encontrar zonas favorables para la existencia de azufre biogénico. Por otra parte la estructura de la región junto con su evolución tectónica durante el neógeno apoyan esta tesis.

El confinamiento progresivo de la cuenca hacia el Este debido a la acción tectónica del desgarre de la Serrata de Níjar, la presencia de actividad volcánica durante el neógeno y la existencia de un sondeo que reúne estas condiciones justifica el interés de esta cuenca.

Las series basales de la formación evaporítica se hacen más kerogénicas hacia el Este, debido al confinamiento de la cuenca. La estructura tectónica revela la existencia de un antiforme de dirección aproximada EW con ligeros cabeceos en NS debidos a la fracturación del área.

La zona donde el conjunto de metalotectos se intersecta se encuentra en los Pipaces, la presencia de azufre en el sondeo realizado lo atestigua.

Por otra parte la estructura tectónica de la zona de Cerro Gordo donde el anticlinal mencionado está intersectado y limitado por fracturas N160°E y EW, junto con sus conjugadas hace que este sector tenga la estructura de un bloque elevado y en profundidad deben de encontrarse los yesos seleníticos, como la atestigua la presencia de los mismos en los Pipaces y haber sido cortados en un sondeo para captación de aguas al Sur de las Cuevas de los Medinas.

## 2.6.7. RECOMENDACIONES

Las posibilidades de la Cuenca de Almería en orden a poner de manifiesto la presencia de zonas con azufre y las sustancias que puedan existir asociadas a las facies existentes, debido a la presencia de un volvanismo neógeno y a la existencia de un conjunto de estructuras tectónicas de gran importancia en la evolución de la misma, se centran en las siguientes recomendaciones:

- Poner de manifiesto por medio de métodos geofísicos la estructura del contacto de las unidades 3 y 4 para dilucidar si existen trampas estructurales donde se puedan alojar depósitos de azufre.
- Para ello es necesario también realizar una cartografía de detalle de los bordes de la cuenca donde esta se encuentra más confinada: sector desde Níjar a la Venta del Pobre limitada al Sureste por la Serrata de Níjar.
- Campañas de sondeos mecánicos con recuperación de testigo para investigar las estructuras que se descubran.
- Estudiar en detalle el borde Suroriental de la Sierra Alhamilla donde afloran los materiales de la Unidad de Murta y presenten un cuadro estructural similar al que presentan en las mineralizaciones de Gádor - Benahadux.
- Estudiar en detalle los fenómenos hidrotermales asociados a la base de la serie evaporítica para conocer su alcance e intensidad y su potencial metalogénico.
- Revisar el borde Norte de la Sierra Alhamilla (Zona de Lucainena) donde existen manifestaciones de aguas sulfurosas en posiciones similares a las de los Baños de Sierra Alhamilla.

## 2.7. ZONA DE CADIZ

### 2.7.1. SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA

La provincia de Cádiz se encuentra en la parte meridional de la Península Ibérica. La zona estudiada en este proyecto comprende las hojas a escala 1:100.000 del Mapa Topográfico Nacional número 6-22 (JEREZ DE LA FRONTERA), 7-22 (ARCOS DE LA FRONTERA), 6-23 (CADIZ), 7-23 (ALCALA DE LOS GAZULES) y 6-24 (VEJER DE LA FRONTERA).

Las principales vías de comunicación están representadas por la carretera N-IV, que recorre la zona de Norte a Sur en la parte occidental de la zona, la carretera N-342 que discurre por la parte Norte de la zona y la carretera N-340 que recorre toda la parte Sur de la zona de estudio.

A esta red de carácter nacional hay que sumar un importante número de carreteras locales y comarcales que unen las poblaciones del área, además de las pistas y caminos existentes.

Las poblaciones más importantes de la zona son Cádiz, Jerez de la Frontera, San Fernando, Chiclana de la Frontera y El Puerto de Santa María. Con menor número de habitantes hay que destacar Arcos de la Frontera, Medina Sidonia, Vejer de la Frontera, Barbate, Conil y Paterna de Ribera. Existen además numerosos pueblos más pequeños, aldeas y barrios diseminados por toda la zona.

El cauce más importante es el Guadalete y en menor medida el Barbate, además de todo un cortejo de ríos de menor importancia distributarios del Guadalete.

El relieve de la zona va subiendo paulatinamente de Oeste a Este hasta más de 1.000 m. snm. en el Pinar al Norte de Ubrique y el Aljibe.

Se pueden distinguir tres zonas con características diferentes en el área estudiada.

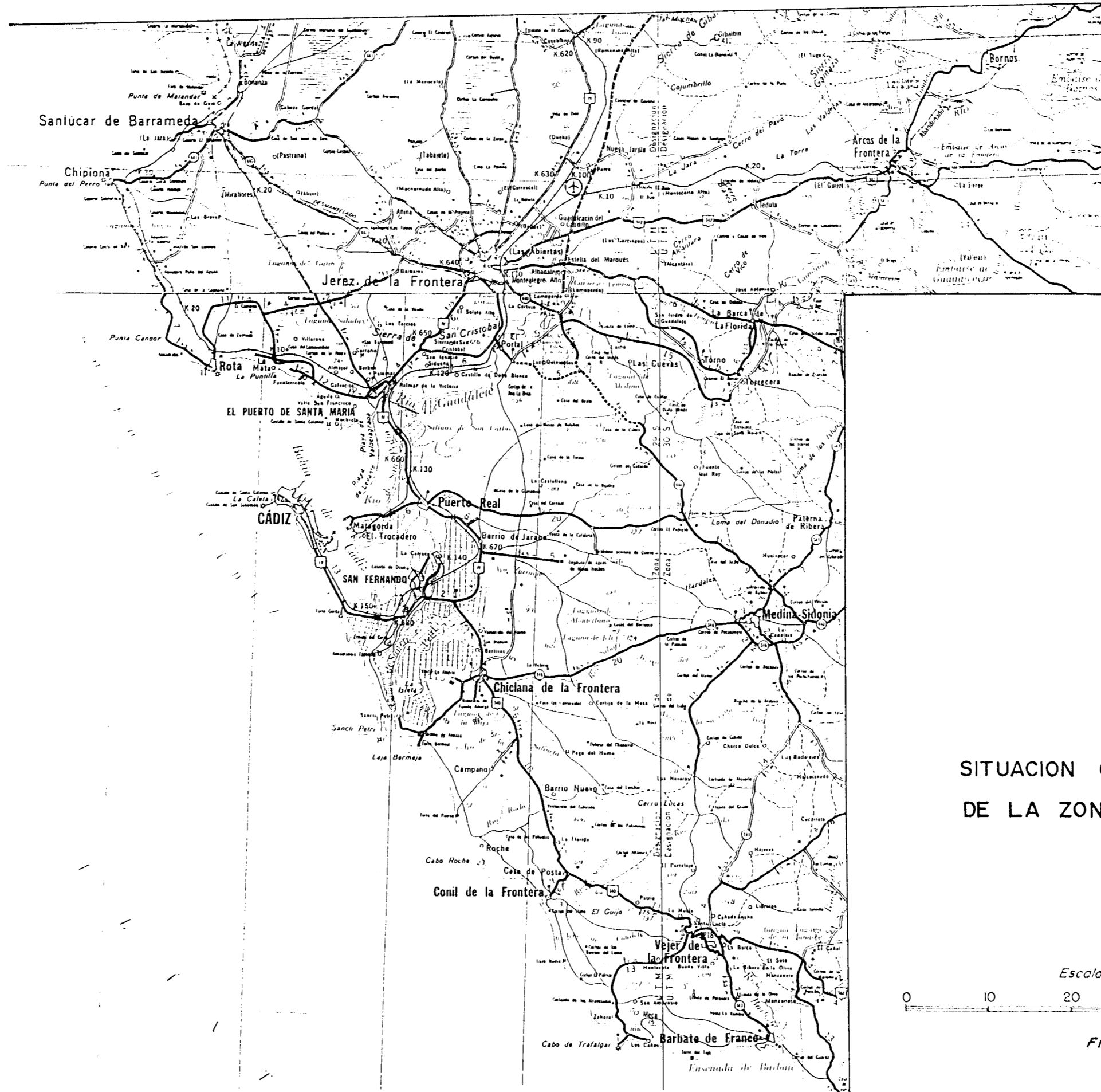
Un conjunto serrano de orografía abrupta y escarpada, que se extiende en toda la zona oriental donde sobresalen las alineaciones montañosas de Norte a Sur de la Sierra de Zafalgar, La Sierra del Endrinal, La Sierra de Ubrique, Sierra de los Pinos, Sierra de Libar, Sierra de las Cabras, etc.

Un conjunto de relieves suaves, alomados constituido por los valles del río Guadalete, y un tercer conjunto constituido por toda la zona costera.

El clima de esta parte de la provincia de Cádiz es de carácter mediterráneo pero modificado por la posición próxima de Africa y su posición en el borde del Atlántico. Este régimen climático caracteriza inviernos suaves y húmedos y veranos calurosos.

En las zonas de relieves más acusados, Sierra de Ubrique, son muy frecuentes las nevadas, por el contrario, en el litoral la temperatura no baja de cero grados durante el invierno.

Debido a la intensa pluviometría de la zona la vegetación es espesa en las Sierras y son muy frecuentes las zonas de dehesa, más o menos apretadas de alcornoques y encinares. Gran parte de los cultivos de la zona de los valles es de remolacha y girasol.



SITUACION GEOGRAFICA  
DE LA ZONA DE CADIZ

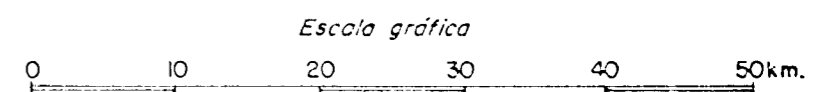
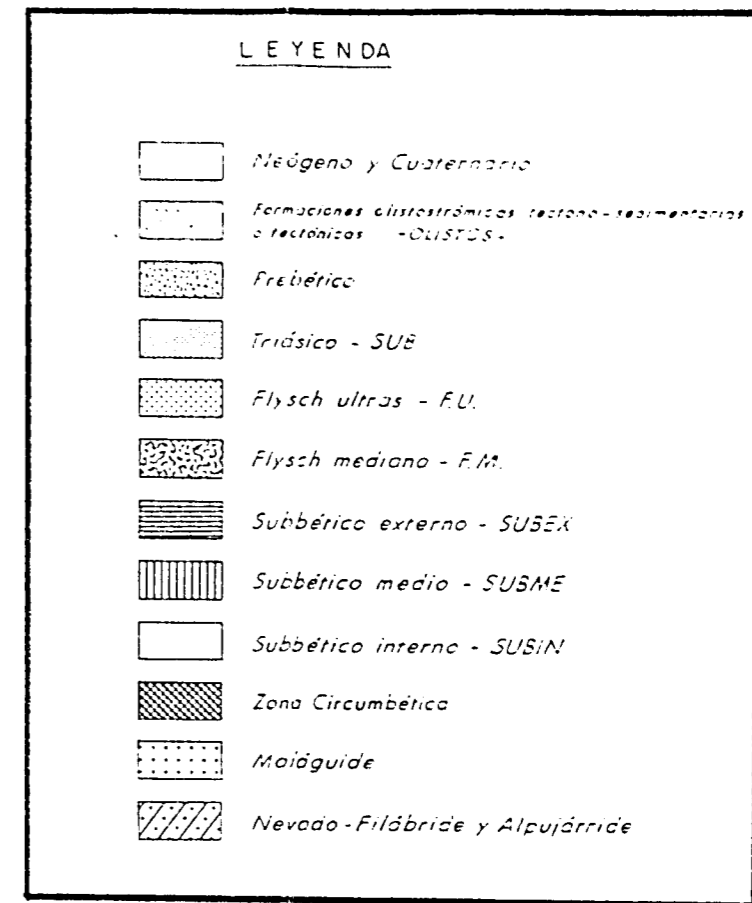
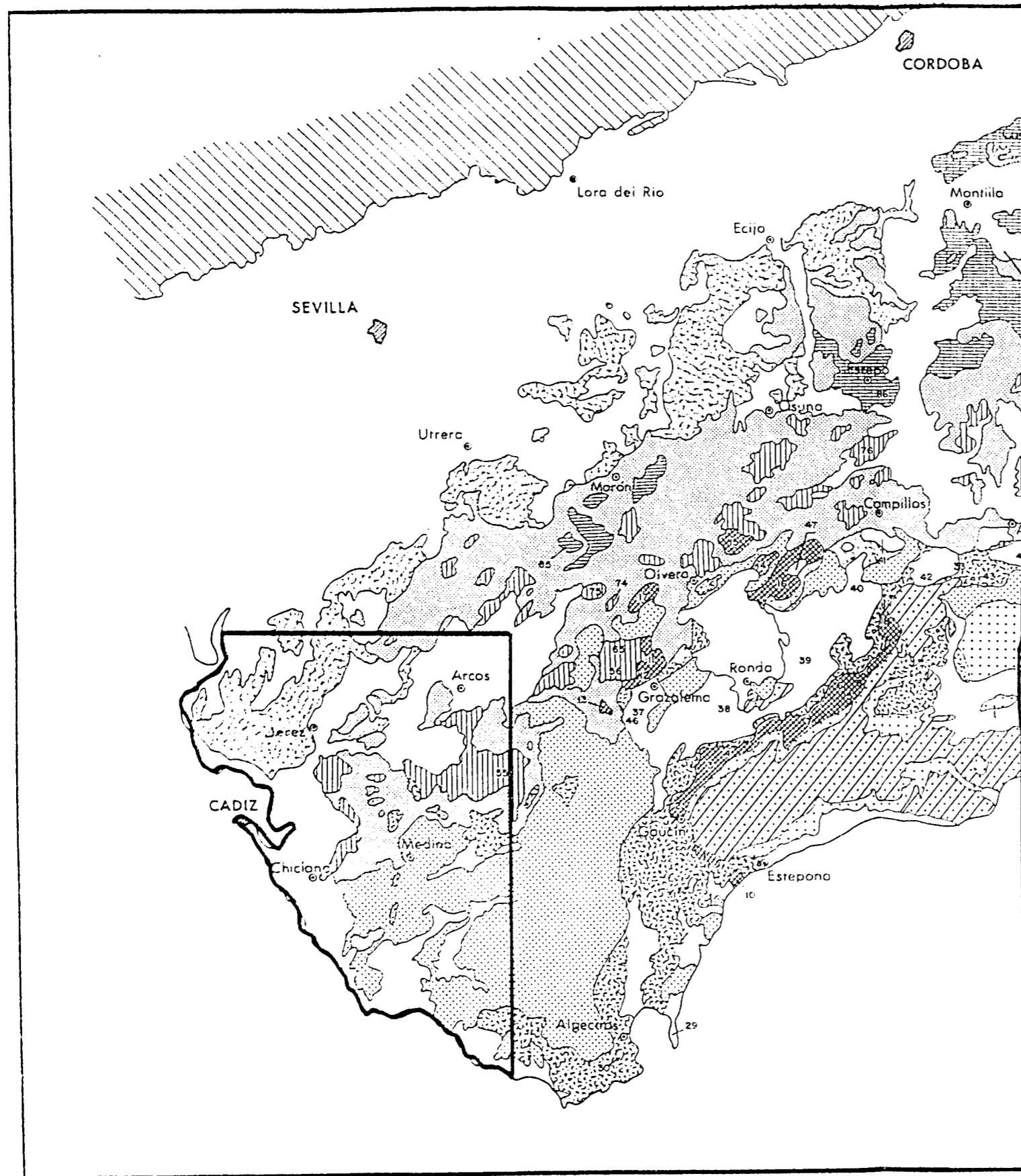
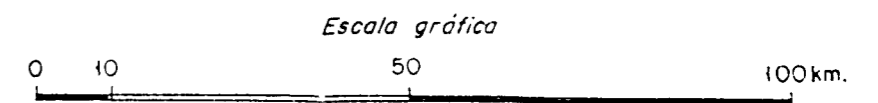


Fig.51



SITUACION GEOLOGICA DE LA ZONA DE CADIZ



*Fig. 52*



Geológicamente la zona estudiada se enclava dentro de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas Occidentales y dentro de éstas en el Circumbética y en contacto con los materiales detríticos de la Depresión del Guadalquivir.

Se denomina Zona Circumbética al conjunto de materiales que rodean a las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas. En ella se incluyen de manera amplia las unidades y formaciones denominadas Dorsal, Predorsal, Zona Media, Unidades del Campo de Gibraltar, Substrato de los Flysch Cretácicos, Alta Cadena, Subbético Ultrainterno, etc.

Dentro de la Zona Circumbética y en función del tipo de evolución sedimentaria desde el Jurásico al Terciario, se distinguen de Norte a Sur los siguientes dominios:

- Alta Cadena, representada por facies semejantes al Subbético Interno.
- Complejo Predorsaliano, representado por series depositadas en la zona intermedia del dominio Circumbético y con facies jurásicas parecidas a las del Subbético medio.
- Complejo Dorsaliano, representaría de alguna manera la cobertera Jurásica de las Zonas Internas.

Este sector de la Cadena Bética presenta grandes dificultades para su estudio ya que, salvo las facies del Mioceno superior y Plioceno posttectónico, las unidades presentes en el área se encuentran todas en posición alóctona y con una estructuración, provocada por movimientos tangenciales, extremadamente compleja.

En efecto, el traslado de los materiales de las Zonas Internas desde el Este al Oeste ha provocado que los materiales de Alta Cadena, Complejo Predorsaliano y Complejo Dorsaliano fueran estirados mediante fallas en dirección, razón por la

cual actualmente se presentan estos materiales de manera discontinua a lo largo del borde de las Zonas Internas.

El rasgo estructural predominante de toda la zona está caracterizado por la presencia de escamas apiladas tectonicamente que han deslizado sobre los materiales evaporíticos de las facies Keuper. La edad de los materiales del área va desde el Triásico, en facies Keuper, hasta el Plioceno y Cuaternario, pasando por todos los pisos del Jurásico, Cretácico y Terciario.

### **2.7.2. LITOESTRATIGRAFIA**

Los materiales presentes en la zona de Cádiz que se ha estudiado pertenecen al dominio Subbético, dominio Circumbético, Depresión del Guadalquivir y Neógeno autóctono. A continuación se analizan las secuencias estratigráficas más comunes de cada dominio, independientemente de su posición tectónica, que como ya se ha referido es extremadamente compleja.

#### **Unidades Subbéticas**

Se ha considerado como perteneciente al dominio Subbético el conjunto de afloramientos Triásicos de la zona, independientemente de su posición tectónica ya que parece que se trata de materiales procedentes del Subbético de zonas situadas en posiciones más orientales.

**Triásico.**

Las facies triásicas de la zona están representadas por facies Keuper en general, y en menor medida por facies carbonatadas y arenosas.

**Jurásico.**

Las facies jurásicas están representadas por un tramo basal de dolomías de grano fino que hacia el techo pasan a calizas blancas y calizas nodulosas. En algunos puntos la serie Jurásica termina con calizas con sílex.

**Cretácico inferior.**

Las series pertenecientes al Cretácico inferior están constituidas por una base de calizas margosas y margocalizas, en algunos puntos calizas conglomeráticas, y un conjunto de margas con niveles turbidíticos calcáreos a techo.

**Cretácico superior.**

Los materiales del Cretácico superior están representados por un conjunto de margas y margocalizas blancas y rojas denominadas "capas rojas". Se trata de una alternancia de bancos de centimétricos a decimétricos de margocalizas y margas blancas y con tonos asalmonados.

**Paleógeno.**

Los sedimentos paleógenos de la serie subbética, según a la unidad a la que pertenezcan, están representados por facies de margas blancas y rosadas con intercalaciones de niveles turbidíticos o calizas detríticas bioclásticas.

### Complejo Tectosedimentario

Los materiales del Complejo Tectosedimentario son los pertenecientes a las facies de las unidades circumbéticas. El Complejo Tectosedimentario está integrado por dos unidades en sentido amplio. Una inferior denominada Unidad de Paterna y otra superior denominada Unidad del Aljibe. De alguna manera la Unidad de Paterna constituye la base de la Unidad del Aljibe despegada de manera tectónica. Se corresponde con la denominada Formación de Arcillas con Bloques o Neonumídico de otros autores.

Al ser el Complejo Tectosedimentario una unidad acrónica, la edad de los materiales varía desde el Paleógeno hasta el Mioceno Medio, con retazos de materiales más antiguos.

La unidad de Paterna está compuesta por un conjunto de margas y arcillas negras alternando con arcillas y margas rojizas, son frecuentes las intercalaciones de areniscas y calizas en bancos centimétricos. Se le asigna una edad desde el Cretácico superior al Aquitaniense. En la zona son conocidas como facies de "Arcillas con Tubotomaculum".

La unidad del Aljibe está compuesta por un potente conjunto de areniscas de grano medio a grueso, parcialmente cementadas y con frecuentes amalgamaciones de carácter turbidítico. Su edad es Oligoceno superior Aquitaniense.

Generalmente estas dos unidades se encuentran superpuestas y su contacto siempre está mecanizado. En la zona, más oriental de la zona la unidad del Aljibe se encuentra imbricada en escamas.

### **Formaciones Para-Autóctonas y Autóctonas**

Dentro de este conjunto se encuentran las denominadas moronitas y albarizas. Se trata de un conjunto de arcillas y margas blanquecinas y oscuras, organizadas en dos unidades denominadas moronitas antiguas y moronitas modernas, las primeras son para-autóctonas de las segundas.

Aunque existen controversias en cuanto a su edad, parece que el conjunto inferior es de edad Burdigaliense superior - Langiense inferior y para las modernas de Tortoniense superior - Andaluciense (Messiniense de las Béticas Orientales).

Son series compuestas por restos de foraminíferos, radiolarios y diatomeas, que se corresponderían con depósitos de carácter rítmico o estacional.

### **Neógeno Autóctono**

Las series pertenecientes a esta unidad están representadas por sedimentos cuya edad va desde el Mioceno superior hasta el Cuaternario. Dependiendo de la zona considerada sus formaciones y litologías varían.

De manera general, el Mioceno superior está representado por una secuencia inferior de margas azuladas, margas arenosas de color amarillento con intercalaciones de arenas. El conjunto superior está integrado por una formación calcarenítica y calcirrudítica de color amarillento.

En el Sur de la zona estudiada, sobre estas secuencias aparecen tramos de biocalcarenitas y margas alternando con brechas calcáreas.

El Plioceno está representado en la zona por facies costeras de carácter arenítico y biocalcarenítico.

### Cuaternario

Las facies cuaternarias de la zona están representadas en las cercanías de la costa actual por facies marinas y transicionales, se han definido hasta siete niveles de terrazas marinas en este sector de la costa de Cádiz.

En las desembocaduras de los ríos, principalmente el Guadalete, son frecuentes los depósitos de marismas. Así mismo existen desarrollados pies de montes y glaciares en las zonas más alejadas de la costa.

#### **2.7.3. TECTONICA**

Como se han indicado en la situación geológica la estructura tectónica de la región es extremadamente compleja. No obstante se pueden distinguir diferentes tipos de deformaciones en función de los dominios estratigráficos considerados. De esta forma:

- Materiales preorogénicos pertenecientes a la Zona Subbética, desplazados de Este a Oeste.
- Materiales de la Zona Circumbética desplazados de Este a Oeste y parcialmente sobre materiales subbéticos.
- Materiales para-autóctonos del Valle del Guadalquivir (Moronitas y Albarizas), parcialmente afectados por corrimientos retrocabalgamientos.
- Materiales del Mioceno superior y Plioceno afectados por la neotectónica.

Dentro de los materiales subbéticos se pueden distinguir tres niveles de despegue importantes. El primero y más importante se corresponde con los materiales evaporíticos del Trías de facies Keuper, el segundo está integrado por los materiales del tránsito del Cretácico inferior al Cretácico superior representados por margas muy arcillosas, y un tercero de menor importancia de edad Luteciense compuesto por arcillas verdes oscuras.

Estos niveles de despegue hacen, que cuando comienzan los movimientos tangenciales más importantes de la zona, sobre una "zapata" de Trías despegada de su substrato, se localicen materiales cuya edad se enmarca entre la de los distintos niveles de despegue existentes.

Los materiales de la Zona Circumbética de este sector están representados por la Unidad de Paterna y la Unidad del Aljibe, aunque la primera sea la base estratigráfica de la segunda, y presentan una estructuración en bloques caóticos de diferentes edades, corridos sobre la Zona Subbética.

Después de los corrimientos de la Zona Subbética y de los de los materiales de la Zona Circumbética se depositan en la zona las facies de Moronitas y Albarizas. Con posterioridad a este depósito se produce un retrocabalgamiento o retrodeslizamiento hacia el Sur y Sureste, probablemente debido a la elevación de la parte central de la Zona Subbética, que intenta recuperar el equilibrio isostático roto durante la fase tangencial.

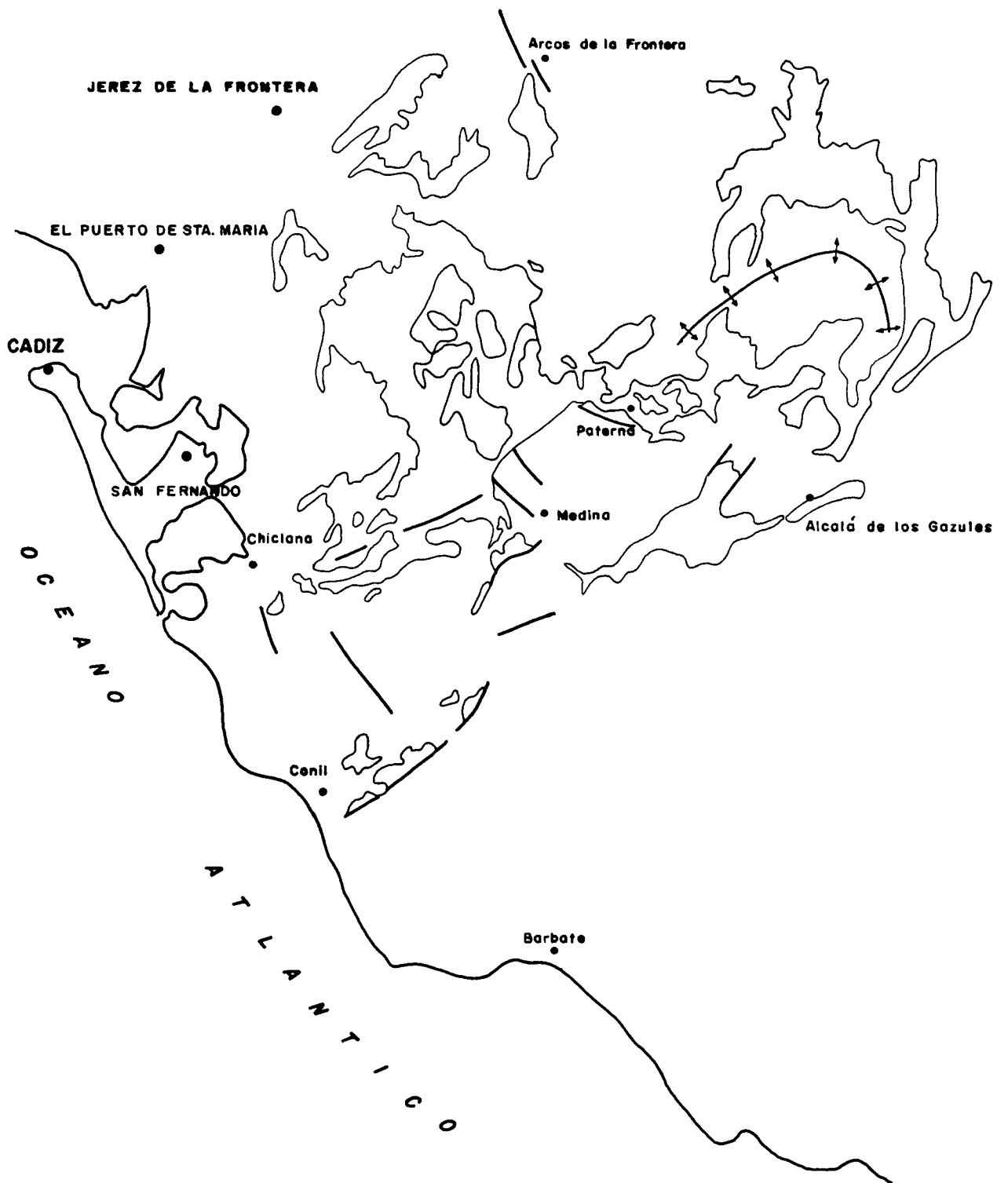


Fig. 53.- Principales estructuras y afloramientos Triásicos del área de Cadiz.



#### 2.7.4.1. CATASTRO MINERO

De la revisión de Catastro Mínero de la Provincia de Cádiz se pueden extraer las conclusiones siguientes:

Son muy numerosas las demarcaciones antiguas para petróleo en toda la provincia de Cádiz y en especial en la zona estudiada. Resaltan por su concentración las situadas inmediatamente al Norte de Villamartín.

Aparecen varias demarcaciones antiguas para azufre, todas de principios de siglo, situadas en:

- Dos en la Sierra de los Algarrobillos al Norte de Conil.
- Una en las proximidades del Cerro del Guijo en Arcos de la Frontera.
- Una en la Finca de San José del Pedroso, en la carretera de Paterna de Rivera a Puerto Real.
- Una, denominada San Expedito, en el término municipal de Jerez de la Frontera.

De estas sólo se han estudiado las de Conil y Arcos de la Frontera. En la de la Finca de San José del Pedroso no se han observado labores mineras antiguas ni facies portadoras de azufre. La Mina San Expedito no ha sido posible localizarla.

Son también importantes las demarcaciones para aguas minero-medicinales, sobre todo la de Fuente Amarga, directamente relacionada con indicios de petróleo y azufre.

Las deformaciones ligadas a la tectónica reciente resultan de dos fases que se han sucedido desde el Mioceno hasta la actualidad, se caracterizan por la presencia de:

- Fallas normales, acompañadas o no de grietas de tensión.
- Pliegues, fallas inversas y desgarres.

La dirección de los desgarres más importantes es de N140°E, y en menor medida los de dirección N20°E. Al cabo de estos desgarre existen fallas normales de dirección N120°E y N160°E.

#### **2.7.4.. ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO**

Los trabajos realizados en la Zona de Cádiz han consistido, en primer lugar en una revisión exhaustiva del Catastro Minero de la provincia, tanto antiguo como moderno, en segundo lugar un levantamiento de series litostratigráficas para definir las unidades presentes donde se encuentran los indicios de azufre en la zona y su medio de depósito. Posteriormente se han levantado los indicios de azufre en la zona para finalmente realizar dos cartografías de detalle a escala 1:25.000 de las zonas seleccionadas como más favorables para encerrar manifestaciones de azufre.

En total se han levantado 513 m de serie litoestratigráfica a escala 1:200, 3 indicios mineros y un total de 320 km<sup>2</sup> de cartografía a escala 1:25.000 y la revisión del Catastro Minero junto con un mapa de síntesis de la Cuenca a escala 1:100.000.

#### 2.7.4.2. ESTUDIOS ANTERIORES

Los indicios de azufre de la provincia de Cádiz son conocidos desde antiguo, sobre todo el de Conil del que se extrajeron ejemplares inmejorables de azufre cristalino. Es L. MALLADA en 1.909 quién publica en Estudios de Criaderos Minerales un primer estudio relacionando la presencia de petróleo con la existencia de azufre en la provincia de Cádiz.

Los primeros trabajos de interés general sobre la zona y donde se cita la presencia de mineralizaciones de azufre se remontan a 1.916 cuando J. GAVALA publica en el Boletín del IGME un estudio geológico sobre el sector de Conil-Barbate. En el mismo año publica también en el Boletín del IGME un trabajo sobre las Regiones petrolíferas de Andalucía donde se mencionan las Minas de Conil y Arcos de la Frontera y su relación con las manifestaciones de petróleo.

En el año 1.924 J. GAVALA publica el Mapa Geológico de la Provincia de Cádiz a escala 1:100.000 donde se hacen referencia a estos indicios.

Posteriormente se cita el indicio de azufre en Conil en el Mapa Metalogénico de España a escala 1:200.000 nº 86 (CADIZ) en el año 1.972. En el Plan Nacional de la Minería se citan los indicios de Arcos y Conil como de naturaleza estratiforme y con límites imprecisos.

El 1.981 el ITGE realiza un proyecto sobre las posibilidades mineras de la Provincia de Cádiz donde se presentan cuatro indicios de azufre situados en Arcos de la Frontera, Conil y en la carretera de Paterna de la Rivera a Medina Sidonia.

En 1985 el ITGE realiza un trabajo denominado Posibilidades de las mineralizaciones de azufre biogénico en la Península Ibérica en el que se citan los indicios de Conil y de Arcos de la Frontera.

En 1.985 la Consejería de Economía e Industria de la Junta de Andalucía publica el Mapa Geológico-Minero de Andalucía y en el se nombran los yacimientos de azufre de Arcos de la Frontera y Conil.

La tradición petrolífera gaditana data del siglo pasado y todo lo largo de este siglo las investigaciones y sondeos petrolíferos han sido la práctica común tanto en tierra como en las zonas costeras.

Entre 1.954 y 1.956 la Empresa Nacional ADARO realizó un sondeo de investigación denominado Chiclana-1 en las proximidades del pueblo del mismo nombre. Este sondeo atravesó capas petrolíferas y capas con azufre.

Los estudios geológicos de carácter general se desarrollan sobre todo en la década de los sesenta cuando diversos autores franceses realizan sus tesis doctorales en todo este sector para poder relacionar la Cadena Bética con la Cadena Rifeña, sobre todo en relación con las facies turbidíticas de las Unidades del Campo de Gibraltar.

Hay que destacar las Tesis de P. CHAUVE (1.967), J. DIDON (1.969), J. BURGOS (1.978) y de autores españoles como G. PENDON (1.978), A. MARTIN-ALGARRA (1.987). Autores como J. BAENA y L. JEREZ (1.982) realizan un ensayo paleogeográfico del Subbético y Prebético de las Cadenas Béticas y en la década de los ochenta el ITGE realiza las Hojas Geológicas del Plan MAGNA de la zona.

#### 2.7.4.3. DESCRIPCION DE LAS SERIES

Las zonas que se han investigado en detalle son las próximas a los indicios de azufre puestos de manifiesto. De esta forma se han analizado en detalle las facies

Keuper de Arcos de la Frontera y Conil y las facies miocenas de ambas zonas. Debido al tipo de zona, por su extensión y complejidad, las series se han levantado de manera puntual y haciendo hincapié en los factores sedimentológicos y tectónicos más relevantes.

### **Facies Triásicas**

El Trías que aflora en este sector de la provincia de Cádiz está caracterizado por la presencia de series muy potentes y muy homogéneas estructuradas en láminas cabalgantes como ya se ha indicado anteriormente.

En el sector de Arcos de la Frontera las facies triásicas están representadas por una gran masa alternante de arcillas versicolores y margas con intercalaciones de capas de yeso laminado de colores blancos y negros de grano muy fino y con alineaciones de cristales de teruelita (Carbonato de hierro).

Además existen otras facies de yesos de tipo selenítico en capas de hasta 1.5 m. Son muy frecuentes las intercalaciones de calizas y dolomías en la parte superior de la serie. Estos carbonatos se encuentran asociados a las facies yesíferas en algunos casos dando un aspecto de calizas de sustitución. No son raras las intercalaciones de areniscas de color amarillento muy ferruginizadas y horizontes ricos en limonitas y óxidos de hierro.

Otras veces constituyen afloramientos discretos, que han sido explotados para la producción de zahorras, donde la litología dominante son calizas micríticas y calizas margosas de color crema muy fracturadas y brechificadas con frecuentes filoncillos rellenos de calcita espática. El mejor afloramiento se encuentra en la parte más alta del Cerro del Guijo.

También en el Cerro del Guijo existe un afloramiento asociado al Trías de ofitas de grano medio muy compactas.

En la zona de Conil el Trías es muy similar al de Arcos de la Frontera pero presenta las siguientes particularidades:

Las calizas intercaladas en la serie son de color gris y dolomíticas. Se presentan como laminitas algales impregnadas de asfalto, alternantes con tramos más tableados. Tienen multitud de fracturas rellenas de yeso espejuelo. Las ofitas de la serie están más alteradas.

Los yesos son similares a los de Arcos pero no se ha observado en ellos la presencia de teruelita. Otros niveles de carbonatos se presentan muy carstificados y alterados.

En la zona de Paterna el Trías además de la serie común de arcillas y margas versicolores con yesos, presenta las siguientes particularidades:

Potente formación arenosa en la serie de techo de color rojizo con bancos de arenas de hasta 1.5 m. En una posición intermedia en la serie aparece una secuencia alternante de dolomías laminadas y tableadas con intercalaciones de laminitas algo bituminosas, todo en conjuntos de hasta 3 m. y de yesos de colores blancos y grises-negro con aspecto cebrado, también en conjuntos de hasta 3 m.

### **Facies Cretácicas**

Las facies cretácicas se pueden observar en el inicio de Conil y en el de Arcos. En la zona de Conil están representadas por una serie de margocalizas alternantes laminadas y tableadas de color blanco o crema con una potencia superior a los 60 m.

En Arcos están representadas por una alternancia de calizas margosas y margocalizas con frecuentes nódulos piritosos y restos de ammonites más o menos piritizados, la potencia es difícil de calcular. A techo aparece una serie similar a la de Conil de margocalizas laminadas y tableadas de color blanco.

### **Facies Paleógenas**

Las facies paleógenas que se han visto con más detalle son las de Arcos y las de Conil. Las de Arcos están compuestas por una serie de margas y margocalizas de color blanco y salmón muy laminadas y fracturadas. En Conil afloran las areniscas del Aljibe, que algunos autores piensan que su edad es Oligoceno. Se trata de una potente formación de areniscas turbidíticas de grano medio a grueso que presentan frecuentes amalgamaciones y representan un depósito turbidítico de facies proximales.

### **Facies Miocenas**

Las facies miocenas estudiadas se agrupan en dos conjuntos bien diferenciados. Uno se encuentra en posición autóctona, o autóctona relativa, y el otro grupo se encuentra en posición alóctona y está representado por una amalgama de rocas de diferentes edades y litologías constituyendo una auténtica tectofacies.

El primer grupo está representado por las margas grises y cremas de la Depresión del Guadalquivir con intercalaciones de areniscas y calcarenitas que se han

explotado para fines ornamentales. Su distribución se observa muy bien al Norte y Este del indicio de Arcos.

El segundo grupo está integrado por una formación de asignación y origen dudoso. En la zona estudiada CHAUVE (1.967) la definió como la Unidad de Paterna. Esta unidad o tectofacies con bloques de materiales calizos Liásicos, Flysch Aquitanienses, Areniscas del Aljibe, etc. está representada en la zona de Paterna y al Sur del indicio de Conil, entre Vejer y Conil, por una formación denominada Arcillas de Tubotomaculum.

Es una serie de arcillas negras laminadas algo margosa muy homogéneas con algunas intercalaciones de areniscas ferruginosas y nivelillos de carbonatos de 3 cm. a 5 cm. alternando con facies arcillosas rojizas laminadas y con el mismo tipo de intercalaciones arenosas y carbonatadas.

### **Facies Pliocenas**

El Plioceno en todo este sector de la provincia de Cádiz está representado por facies marinas costeras. La litología dominante es de arenas, areniscas y biocalcarenitas de colores blancos y amarillentos.

#### **2.7.4.4. INDICIOS**

Los indicios de la zona de Cádiz que se han inventariado son tres, dos corresponden a antiguas explotaciones y el tercero se corresponde con el sondeo realizado por ADARO en 1.954-56 donde la columna litológica revela la presencia de azufre.

#### **Indicio de Arcos de la Frontera (Indicio 1.048-1)**

La Mina de Arcos de la Frontera comenzó a explotarse a finales del siglo pasado en una concesión minera denominada "El Señor del Perdón". La empresa explo-



tadora era murciana y las instalaciones de la mina consistían en una vivienda-oficina y un par de hornos para el refinado del azufre, además de la explotación que se realizaba a cielo abierto en una corta de alrededor de 100 m. de longitud por 40 m. de anchura y de 10 m. a 20 m. de profundidad.

La extracción se abandonó en 1.915 debido a una gran inundación que sufrió la explotación debida a una gran crecida del arroyo del Salado.

La Mina de Arcos de la Frontera se encuentra en el término municipal de Jerez de la Frontera, inmediatamente al Norte del punto kilométrico 29,500 de la Carretera Nacional N-342 (Jerez a Cartagena).

En la actualidad toda la zona de la mina se encuentra cubierta por tierra de labor asociada a las terrazas del Arroyo del Salado.

En este sector, el Salado acomoda su cauce a un conjunto de fracturas que limitan al afloramiento triásico que hay al Sur y lo hunde en la zona de la mina.

Durante la explotación de la mina se realizaron numerosos sondeos en la misma corta. Uno de estos sondeos realizados en el centro de la costa, y que penetró 65 m. cortó un manantial de agua salada y sulfurosa que incluso depositaba azufre nativo en la zona de surgencia.

Una muestra tomada de este manantial y analizada revela la presencia de gran cantidad de cloruros, sulfatos, magnesio y potasio, además de contenidos elevados en litio y materia orgánica.

Según los datos de L. MALLADA (1.909) el yacimiento de azufre de Arcos se encuentra en fracturas, o en forma de cemento de una brecha caliza neógena y dentro de las margas de Cretácico inferior.

### **Indicio de Conil de la Frontera (Indicio 1.073-1)**

El indicio de Conil se encuentra en el paraje de los Algarrobillos y en cañada de la Mina, dentro del término municipal de Conil. Se accede a este indicio desde la N-340 por el punto kilométrico 23,200 desde donde parte un camino, que discurre por la margen occidental del Arroyo del Salado hasta la Cañada de la Mina y la Casa de la Mina, a unos 3.500 m. de la N-340.

Las labores mineras existentes en la zona consisten en varios pozos con escombreras de pequeño tamaño, todo muy recubierto. La minería de Conil data de finales del siglo pasado y termina en los comienzos del presente.

La mina de Conil es conocida por la belleza y perfección de los cristales de azufre encontrados, pero no así por su producción y riqueza minera.

El azufre se encuentra ligado a facies de laminillas dolomíticas de color negro y con olor a hidrocarburos. Las facies presentan un aspecto cebrado donde las bandas negras están integradas por dolomía, las bandas claras por calcita, y entre las bandas claras se encuentran los cristales de azufre. En otros casos se encuentra rellenando filoncillos dentro de la dolomías más masivas.

Las escombreras están integradas por dolomías y calizas, en su mayoría, y algunas presentan facies de margas versicolores y grises.

Sobre los materiales Triásicos del afloramiento de Conil aparecen las areniscas del Aljibe y una parte de facies margocalizas Cretácicas.

### **Indicio de Chiclana de la Frontera (Indicio 1.069-1)**

En los alrededores de Chiclana, ADARO realizó durante 1.947-1.949 un sondeo de petróleo denominado Chiclana-1. Entre 1.954 y 1956 ADARO realizó en la

misma zona otro sondeo para petróleo denominado Chiclana-2. La columna litoestratigráfica de este sondeo es:

- 0 m. - 98 m.: Margas Eocenas grises y azuladas bastantes descompuestas.
- 98 m. - 102 m.: Margas pardo rojizas con espejos.
- 102 m. - 120 m.: Margas grises con pirita.
- 120 m. - 151 m.: Al principio trazas de hidrocarburos, a continuación una serie de bancos de yeso oquerosos con trazas de margas y abundantes cristales de azufre, y margas negras con cantos de yeso y brechas de areniscas muy calizas y porosas.
- 151 m. - 160 m.: Sales.
- 160 m. - 188 m.: Margas y arcillas rojo oscuro con olor a petróleo y algo de areniscas roja.
- 188 m. - 207 m.: Sal con arenisca y cantidades apreciables de petróleo.
- 207 m. - 279 m.: Arcillas grises, sales y continúan los indicios de petróleo.
- 279 m. - 310 m.: Arcilla gris y marrón.
- 310 m. - 960 m.: Margas de diversos colores.
- 960 m. - 1.032,75 m.: Margas de diversos colores con vetillas de yeso.

Este sondeo está realizado en las proximidades de una estructura de dirección N20°E. Además en las proximidades del emplazamiento del sondeo existieron durante la década de los treinta, pequeñas explotaciones para obtener piedra de sillería de las calcarenitas organógenas de Mio-Plioceno.

En estas canteras, según cuentan personas del lugar, aparecían filoncillos rellenos de azufre, y desprendían fuerte olor a azufre.

Por otra parte, inmediatamente al Sur del sondeo, existen varios registros mineros antiguos (Fuente Amarga, Santa Ana, etc.) para aprovechamiento de aguas sulfurosas de un manantial existente en los alrededores. En la actualidad existe un Balneario que utiliza estas aguas.

### 2.7.5. AREAS SELECCIONADAS

Se han seleccionado dos zonas por su interés estratigráfico y tectónico, además dentro de estas dos zonas se encuentran los indicios más importantes de azufre de la provincia de Cádiz. Las zonas seleccionadas son las de Arcos de la Frontera y la de Conil-Chiclana de la Frontera.

#### ZONA DE ARCOS DE LA FRONTERA

La zona de Arcos de la Frontera investigada tiene una extensión de 120 km<sup>2</sup> y se encuentra dentro de las Hojas nº 1.048 (JEREZ DE LA FRONTERA) y 1.049 (ARCOS DE LA FRONTERA) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Se extiende desde Arcos de la Frontera hacia el Oeste y Suroeste.

Dentro de esta área se encuentra la Mina de Arcos que se corresponde con el Indicio nº 1.048-1. La zona está atravesada de Este a Oeste por la carretera N-342 y de Norte a Sur por la carretera C-343.

Los materiales que afloran en las proximidades de la Mina están constituidos por un gran afloramiento de Trías Keuper de dirección NS aproximadamente, donde sobresalen los juegos de fracturas N140°E y N40°E. Esta zona parcialmente diapírica tiene asociada una pequeña cobertera de materiales Cretácicos y Paleógenos muy poco potentes y afloran de manera discontinua.

El afloramiento de Trías está limitado por el juego de fracturas antes descrito, que además es el más representativo en todo el área.

El resto de las series pertenecen a los siguientes conjuntos:

- Series Mesozóicas y Paleógenas del Subbético medio.
- Series Neógenas pertenecientes a la Unidades del Guadalquivir.

- Series Neógenas autóctonas situadas sobre las facies del Guadalquivir.

La litología de las series es esencialmente detrítica, ya sea en forma de facies arenosas o limosas, o en forma de margas. Los materiales evaporíticos pertenecen al Trías Keuper.

La actividad tectónica de los juegos de fracturas antes mencionados es la responsable de la estructura actual de la zona en forma de macizos elevados donde predominan las facies Triásicas con pequeñas coberteras Cretácicas, y en menor medida Jurásicas, y Paleógenas y zonas deprimidas donde se acomodan las facies autóctonas de la zona. La presencia del Trías evaporítico debajo de estas series es patente debido a la salinidad de los cauces superficiales y a los datos de los sondeos realizados, para diferentes fines, en la zona.

#### **ZONA DE CONIL - CHICLANA DE LA FRONTERA**

La zona de Conil - Chiclana de la Frontera investigada tiene una extensión de 200 km<sup>2</sup> y se encuentra dentro de las Hojas n<sup>o</sup> 1.069 (CHICLANA DE LA FRONTERA) y 1.073 (VEJER DE LA FRONTERA) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Se extiende desde Chiclana de la Frontera hacia el Este y Sureste hasta Conil de la Frontera.

Dentro de este área se encuentra la Mina de Conil que se corresponde con el Indicio n<sup>o</sup> 1.073-1 y el Indicio 1.069-1 que se corresponde con el sondeo de ADARO. La zona está atravesada de Noroeste a Sureste por la carretera N-340 de la que parten numerosos caminos vecinales y locales.

La zona está estructurada dentro de un juego de fracturas de direcciones N140°E y N40°E, con saltos verticales importantes y otro juego, que parece más tardío de dirección N100°-110°E de salto en dirección y que afecta a los materiales Pliocenos.

Las series que afloran en este sector son las siguientes:

- Series del Subbético Medio.
- Series del Complejo Tectosedimentario Mioceno.
- Series autóctonas del Mioceno y Plioceno.

La litología de las series es esencialmente detrítica, ya sea en forma de facies arenosas o limosas, o en forma de margas. Los materiales evaporíticos pertenecen al Trías Keuper. Destacan las facies areniscosas de los materiales turbidíticos del Complejo Tectosedimentario y las facies de laminitas carbonatadas del Keuper.

La actividad tectónica de los juegos de fracturas antes mencionados es la responsable de la estructura actual de la zona en forma de una gran zona diapírica de dirección N40°E donde predominan las facies Triásicas con pequeñas coberteras Cretácicas, y en menor medida Jurásicas, y Paleógenas y zonas aledañas a esta dirección, tanto al Norte como al Sur, donde se acomodan las facies autóctonas o para-autóctonas de la zona. La presencia del Trías evaporítico debajo de estas series es patente debido al conocimiento alcanzado por los sondeos petrolíferos realizados en la zona.

De alguna manera las estructuras diapíricas del Trías son coetáneas y posteriores a la estructuración tectónica de la zona como lo demuestra la existencia de "trampas petrolíferas" bajo los sedimentos Miocenos y Pliocenos que pueden albergar yacimientos biogénicos de azufre en la zona.

#### **2.7.6. RESUMEN Y CONCLUSIONES**

La provincia de Cádiz se encuentra en la parte más meridional de la Península Ibérica. La zona estudiada en este proyecto comprende las hojas a escala 1:100.000 del Mapa Topográfico Nacional nº 6-22 (JEREZ DE LA FRONTE-

RA), 7-22 (ARCOS DE LA FRONTERA), 6-23 (CADIZ), 7-23 (ALCALA DE LOS GAZULES) y 6-24 (VEJER DE LA FRONTERA).

Geológicamente la zona estudiada se enclava dentro de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas Occidentales y dentro de éstas en el contacto entre las Unidades Alóctonas del Campo de Gibraltar, el Subbético Medio como conjunto, y en contacto con los materiales detríticos de la Depresión del Guadalquivir.

Este sector de la Cadena Bética presenta grandes dificultades para su estudio ya que, salvo las facies del Mioceno superior y Plioceno posttectónico, las unidades presentes en el área se encuentran todas en posición alóctona y con una estructuración, provocada por movimientos tangenciales, extremadamente compleja.

El rasgo tectónico predominante de toda la zona está caracterizado por la presencia de escamas apiladas tectonicamente que han deslizado sobre los materiales evaporíticos de las facies Keuper. La edad de los materiales del área va desde el Triásico, en facies Keuper, hasta el Plioceno y Cuaternario, pasando por todos los pisos del Jurásico-Cretácico y Terciario.

Los trabajos realizados en la Zona de Cádiz han consistido, en primer lugar en una revisión exhaustiva del Catastro Minero de la provincia, tanto antiguo como moderno, en segundo lugar un levantamiento de series litostratigráficas para definir las unidades presentes donde se encuentran los indicios de azufre en la zona y su medio de depósito. Posteriormente se han levantado los indicios de mineralizaciones de azufre de la zona para finalmente realizar dos cartografías de detalle a escala 1:25.000 de las áreas seleccionadas como más favorables para encerrar manifestaciones de azufre.

Los materiales que componen las secuencias sedimentarias presentes en el área de Cádiz son:

- Facies evaporíticas del Trías Keuper.
- Facies carbonatadas y margocalizas de Jurásico, Cretácico y Paleógeno.
- Las Facies Miocenas son de carácter detrítico en general, tanto las correspondientes al Complejo Tectosedimentario alóctono como los correspondientes a las series autóctonas. Las litologías dominantes son de arcillas, limos, areniscas y margas.
- Las facies Pliocenas están representadas por arenas y limos.

Aparecen varias demarcaciones antiguas para azufre, todas de principios de siglo, situadas en:

- Dos en la Sierra de los Algarrobillos al Norte de Conil.
- Una en las proximidades del Cerro del Guijo en Arcos de la Frontera.
- Una en la Finca de San José del Pedroso, en la carretera de Paterna de Rivera a Puerto Real.
- Una denominada San Expedito en el término municipal de Jerez de la Frontera.

De estas solo se han estudiado las de Conil y Arcos de la Frontera. Además se ha considerado como indicio un sondeo realizado por ADARO entre 1.954-1956 en las proximidades de Chiclana de la Frontera, donde en la caña del mismo se cortó azufre.

De los indicios estudiados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

El azufre de la zona de Cádiz está relacionado con facies Triásicas. Son muy frecuentes las manifestaciones de petróleo asociadas al Trías de la zona y dieron lugar a principios de siglo a demarcaciones para petróleo.

La estructura tectónica de la zona está marcada por la presencia de una alineación diapírica de dirección N40°E, posterior de alguna manera a la estructuración en



mantos de la zona, retocada por fracturas de dirección N110°E y N140°E con una componente importante en salto en dirección. En general el Trías se estructura en cubetas y domos tapados por facies neógenas, limitados por fracturas de los juegos anteriormente mencionados.

El proceso genético que se puede observar en los indicios estudiados está directamente relacionado con la deposición de azufre proveniente de la oxidación del ácido sulfhídrico por precipitación al mezclarse con aguas superficiales (Sector de Arcos), por oxidación del ácido en facies porosas (Sondeo de Chiclana) o por procesos metalogenéticos asociados a la formación de facies cebradas, debido a la alta concentración del mismo (Mina de Conil).

En todos los casos, se constata la presencia de una trama estructural, la presencia de facies triásicas y la presencia de facies porosas donde se deposite el azufre.

En resumen si no se puede hablar de un azufre de origen bioepigenético claramente, ligado al Trias (cap-rock y/o estratiforme).

### **2.7.7. RECOMENDACIONES**

Es importante subrayar la presencia de todos los factores que son necesarios para que se genere un yacimiento de azufre biogénico en la zona de Cádiz, estos son:

- Facies evaporíticas con alto contenido en sulfatos.
- Potencial generador de materia orgánica de tipo petrolífero.
- Estructuras diapíricas y juegos de fracturas que son capaces de generar trampas para los fluidos mineralizantes.

Con estos condicionamientos de partida las labores a desarrollar serían las siguientes:

Cartografía a escala 1:5.000 estructural de la zona de Conil, Arcos de la Frontera y Sur de Paterna de Ribera, donde se marquen todas las estructuras presentes y alineaciones tectónicas.

Realización de campañas de geofísica para detectar la estructura tectónica bajo los sedimentos Miopliocenos y comprobar las estructuras detectadas en superficie, sobre todo en el sector de Chiclana-Conil.

Cartografía Hidrogeológica de las zonas de interés para conocer la hidrodinámica de la zona.

Análisis químico de los manantiales de las zonas a investigar para conocer su potencial generador en cuanto a sulfhídrico y materia orgánica.

Sondeos mecánicos con recuperación de testigo continuo realizados en las zonas deducidas de la cartografía, geofísica e hidroquímica.

### **3.- SONDEOS**

---

### 3.- SONDEOS

---

Como etapa final de este estudio se ha realizado una campaña de sondeos en dos áreas seleccionadas, el sector de Arcos de la Frontera y la zona central de la cuenca de Almería.

Como se ha venido comentando a lo largo del informe, los indicios de azufre de Cádiz presentan unas características diferentes a todos los demás estudiados en las distintas cuencas. Por otra parte las características de los afloramientos, tanto en Conil, Chiclana como en Arcos de la Frontera, no permiten definir con al menos claridad meridiana el contexto geológico y fenómenos tectónicos esenciales que hubieran intervenido en la formación de los yacimientos de azufre antiguamente explotados, esto, unido a la importancia que se da en la bibliografía antigua a estos depósitos, sobre todo al de Arcos de la Frontera, del que actualmente solo quedan pequeños restos de escombreras, hizo que se ubicara un sondeo en relativa proximidad a la antigua corta de explotación de azufre de Arcos de la Frontera al objeto de tratar de cortar y conocer las características esenciales de la mineralización.

El sondeo se situó a unos 200 m al E de las antiguas labores de explotación, próximo al punto de intersección de dos fracturas, deducidas del estudio fotogeológico, así como al contacto entre materiales triásicos de facies Keuper y los terciarios suprayacentes.

La perforación, denominada - Arcos de la Frontera 1 - (plano nº 66) no cortó nivel mineralizado en azufre, encontrándose durante los 138 m una serie muy uniforme de margo-calizas y calizas arcillosas (Unidad de Paterna?), blancas, rojas y verdes hasta 44 m de profundidad, negras hasta los 63 m y otra vez blancas, rojas y verdes hasta el final del sondeo.

Como características más destacables desde el punto de vista de su interés en cuanto al azufre y otras posibles mineralizaciones de sales, cabe destacar la importante e intensa fracturación que presenta el testigo a todo lo largo del sondeo, llegando a constituir prácticamente una milonita desde casi los 86 m de profundidad, el fuerte sabor salado que también se aprecia en todos los testigos, sobre todo en las superficies de fractura, así como a veces, una ligera impregnación asfáltica en esas superficies.

En opinión del Dr. Kubica debería realizarse al menos otro sondeo más próximo aún a las antiguas labores de explotación, prácticamente a unos 10 ó 20 m de los límites de la antigua corta, actualmente tapada pero definidos por información de las gentes que habitan en la zona. Si el sondeo fuera positivo, realizar una serie de perforaciones, alejándose paulatinamente de ese punto hasta definir las características geológicas y geométricas del yacimiento.

En la cuenca de Almería, los afloramientos de yesos (Los Juanorros) presentan asimismo, en opinión del Dr. Kubica, las mejores y más típicas características de poder encontrarse reemplazados a caliza y/o azufre en profundidad. Características que, según este especialista en depósitos de azufre, son similares a las que poseen los yacimientos polacos y argelinos.

Por otro lado, a unos 7 km al E de esos afloramientos, un sondeo antiguo describe la presencia de un potente tramo evaporítico (yesos seleníticos y anhidríticos) bajo el que se presenta una serie de 30 m de laminas kerogénicas con niveles de azufre. Los yesos se encuentran a partir de 220 m aproximadamente y las laminas a 300 m de profundidad, según la descripción de este sondeo, realizado a principios del siglo.

Por lo anterior, entre los afloramientos más orientales de yesos y el antiguo sondeo (Los Pipaces), según la dirección del eje de la estructura anticlinal (apro-

ximadamente E-O) que en este sector de la cuenca presenta la zona (plano n° 21), se realizaron los sondeos Almeria-1 y Almeria-2 (planos nos. 67 y 68).

La columna litológica que cortaron estas perforaciones es muy similar, incluso con la que se describe en el sondeo antiguo de los Pipaces conservando las series una gran homogeneidad solamente alterada por la diferente profundidad a que se encuentran las distintas formaciones pero también respondiendo a una inclinación uniforme del eje de la estructura anticlinal, hundiéndose de O a E, que forman los materiales, tal como se representa en la figura n° 55.

De esta manera, en la columna litológica de los tres sondeos se aprecia un conjunto margo-arenoso (margas con "Lepra") con un espesor bastante continuo, entre 140 m (Al-1) y 190 m (Los Pipaces) aumentando su potencia de Oeste a Este y con la particularidad de su color oscuro (gris-negro) en proximidad a las facies evaporíticas subyacentes así como el aumento de su impermeabilidad, al hacerse más margoso, casi inmediatamente a techo de los yesos.

Sobre la unidad margo arenosa se encuentra, posiblemente en discordancia, un conjunto arenoso-arenisco conglomerático, prácticamente erosionado o no depositado en el sector del sondeo Almeria-1 y con espesores de 40 a 50 m hacia el E en los sondeos Almeria-2 y Los Pipaces.

al N por el borde S de Sierra Alhamilla y Sierra Cabrera, en donde es posible, también, que los yesos se encuentren a menor profundidad por efectos tectónicos y/o de configuración de la cuenca.

Además de sus evidentes posibilidades en azufre y yeso la cuenca de Almería puede poseer recursos de sustancias importantes actualmente como por ejemplo: Li, B, fosfatos y otras sales ya que existen manifestaciones sobre ellas y su contexto tectosedimentario y litoesratigráfico es adecuado para poseerlos

## **4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---



#### 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

(INCLUYE LAS OPINIONES Y RECOMENDACIONES DEL DOCTOR B. KUBICA SOBRE LAS POSIBILIDADES DE AZUFRE BIOGENICO EN EL SUR DE LA PENINSULA)

En principio, el Sr. Kubica, especialista polaco en investigación de depósitos de azufre biogénico y petróleo, aporta unos datos generales que si bien son en su mayoría conocidos por el equipo de trabajo del proyecto y han sido expuestos en otros informes realizados para el ITGE (v.g. Exploración de azufre biogénico en Albacete-Alicante-Murcia) creemos conveniente recogerlos aquí.

##### Generalidades

España importa casi el 45% del azufre que necesita (año 1968) con un consumo superior a los 10 millones de toneladas que necesitaría actualmente según su población y desarrollo económico-industrial.

Existe una relación directa entre el desarrollo de un país y su consumo de azufre por habitante.

Con datos de 1969, los países de los que España importa azufre son:

Francia -	61,70 miles de t
Polonia -	19,39 " " "
U.S.A. -	2,90 " " "
Alemania -	0,01 " " "

En este momento la primera fuente de azufre y sus derivados en España es la pirita seguida del petróleo, algo del lignito y también de reducción industrial ( $\text{SO}_2$ ). Nuestras posibilidades de grandes producciones, de las fuentes anteriores, es prácticamente nula. Se podrían obtener de los sulfatos (yesos, anhidritas), esencialmente  $\text{SO}_4\text{H}_2$ , tal como se realiza en Inglaterra y Japón pero la tecnología aún es muy costosa.

La producción mundial anual de azufre actualmente es de 53 millones de toneladas. De estas, 12 millones de toneladas proceden de yacimientos de azufre natural, de los cuales Polonia produce 4.5 m/t, USA casi 5 m/t, Méjico 1,5 m/t e Irak 0,6 m/t.

De la recuperación del gas natural, Canadá (Alberta) produce casi 4 m/t, Francia 0,7 m/t y URSS probablemente 2 m/t.

La producción de las piritas es solo de 2 m/t. Del resto de otras sustancias (petróleo, gas industrial, todos los métodos de recuperación de metales, carbón (centrales eléctricas)) se produce aproximadamente 40 m/t.

Con respecto a lo anterior y según datos del ENGINEERIN AND MINING JOURNAL de Marzo de 1991 la producción de azufre en todas sus formas en el mundo occidental es la siguiente:

<u>Frasch</u>	<u>1989</u>	<u>1990</u>
Estados Unidos	3.830	3.700
Méjico	1.500	1.475
Irak	900	750
<b>TOTAL</b>	<b>6.230</b>	<b>5.925</b>

Recuperación de otras fuentes:

	<u>1989</u>	<u>1990</u>
Canadá	5.850	5.950
Francia	630	630
Estados Unidos	6.450	6.500
Cercano Oriente	2.820	2.400
Otros	4.500	4.550
<b>TOTAL</b>	<b>20.250</b>	<b>20.030</b>
OTROS AZUFRES	110	110
<b>TOTAL AZUFRE</b>	<b>26.590</b>	<b>26.065</b>

NO-Brinstone

Piritas	3.800	3.800
Reducción de gases/otros	6.340	6.450
<b>TOTAL NO-BRIMS</b>	<b>10.140</b>	<b>10.250</b>
<b>TOTAL AZUFRE, TODAS FORMAS</b>	<b>36.730</b>	<b>36.315</b>

El balance entre la oferta y la demanda en el mundo occidental es la siguiente

OFERTA

	<u>1989</u>	<u>1990</u>
Producción Mundo Occidental	26.590	26.065
Importación	1.800	1.800
<b>TOTAL</b>	<b>28.390</b>	<b>27.865</b>

<b><u>DEMANDA</u></b>	<b><u>1989</u></b>	<b><u>1990</u></b>
Mundo Occidental	29.000	29.900
Exportación	750	500
<b>TOTAL</b>	<b>29.750</b>	<b>30.400</b>
DIFERENCIA	-1.360	-2.535

#### **CAMBIOS DE STOCWS**

U.S. Frasch	155	0
Canadá	-800	-800
OTROS	-715	-1.735
<b>TOTAL</b>	<b>-1.360</b>	<b>-2.535</b>

En estos cuadros queda perfectamente reflejado el déficit de azufre en el mercado occidental, agravado desde 1990 por la guerra del Golfo que afectó a dos grandes productores, Irak y Kuwait.

En esta misma publicación se indica que el precio del azufre ha estado subiendo en los últimos años, llegando hasta los 140 dol/t. Asimismo se dice que en Estados Unidos se están poniendo técnicas a punto para obtener azufre del carbón (cleancoal); algunos de estos proyectos podrán realizarse a partir del año 2000.

En España hay varias regiones de interés que pueden tener posibilidades de poseer yacimientos de azufre elemental y en las que antiguamente ha sido explotado, son:

- Libros
- Murcia-Albacete

- Benamaurel (Baza-Granada)
- Benahadux (Almería)
- Arcos de la Frontera - Conil (Cádiz)

España, mediante estas explotaciones, fue la segunda productora de Europa durante los años 1912 a 1921, variando la producción entre 14,6 miles de toneladas (1912) a 13,55 mil/t (1920). En Italia se producían, entonces, 60 miles de toneladas.

En los años de 1950 a 1960 España produjo entre 2,3 y 1,65 miles de toneladas.

Los yacimientos de azufre español son muy parecidos a los italianos con menores reservas y leyes muy variables como por ejemplo en Lorca (Murcia) en donde las cantidades de azufre varían entre el 8 y el 40%.

En el sector de Libros-Riodeva, los niveles con azufre se emplazan en el mioceno. Los sulfatos lagunares intercalan margas y calizas con restos de caráceas así como pizarras bituminosas (laminitas) y margas yesosas y calcáreas con azufre.

El azufre está concentrado en nódulos en los niveles de calizas y margas. Las leyes varían entre el 20 y 80%.

El azufre procede de la alteración de los yesos con participación de los hidrocarburos que a su vez impregnan y enriquecen las laminitas.

En 1945 las reservas se estimaban en 700.000 T.

En los sectores de Murcia-Albacete la formación evaporítica con azufre es sedimentaria lacustre.

En el límite de Murcia y Albacete (río Segura) existen concentraciones de yeso con azufre paralelas al eje de la cuenca, con buzamientos de 15 a 20°. Son calizas, margas y pizarras arcillosas (lutitas arcillosas). En general el S se encuentra en niveles de calizas esencialmente y en relación con pizarras bituminosas.

Hay rocas volcánicas en su proximidad, veritas, fortunitas y jumillitas.

En Lorca el yacimiento se extiende en 20 km de longitud y casi 3 km de anchura. Se explotaron 3 horizontes hasta 1958 produciéndose 8000 t de azufre con un 30%. Las reservas se estiman en 250.000 t.

Los límites de criadero de Hellín (Albacete) no se conocen. Este se sitúa en el mioceno lacustre constituido esencialmente por areniscas, margas, calizas listadas por azufre, yeso y pizarras bituminosas. También existen fenómenos volcánicos.

En Hellín se han explotado hasta ocho horizontes intercalados en la serie de una potencia de 200 m. Los últimos horizontes no eran muy favorables en cuanto a su explotabilidad por sus condiciones hidrogeológicas.

El espesor de cada nivel mineralizado varía de 0,5 a 2,5 (media aproximada 0,8 m). La superficie minada es de 4 km<sup>2</sup> aproximadamente.

Hay posibilidad de que la mineralización se extienda por debajo del río Segura, posibilidad que habría que verificar.

La última producción conocida de estas minas es de 500.000 t con un 16%.

Fue la mayor explotación de azufre de España.

#### Condiciones generales de los sectores visitados

En España existen varias cuencas con numerosos indicios y grandes posibilidades de poseer un importante yacimiento de azufre, esencialmente en las cuencas de

Fortuna-Alhama-Lorca

Almería

Baza

en donde de manera general se observa alteración de yeso a caliza, concentraciones de azufre y antiguas explotaciones, muy numerosas, de este elemento.

El azufre siempre está conectado a series evaporíticas del Mioceno-Plioceno, generalmente Messiniense.

Los procesos de alteración mas intensos se observan en la banda evaporítica norte de la cuenca de Fortuna-Alhama, al N. de Alcantarilla en las proximidades del Caserío el Cortado y sobre todo en la cuenca de Almería en el paraje de Los Juanorros.

Asimismo se observan grandes concentraciones de azufre en Benahadux (escombreras) y en el Marchal de Araoz (in situ). Por otro lado, la serie evaporítica se presenta bien desarrollada en Fortuna-Alhama-Lorca, también en Hellin y sobre todo en Almería, en donde existen grandes espesores de yeso con bancos potentes de cristales, repetidos en tres o cuatro ciclotemas. Este hecho, de la presencia de

grandes espesores de yeso puro es quizás el mas importante y favorable para encontrar un depósito de interés.

También destaca la cuenca de Baza, concretamente el sector de Benamaurel, en donde se presenta una serie margo-limoarenosa con yesos intercalados con gran desarrollo superficial y desconocida potencia.

En esta cuenca afloran y han sido explotados niveles con azufre con espesores de entre 3 y 10 cm. Existe la posibilidad de que en profundidad aumente el espesor de los niveles evaporíticos y por tanto la mineralización sea más importante.

## RECOMENDACIONES

El Dr. Kubica insiste en realizar, para cada sector seleccionado, estudios estructurales de detalle y de condiciones hidrogeológicas alrededor de las manifestaciones más importantes, tratando de definir estructuras abombadas, fallas, etc.

- . Asimismo entre otras técnicas recomienda los estudios isotópicos para determinar las calizas de alteración, previos análisis petrográficos.
- . Análisis microscópicos en los contactos entre yeso y calizas para detectar la presencia de restos de bacterias (scanned).
- . Geofísica (perfiles geoelectricos, SEV, SEDT, neutrón-gamma, gravimetría).

El método de neutrón-gamma permite, en comparación con la resistividad, determinar dentro de un paquete de yesos los tramos de calizas estériles y mineralizadas.



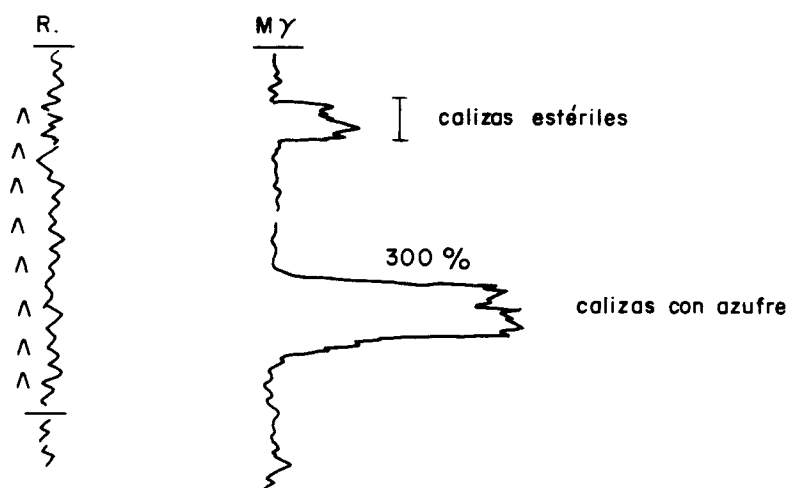


Figura n° 56: Ejemplo de los obtenidos por radiometría

- Radiometría para determinar la presencia o paso de hidrocarburos.
- Estudio de fotoaéreas, Landsat, y su interpretación de infrarrojos, para determinar las anomalías de temperatura, ya que todos los yacimientos de azufre provocan reacciones exotérmicas manifestándose el fenómeno en el terreno como una anomalía geotérmica.

Además de estas técnicas, completadas al final con sondeos mecánicos de entre 150 a 200 m de profundidad, se insiste en los métodos tradicionales de exploración de campo ya conocidos como:

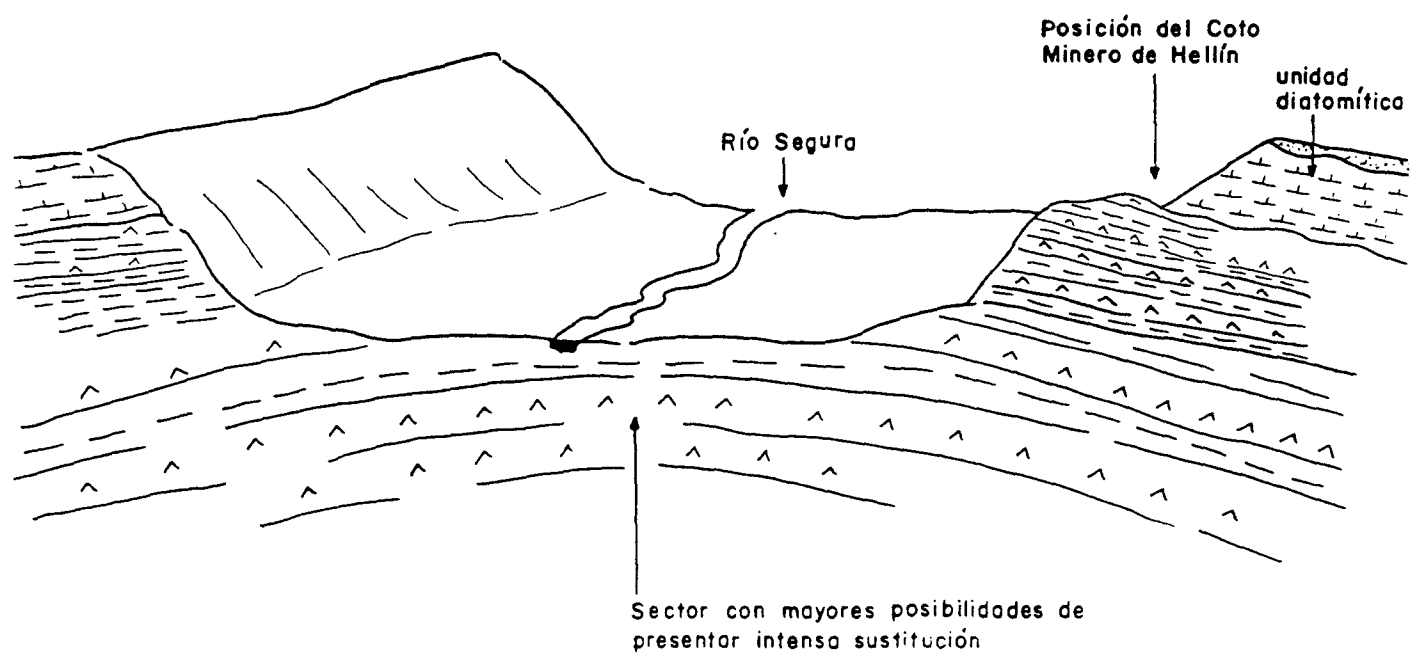


Figura 57. - AREA DE INTERES DEL COTO MINERO DE HELLIN

- estudio de alteraciones
- presencia de indicios
- fuentes y manantiales termales y/o azufrosas
- relaciones con volcanismo
- espesor y continuidad de los yesos, preferentemente de tipo selenítico
- olores fétidos

En cuanto a las zonas concretas visitadas, tanto en la primera excursión como en esta última, y, desde el punto de vista de su mayor a menor interés se señalan en el siguiente orden:

- 1º.- Libros
- 2º.- Cuenca de Almería (Los Juanorros-Pipaces) - Benahadux
- 3º.- Cuenca de Baza (Benamaurel)
- 4º.- Fortuna-Alhama
- 5º.- Lorca

además debería investigarse la cuenca de Hellín, concretamente el área de Socovos y al Sur de las antiguas explotaciones del Barrio de las Minas, tal como ya se expuso en la nota sobre su anterior visita y se detalla en el proyecto Exploración Previa de Azufre Biogénico en diferentes áreas de Alicante-Albacete y Murcia (ITGE. 1990).

Libros:

Es el sector en donde la alteración, sustitución de yeso por caliza y azufre, es la más intensa de todas las zonas visitadas.

Surgen dos cuestiones a resolver, al igual que en otras cuencas del SE, la presencia de pizarras bituminosas en esta, mas abundantes y con mayor contenido en kerógeno, y, los restos fósiles que presentan algunos niveles de calizas mineralizadas, incluso los mismos fósiles y sus cavidades sustituidos o rellenos de azufre elemental.

A la primera cuestión, el Dr. Kubica, claramente epigenetista, responde que las pizarras bituminosas por si solas no han podido generar los hidrocarburos suficientes para dar lugar al azufre allí presente, y, si su contenido es mayor es debido a que se han enriquecido de hidrocarburos de una fuente más profunda y mas intensa que en otras cuencas.

A la segunda cuestión no responde claramente. Se le plantea la posibilidad de la mineralización de Libros sea secundaria, debida a oxidación de  $\text{SH}_2$  escapado de zonas más profundas o laterales, vía fallas, diaclasas, discontinuidades de estratificación, etc. y atrapado en los niveles mas permeables, yesos, calizas, etc. entre niveles impermeables, pizarras bituminosas.

Esta explicación la considera posible pero en este caso las calizas no serían de sustitución.

En cualquier caso la manifestación mineral es muy intensa, así como el número y el volumen de escombreras de las antiguas explotaciones, por lo que considera muy probable que en profundidad o lateralmente existen concentraciones de azufre de gran tamaño.

Considera la cuenca de Calatayud-Teruel, en su conjunto muy interesante tanto para azufre como para petróleo.

Como trabajos futuros recomienda insistir en el estudio fotogeológico-estructural con revisión en campo y perfiles geoelectricos para definir las series evaporíticas, espesores, alteraciones y estructuras y sondeos mecánicos. En definitiva, la cuenca en si misma merece un estudio exhaustivo.

### Cuenca de Almeria

#### Niveles evaporíticos de Los Juanorros-Pipaces

En la cuenca de Almería se desarrolla una serie con niveles de yeso de forma muy continua en el sector occidental y oriental, recubiertos en el centro de ella por los materiales suprayacentes del Messiniense terminal-Pleistoceno.

La estructura simplificada de este conjunto evaporítico es tal como se esquematiza en la siguiente figura

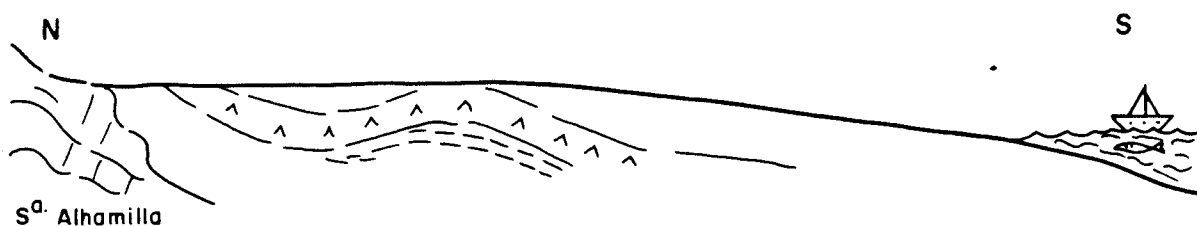


Fig. nº 58: Corte esquemático de las evaporitas en la cuenca de Almería

El afloramiento denominado - Los Juanorros - representa la terminación en superficie del afloramiento evaporítico occidental en el punto de inflexión de estos niveles tal como esquematiza en figura siguiente

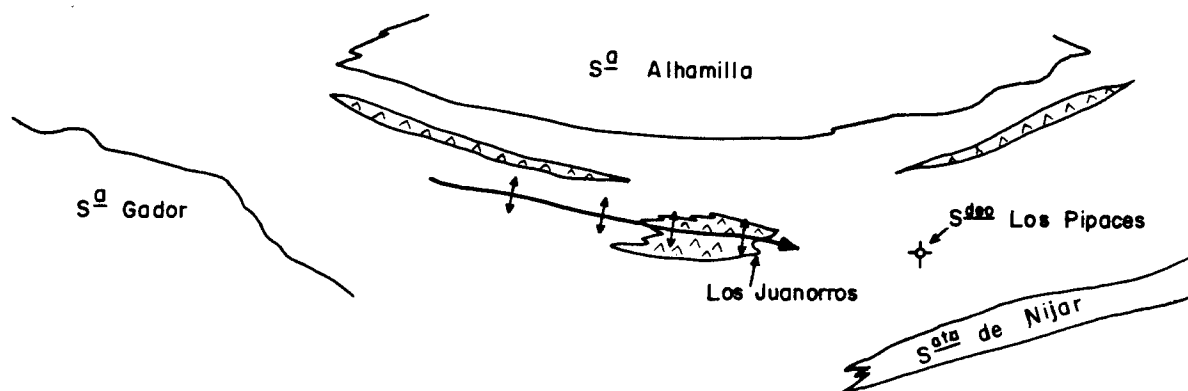


Fig. nº 59: Esquema de la disposición de afloramientos de yeso en la C. de Almería

En este gran afloramiento, los yesos, aflorando con una potencia superior a los 30 m poseen una intensa sustitución a caliza, en parte dolomitizada. Presentan intercalaciones arcillosas (bentonita y tuff y restos de peces) que favorecen el entrapamiento de los fluidos, por ello, a muro de estos niveles, impermeables, se observa una mas intensa sustitución y por tanto, niveles calcáreos de mayor entidad.

Parte de los niveles evaporíticos están constituidos por yeso detrítico ya que el eje de máximo alargamiento del cristal no está vertical.

Esta observación nos hace pensar en una probable desconexión del afloramiento de Los Juanorros con respecto a los niveles evaporíticos próximos al borde de Sierra Alhamilla, constituyéndose como un segundo nivel superior evaporítico procedente del inferior mediante una fractura de tipo lístrico según se esquematiza en la figura siguiente

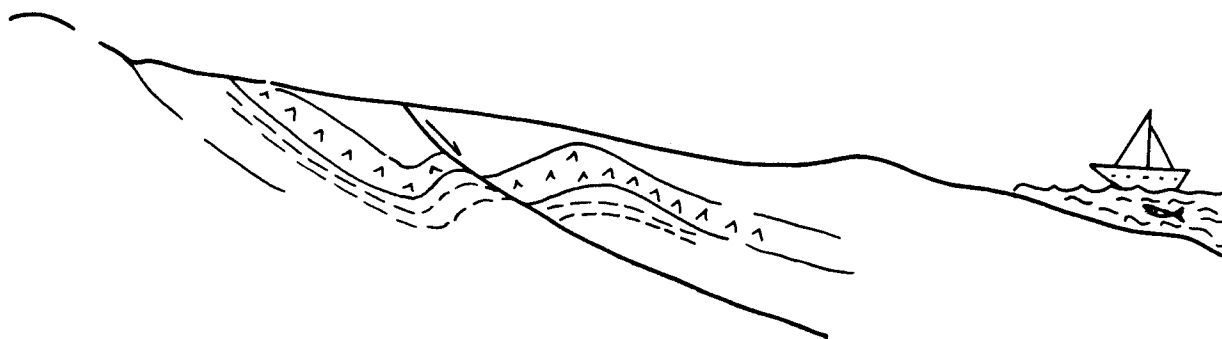


Fig. nº 60: Estructura de los niveles evaporíticos en la C. de Almeria

en definitiva, el Dr. Kubica, indica que en uno u otro caso la situación es muy similar a la que se presenta en Polonia en donde se estaría próximo a un yacimiento (Sc). También lo compara con Argelia en donde se encontró asimismo un yacimiento pero en este caso dentro de una estructura abombada mas acusada que en Polonia.

No parece importar que no se vea azufre. El principio de la sustitución, que es la caliza, es muy intenso, por lo que en los sectores adecuados por su estructura y entrapamiento esta alteración puede ser de azufre, según la opinión del Sr. Kubica que indica que el azufre se forma cuando los niveles se encuentran impermeabilizados mientras que la caliza domina en donde el  $\text{SH}_2$  no ha tenido suficiente tiempo para oxidarse; en base a que el primer producto de la alteración es el  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y el  $\text{SH}_2$  resultante, que dará lugar al azufre nativo, debe conservarse el suficiente tiempo en la trampa para oxidarse y no escapar a zonas superiores o laterales.

En conclusión para el Dr. Kubica es de gran importancia investigar la estructura anticlinal de los Juanorros hasta, al menos los Pipaces, y su posible continuación

hacia el E mediante geofísica (métodos geoelectricos, SEV, SEDT) y sondeos, estos ubicados en líneas perpendiculares a las estructuras y con tres sondeos, al menos, separados unos 500 m cada uno, en cada línea. Opina que realizar sondeos aislados separados en una distancia superior a 1 km no suele conducir a la obtención de buenos resultados.

Benahadux:

Llama su atención la gran cantidad de estos de azufre existente en las numerosas y voluminosas escombreras existentes.

Se puede datar la edad de la mineralización, al menos la mas tardía, como Pliocena terminal a Pleistocena.

Benahadux es un problema distinto de lo visto en las restantes cuencas y sectores. Se apunta un posible origen de las dolomias con azufre procedentes de evaporitas.

Pueden ser manifestaciones de azufre debido a gran cantidad de  $\text{SH}_2$  que sobra de una fuente inferior por lo que se puede encontrar un gran yacimiento bioepigenético en profundidad (máximo 200 m).

Hay que estudiar el sector individualmente con otro tratamiento distinto al que se utiliza en las cuencas neógenas, en cualquier caso recomienda la realización de tres sondeos de unos 200 m de profundidad máxima, cerca de las antiguas explotaciones.



### Marchal de Araoz

Azufre en superficies de discontinuidad, rellenando fisuras en niveles carbonosos. Cristales de yeso en su proximidad.

El Dr. Kubica no se pronuncia claramente. Resalta como importante la gran cantidad y variedad de indicios en este sector de la cuenca de Almería.

Las hiladas amarillas (azufre) pueden ser el resultado de la alteración de sulfatos previamente removilizados y que rellenan esas superficies de discontinuidad (yeso fibroso) y que posteriormente nuevamente transformado en alunita, jarosita y natrojarosita.

### Cuenca de Baza (Benamaurel)

La característica principal de esta cuenca con respecto al azufre es la gran cantidad de antiguas labores de explotación existentes repartidas por casi toda la superficie que ocupan los materiales margo-arenosos-evaporíticos.

Los afloramientos en donde se observa la mineralización son escasos, pero tanto en ellos como en las escombreras llama la atención la ausencia de calizas de sustitución.

En algunos momentos el Dr. Kubica aceptó la posibilidad de que la mineralización de azufre en la cuenca de Baza tuviese un origen biosingénético, sin embargo, algunas observaciones, como el remplazamiento de cristales de "selenita" por azufre, lo hizo decidirse por un origen bioepigenético secundario (escapes de  $\text{SH}_2$ ).

En cualquier caso da máxima importancia a encontrar las calizas de sustitución que significan el principio del proceso que puede dar lugar a un gran yacimiento.

Por otro lado, los niveles evaporíticos que se observan en la cuenca no son muy potentes, sin embargo la alteración ha sido muy intensa (siempre que el origen sea bioepigenético) ya que estos niveles se sitúan entre una serie en general bastante impermeable y poco adecuada para que por ella se infiltren los gases o hidrocarburos necesarios para iniciar el proceso de alteración que da lugar a la caliza y el azufre.

En definitiva, en esta cuenca recomienda la realización de sondeos situados en proximidad a las antiguas labores al objeto de comprobar la potencia de la serie mineralizada por si en profundidad los niveles evaporíticos fuesen mas espesos y su sustitución por caliza y azufre mayor.

#### Cuenca de Fortuna-Alhama-Lorca

En esta cuenca se seleccionan una serie de sectores, en proximidad a las bandas evaporíticas mineralizadas, en el centro de la cuenca y en los bordes de los afloramientos de rocas volcánicas (Barqueros y Fortuna) en donde se deben realizar perfiles geoelectricos (SEV, SEDT), investigación hidrogeológica y comprobación mediante al menos dos sondeos en cada una de ellas.

#### Cadiz

Diferente estilo de concentración de azufre con respecto a las otras cuencas.

Estos indicios están conectados a los sulfatos del Trias, con posibles fenómenos diapíricos.

Existen explotaciones antiguas, así como sondeos para petróleo que describen azufre (Chiclana), pero en este momento es difícil decir el horizonte explotado.

En la antigua mina de Arcos el Trias aflora en una serie sulfatada, con anhidritas listadas, muy duras que intercalan arcillas rojas y margas. No se conoce el espesor de la serie y solo se observan pequeños procesos de alteración.

El sondeo efectuado perfora la serie superior de calizas y margas arcillosas negras muy tectonizadas. Fuerte olor a  $\text{SH}_2$  mediante una fuente que está conectada al yacimiento de S. antiguamente explotado. Este fenómeno se debe continuar verificándolo, en proximidad a la antigua labor e ir alejándose progresivamente de ella, mediante sondeos.