



IGME

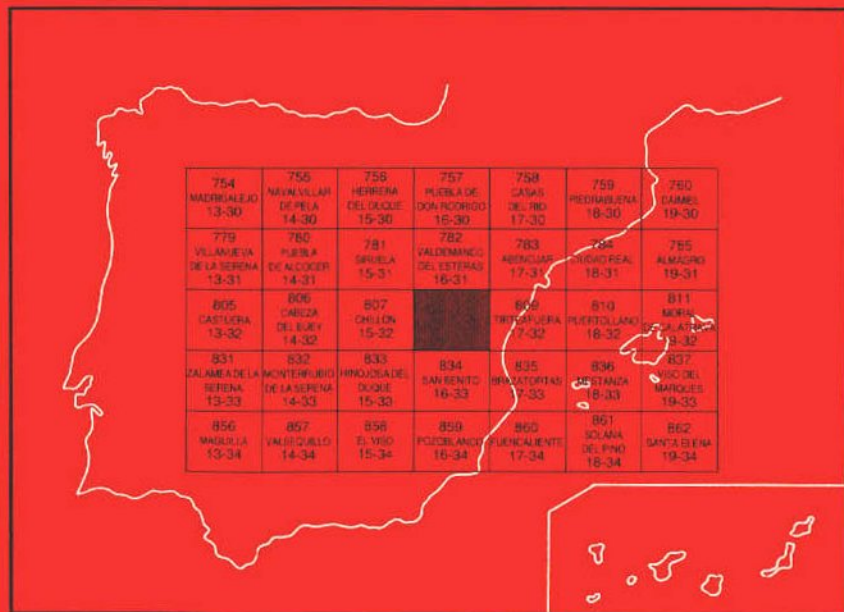
808

16-32

MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

E. 1:50.000

ALMADEN



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA
E. 1:50.000

ALMADEN

SERVICIO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

La Hoja de Almadén ha sido realizada como consecuencia del convenio existente a tal efecto entre el Instituto Geológico y Minero de España y Minas de Almadén y Arrayanes, S. A.

En la elaboración de esta hoja ha intervenido el siguiente grupo de trabajo:

Cartografía geológica:

GARCIA SANSEGUNDO, Joaquín, y LORENZO ALVAREZ, Saturnino, en la elaboración del Paleozoico y Precámbrico del sector Noreste.

MARTINEZ RIUS, Albert, y VERGES MASIP, Jaume, en la elaboración del Precámbrico del Valle de Alcudia.

Asimismo, se han utilizado las cartografías de los siguientes autores: AGUILAR TOMAS, Mariano; BABIANO GONZALEZ, Francisco; CULLAUT SAENZ DE SICILIA, Juan León, y VILLOTA LACORT, J.

La memoria ha sido realizada por:

GARCIA SANSEGUNDO, Joaquín.

LORENZO ALVAREZ, Saturnino.

ORTEGA GIRONES, Enric.

El estudio de indicios mineros ha sido llevado a cabo por ORTEGA GIRONES, Enric.

Los análisis petrológicos fueron realizados por PASCUAL MARTINEZ, Emilio, y colaboradores del Departamento de Petrología de la Universidad de Granada.

El estudio de las muestras paleontológicas fue llevado a cabo por la ETS de Ingenieros de Minas de Madrid.

Supervisión, coordinación y dirección del Instituto Geológico y Minero de España.

INDICE

	Páginas
0. INTRODUCCION	7
1. ESTRATIGRAFIA	9
1.1. PRECAMBRICO	9
1.1.1. Precámbrico de la zona nororiental (8, 9)	10
1.1.2. Precámbrico del Valle de Alcudia (8)	11
1.2. ORDOVICICO	11
1.2.1. Pizarras, areniscas, cuarcitas y conglomerados. Tremadociense-Areginiense (10, 11)	12
1.2.2. Cuarcitas. Cuarcita Armoricana. Areginiense (12)	13
1.2.3. Areniscas y cuarcitas. Areniscas y Pizarras. Estratos Pochico. Arenigiense (13)	13
1.2.4. Pizarras. Pizarras de Calymene inferiores. Llanvirniense-Llandeiloide (14, 16, 17) ...	14
1.2.5. Areniscas y pizarras. Alternancias inferiores. Llandeiloide (15)	15
1.2.6. Pizarras. Pizarras de Calymene superiores. Llandeiloide (17, 18)	15
1.2.7. Alternancia de cuarcitas, areniscas y pizarras. Alternancia de canteras. Llandeiloide (19, 20)	15

	Páginas
1.2.8. Cuarцитas y areniscas. Cuarцитas de canteras. Llandeiloense-Carodiciense (21)	16
1.2.9. Alternancia de areniscas y pizarras. Alternancia zarza. Carodiciense (25)	17
1.2.10. Pizarras. Pizarra de canteras. Caradociense (26)	17
1.2.11. Alternancia de cuarцитas, areniscas y pizarras. Alternancias superiores. Caradociense (24)	18
1.2.12. Calizas y/dolomías. Caliza urbana. Asghillien- se (27)	19
1.2.13. Pizarras. Pizarras de muro. Asghillien- se-Llandoveryense (28)	19
1.3. SILURICO	20
1.3.1. Cuarцитas y areniscas. Cuarcita de criadero. Llandoveryense (30, 29)	20
1.3.2. Pizarras grafitosas con graptolites, pizarras y areniscas con intercalaciones de basaltos y tobas volcánicas básicas. Alternancias volc- ano-sedimentarias. Llandoveryense-Genidien- se (31, 32, 33)	22
1.4. DEVONICO	24
1.4.1. Cuarцитas y areniscas. Cuarcita de base. Sie- geniense (34)	24
1.4.2. Pizarras, areniscas, cuarцитas, calizas, tobas y lavas. Emsiense-Frasniense (35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43)	25
1.5. CARBONIFERO SUPERIOR	28
1.5.1. Limolitas (47)	28
1.5.2. Depósitos glaciares (44)	28
1.5.3. Tobas y cineritas ácidas (45)	28
1.5.4. Basaltos (46)	29
1.5.5. Conglomerados (48)	29
1.6. PLIOCENO SUPERIOR («RAÑAS») (49)	29
1.7. CUATERNARIO	30
1.7.1. Pleistoceno. Glacis (50)	30
1.7.2. Holoceno	30
1.7.2.1. Depósitos aluviales (54)	30
1.7.2.2. Coluviones (derrubios de ladera) (52)	30
1.7.2.3. Derrubios de rañas y rañas semi- desmanteladas (53)	31

1.7.2.4.	Cuaternario indiferenciado (55)	31
1.7.2.5.	Depósitos antrópicos (51)	31
2.	TECTONICA	
2.1.	DEFORMACIONES PREHERCINICAS	31
2.2.	DEFORMACIONES HERCINICAS	34
2.2.1.	Estructuras de fase 1	34
2.2.2.	Estructuras de fase 2	36
2.2.3.	Deformaciones tardías	37
2.3.	EDAD DE LA DEFORMACION	38
2.3.1.	Deformaciones prehercínicas	38
2.3.2.	Deformaciones hercínicas	39
3.	PETROLOGIA	40
3.1.	PETROLOGIA IGNEA	40
3.1.1.	Rocas graníticas (7)	40
3.1.2.	Rocas volcánicas y subvolcánicas	41
3.1.2.1.	Rocas calcoalcalinas dacíticas y riolíticas (6)	41
3.1.2.2.	Rocas riolíticas (3)	42
3.1.2.3.	Doleritas (5)	42
3.1.2.4.	Volcanismo básico (17, 20, 32, 38, 39, 42, 3, 4)	43
3.1.2.5.	Diques de cuarzo (1)	46
3.2.	PETROLOGIA METAMORFICA	46
4.	METALOGENIA	48
5.	HISTORIA GEOLOGICA	51
6.	GEOLOGIA ECONOMICA	52
6.1.	MINERIA Y CANTERAS	52
6.2.	HIDROGEOLOGIA	53
7.	BIBLIOGRAFIA	53

NIPO: 232-87-007-3

Depósito Legal: M. 36285-1987

Gráficas Lormo. Isabel Méndez, 15. Tel. 430 05 26. 28038-MADRID

0. INTRODUCCION

La Hoja de Almadén está situada en el extremo suroeste de la provincia de Ciudad Real, en su límite con las de Badajoz y Córdoba, en las estribaciones septentrionales de Sierra Morena.

La red hidrográfica principal está formada por los ríos Valdeazogues y Alcudia, tributarios del Guadiana, que cruzan la Hoja de este a oeste y confluyen en su límite occidental.

El núcleo de población más importante es Almadén, en el extremo occidental. Otros pueblos son Almadenejos, Alamillo, Fontanosas y Gargantiel.

Desde el punto de vista geológico, la Hoja se encuentra en la zona Luso-Oriental-Alcúdica, según la clasificación de LOTZE (1945). Dentro de la división en zonas para la Meseta Ibérica, establecida por JULIVERT *et al.* (1972), esta Hoja se situaría en la parte meridional de la Zona Centro-Ibérica, próxima a la Zona de Ossa-Morena.

Aparecen materiales pelítico-grauwáquicos atribuidos al Precámbrico en la esquina NE de la Hoja y en el tercio inferior de la misma (Valle de Alcudia).

Sobre este conjunto de materiales se deposita discordantemente una serie casi exclusivamente detrítica desde el Ordovícico inferior al Devónico superior, sucediéndose durante su sedimentación varios episodios volcánicos que alcanzaron su máximo desarrollo durante el Silúrico y Devónico.

Todo este conjunto de materiales fue posteriormente deformado por la orogenia hercínica en dos fases principales, dando lugar a las grandes megaestructuras cartografiadas del Sinclinal de Almadén, Anticlinorio

del Valle de Alcudia y Sinclinal de Guadalmaz (que apenas está representado dentro de la Hoja). Junto con la deformación únicamente se produjo un metamorfismo de grado muy bajo.

Todos estos materiales sedimentarios aparecen frecuentemente afectados por intrusiones de rocas ígneas del ciclo orogénico hercínico.

Dentro de la Hoja existen, además, depósitos pertenecientes al Plioceno superior y al cuaternario, que, en algunas ocasiones, alcanzan un desarrollo importante, recubriendo los materiales anteriormente citados.

El relieve es de tipo apalachense, el cual representa el resultado de varios ciclos erosivos, distinguiéndose varias superficies de arrasamiento sobre las cuales se ha encajado la red fluvial actual. Sobre estas superficies arrasadas destacan los relieves de cuarcitas que alcanzan su máxima cota en la Sierra de Alcudia, con 871 m., y al NE de la Hoja, en la Morra del Aguial, con 866 m.

La Hoja tiene un gran interés minero derivado de la existencia de los mayores y más ricos yacimientos de mercurio del mundo, además de numerosos indicios de otros metales (Pb, Zn, Cu y Sb).

Entre los antecedentes geológicos de esta zona cabe destacar los siguientes:

- CASIANO DE PRADO (1855) describió, a grandes rasgos, la estratigrafía del Paleozoico.
- HERNANDEZ SAMPELAYO (1926) estudia las faunas ordovícicas y silúricas.
- CIRY (1936) establece, en líneas generales, la estructura de la región.
- ALMELA *et al.* (1962) realizan un estudio geológico más detallado de la concesión de Minas de Almadén.

Posteriormente se pueden citar una serie de trabajos de carácter regional y local, debidos, principalmente, a autores franceses.

- LOTZE (1966) establece la primera serie estratigráfica del Anteordovícico.
- PUSCHMANN (1967) localiza en Sierra Morena oriental la laguna estratigráfica existente en el Devónico medio.
- BOUYX (1970) estudia las formaciones anteordovícicas.
- TAMAIN (1972) describe las series ordovícicas y silúricas en Sierra Morena oriental.
- SAUPE (1973) establece la génesis del yacimiento de mercurio de Almadén, relacionándolo con su contexto geológico regional.
- LAURET (1974), LOZAC'H y VIDAL (1976) estudian la terminación occidental del Valle de Alcudia.
- MORENO (1977) estudia el Anteordovícico y la deformación hercínica en los Montes de Toledo occidentales.
- HAFENRICHTER (1980) precisa en Sierra Morena los límites inferior y superior del Ordovícico.

Finalmente, la existencia de los siguientes trabajos supuso una gran ayuda en la realización del presente estudio:

CARRERAS, FELGUEROSO, ASSENS y AGUILAR (1971).
COULLAUT, VILLOTA y AGUILAR (1975).
RIOS y ORCHE (1975).
COULLAUT, VILLOTA, BABIANO y AGUILAR (1977).
VERGES MASIP (1984).
PARDO ALONSO (1983).
PARDO ALONSO y GARCIA-ALCALDE (1984 a, b).
GARCIA SANSEGUNDO (1984).

1. ESTRATIGRAFIA

Desde el punto de vista litoestratigráfico se pueden distinguir dos grandes grupos de materiales: uno constituido por grauwacas y pizarras en facies turbidíticas de edad Precámbrica y otro formado por materiales paleozoicos de plataforma poco profunda. Durante el Silúrico y Devónico aparecen importantes episodios volcánicos y durante el Devónico medio existe una laguna estratigráfica.

Localmente aparecen materiales de origen glaciario atribuidos al Carbonífero superior y conglomerados del Plioceno y Cuaternario.

1.1. PRECAMBRICO

Materiales de edad precámbrica afloran en la mitad sur de la Hoja (Valle de Alcudia) y en el extremo NE, en el denominado Domo del Matalloso y rodeando a la granodiorita de Fontanosas. Constituyen un potente conjunto pelítico-grauwáquico sobre el que se sitúa discordante el Paleozoico. Aunque los materiales son litológicamente similares en toda la Hoja, diferencias en la estructura interna de las capas y en la regularidad de la estratificación permiten diferenciar dos zonas que corresponden a las dos grandes áreas donde aflora el Precámbrico y que se caracterizan por unas condiciones de depósito algo diferentes.

Estos materiales corresponden a las Capas de Alcudia, de BOUYX (1970) y son equivalentes a las Capas de Valdelacasa (LOTZE, 1966) y a la Serie Preordovícica, de MAAS, R. (1963). En el mismo Valle de Alcudia fueron estudiados por RICHTER (1967), en su terminación oriental, quien los denominó Esquistos de San Lorenzo y por TAMAIN (1972), que los agrupó junto con otros materiales bajo la denominación de Alcludiense.

En áreas próximas, como, por ejemplo, las Hojas de Abenojar (ORTEGA y SANCHEZ VIZCAINO, in lit.) y Tirteafuera (AMOR y ORTEGA, in lit.) se han podido diferenciar dos series en los materiales precámbricos separados por una discordancia angular. La extensión e implicación regional de este fenómeno aún no es bien conocida.

En cualquier caso, dentro de la Hoja de Almadén no aparecen los materiales de la serie superior (litológicamente constituidos por pizarras, areniscas, cuarcitas, conglomerados y calizas/dolomías), apoyándose el Ordovícico directamente sobre el Precámbrico de la serie inferior (pizarras y grauwacas).

1.1.1. Precámbrico de la zona nororiental (8, 9)

Como se señaló más arriba, los materiales a los que se hace referencia en el núcleo de la estructura denominada Domo del Mataloso, rodeando la granodiorita de Fontanosas y frecuentemente están separados del Paleozoico por fracturas.

Estos materiales precámbricos son turbiditas en las que se observan alternancias de grauwacas y pizarras en capas de espesores que varían de 5 a 20 cm., pudiendo encontrarse bancos de hasta 50 cm. En los afloramientos vistos no se han llegado a encontrar estructuras sedimentarias del tipo «graded bedding», estratificación cruzada, «slumps», etc., sin embargo, en sondeos realizados en zonas próximas se han hallado niveles donde se encuentran estas estructuras, aunque no de forma abundante.

La característica primordial de este tipo de facies es su desorganización. Se puede observar como la estratificación está totalmente distorsionada, careciendo las capas de grauwacas de continuidad lateral; el grado de desorganización es mayor cuanto mayor es el predominio de las pizarras.

Las causas que dieron lugar a esta removilización pueden ser atribuidas a inestabilidades gravitacionales, probablemente debidas a actividad tectónica, producidas después de la sedimentación de estos materiales.

El grado de desorganización varía también de una zona a otra, así en la carretera Abenójar-Fontanosas (al S de la granodiorita de Fontanosas) aparecen estos mismos materiales pero perfectamente organizados, observándose una perfecta continuidad en las capas y con los planos de estratificación netos. En este caso podemos compararlos con las turbiditas del Valle de Alcudía, al S de la Hoja. Por el contrario, en otros puntos, tal como en el Domo del Mataloso, la desorganización es muy intensa, llegando a borrar completamente la estratificación. Aparecen únicamente cantos de grauwacas dispersos en una matriz pizarrosa, dando lugar a brechas intraformacionales que se pueden considerar similares a los clasificados como «Pebbles mudstone» por MORENO (1977) y ROIZ (1979).

Este aspecto caótico de máxima desorganización no es frecuente en la zona estudiada, sino que tan sólo es observable localmente en afloramientos sueltos que carecen de continuidad, por lo que puede decirse que la removilización se realiza a nivel de capa, a diferencia de otras zonas donde se produce a nivel de toda la serie.

Este tipo de facies ha sido asimilado a la sucesión del Arroyo del Aguilarejo, situada al E de la Hoja de Almadén, en la Hoja de Tirteafuera (AMOR y ORTEGA, in lit.) y forma parte de una sucesión turbidítica sugerida por PUIGDEFABREGAS (1981) progradante hacia el SW y con dirección NE-SW.

1.1.2. Precámbrico del Valle de Alcudia (8)

Está constituido por una potente y monótona sucesión pelítico-grauwáquica de carácter turbidítico formada por alternancias de pizarras y grauwas en bancos decimétricos y métricos. Los niveles arenosos aparecen organizados en secuencias de Bouma, faltando generalmente el término A de granoclasificación; es difícil, por tanto, encontrar marcas de base en los estratos, aunque a veces se observan marcas de corriente, tales como «flutecasts» y «groovecasts». Dentro de las capas no abundan las estructuras sedimentarias, pero localmente se observan granoclasificaciones en las grauwas y laminaciones finas en los niveles pizarrosos. Las pizarras son de colores verdosos y por el tamaño de grano se clasifican como limolitas. Petrográficamente la serie es muy homogénea, ya que tanto las grauwas como las pizarras están constituida por los mismos minerales.

Los pocos datos de paleocorrientes tomados, aunque coincidentes con los de PUIGDEFABREGAS (1981) dan valores distintos para los «ripples» (N 110° E) y para las marcas lineales de base (N 60° E), aunque la cantidad de datos es insuficiente. Un pliegue sinsedimentario observado en la vertical de Alamillo parece dar una paleocorriente hacia el Oeste.

Dos logs realizados en zonas con afloramientos bastante contindo no muestran secuencias claras de ningún tipo, dando una serie totalmente desorganizada. La observación de las gráficas muestra una cierta abundancia de ciclos de tipo positivo, aunque también hay algunos negativos. Debido a la insuficiencia de datos es imposible definir a qué tipo de ambiente sedimentario se puede asociar, de todas maneras, debido al poco espesor de las capas, ausencia de material grueso y la desorganización secuencial existente, se puede afirmar que se trata de material depositado en una zona distal.

La potencia de esta monótona serie de carácter turbidítico es muy difícil de establecer, debido a sus características litológicas, intenso plegamiento, y que no se observa la base, aunque se estima superior a los 2.000 m.

En cuanto a la edad, el único dato seguro es la datación hecha por MITROFANOV y TIMOFEIEV (1977), Y QUE APARECE CITADA POR M. A. DE SAN JOSE en el volumen «Libro Jubilar J. M. Rios» (1982). Los restos de acritarcos encontrados (*Orygmatosphaeridium* sp. y *Protosphaeridium* sp) señalan una edad Rifeense segura.

1.2. ORDOVICICO

Está representado por una serie fundamentalmente detrítica, que consiste en una alternancia de pizarras, areniscas y cuarcitas, con niveles conglomeráticos hacia la base y un nivel calcáreo discontinuo de edad Asghillense. Aparecen, además, materiales volcánicos y subvolcánicos, generalmente de carácter básico, a lo largo de casi toda la serie.

1.2.1. Pizarras, areniscas, cuarcitas y conglomera-
dos. Tremadociense-
arenigiense (10, 11)

En la sucesión tipo establecida por BOUYX (1970) para el Ordovícico inferior en la Sierra de la Mestanza, estos materiales equivalen al primero y segundo tramo. Corresponden a la «Serie detrítica de base», que comienza por tramos discontinuos de conglomerados, sobre los cuales se sitúan areniscas groseras y microconglomerados, y al «nivel rojo» de pizarras y areniscas micáceas, alternando con areniscas.

Dentro de la Hoja de Almadén los materiales atribuidos a esta edad constituyen una potente sucesión, que aparece discordante sobre los materiales precámbricos del Valle de Alcudia y del «Domo del Matalloso».

Dicha sucesión está constituida por pizarras, limolitas, areniscas, cuarcitas y conglomerados, pudiendo distinguirse, en líneas generales, dos grandes conjuntos: Un tramo basal de conglomerados, microconglomerados y cuarcitas y un tramo superior mucho más potente de areniscas, cuarcitas y delgados niveles de microconglomerados, alternando con pizarras y limolitas. Dentro de este tramo superior desaparecen los niveles más groseros hacia arriba, quedando una alternancia de pizarras, limolitas y areniscas. Es característica la intensa bioturbación que afecta a los niveles arenosos y limolíticos.

Ambos tramos se han cartografiado separadamente, observándose que el inferior, conglomerático, presenta grandes variaciones de espesor, debidas bien a cambios laterales de facies o a fenómenos tectónicos, aunque hay que tener en cuenta que debido a los recubrimientos casi nunca se ve su verdadera base.

Las cuarcitas son ortocuarcitas de grano medio a grueso, y aparecen en bancos decimétricos.

Los conglomerados y microconglomerados están constituidos por cantos de cuarzo, cuarcita y arenisca bien redondeados y englobados en una matriz formada, generalmente por arena de grano grueso.

El tamaño de los cantos es del orden de 2-3 cm. por término medio, y en algunas zonas se han encontrado cantos de 10 cm. de diámetro medio, siendo los mayores de hasta 30 cm.

La potencia de todo este conjunto de materiales es difícil de determinar, debido a los recubrimientos, variando entre un mínimo de 200 m., en el flanco S. del Sinclinal de Almadén, y 500-600 m. en los domos del Matalloso y del Opejón al NE de la hoja. Los restos fósiles son escasos en toda la serie, y los únicos datos de que se dispone son los del propio BOUYX (1970) que encontró pistas (*Haulania* sp. y *Fingulella* sp) y los de MOLINA y FERNANDEZ CARRASCO (in litt.), que en la Hoja de Valde-
manco encontraron numerosas pistas *Skolithos* sp y *Cruziana furcifera*) y braquiópodos inarticulados (*Ectenoglossa cf. lesneri*). Todos ellos indican una edad Arenigiense para la mayor parte de la serie, y probablemente Tremadociense Superior para la base.

1.2.2. Cuarcitas. Cuartía armoricana. Arenigiense (12)

Es equivalente a los tramos tercero, cuarto y quinto de la sucesión tipo de BOUYX (1970) para el Ordovícico inferior de la Sierra de Mestanza. A partir de que, en líneas generales, el desarrollo de esta formación es muy similar en todas las localidades, existen numerosas variaciones en su desarrollo litológico, que hacen que en muchos sitios no se puedan distinguir los tres tramos citados. Además, ha habido bastante confusión en cuanto a la equivalencia de la serie descrita por BOUYX y las series similares que se han estudiado en otras regiones, llegando a cartografiarse juntos materiales perfectamente diferenciables.

La Cuarcita Armoricana, en conjunto, está compuesta por cuarcitas de colores claros en bancos decimétricos a métricos separados por tramos donde los bancos cuarcíticos son menos potentes y donde aparecen delgadas intercalaciones arenosas y limolíticas. La disposición de las capas más potentes de cuarcita, observable en foto aérea, sugiere la existencia de una enorme estratificación cruzada de pequeño ángulo ($<5^\circ$) de dirección SW, que podría deberse a barras o cordones litorales, progradando en esa dirección (Puigdefábregas, 1974).

La potencia es del orden de 300-350 m. La edad es Arenigiense, y ha sido determinada mediante pistas (presencia de diversas especies del género *Cruziana*).

1.2.3. Areniscas y cuarcitas, areniscas y pizarras. Estratos Pochico. Arenigiense (13)

Fueron definidos por TAMAIN (1972) en Sierra Morena Oriental, y son equivalentes al tramo sexto de la sucesión de BOUYX (1970) para el Ordovícico inferior de la Sierra de Mestanza y a las «Handerger Sandstein», de los autores alemanes (RICHTER, 1967).

Constituyen una alternancia de cuarcitas, areniscas y pizarras que forman una megasecuencia positiva, disminuyendo progresivamente la frecuencia y espesor de los bancos cuarcíticos.

A muro pasa gradualmente a la cuarcita Armoricana, por desaparición de los interestratos pizarrosos y aumentar la potencia de los bancos cuarcíticos. A techo pasa a las Pizarras de Calymene Inferiores, al desaparecer las capas arenosas.

Son abundantes las estructuras sedimentarias que indican medio somero y agitado; entre ellas es frecuente la estratificación cruzada de bajo ángulo, que forma canales muy amplios y poco profundos, que da a los estratos aspecto lenticular.

A techo de la unidad a veces aparece un tramo de cuarcitas beiges o blancas, en bancos decimétricos, tal como sucede en el borde occidental y meridional de los domos del Mataloso y del Opejón.

La potencia varía desde 100 m. a más de 200 m.

La edad de la mayor parte de la unidad es Arenigiense, en base al hallazgo de numerosas pistas (*Cruziana foldfussi*, *Roualtia* sp.,

Rhusophycus sp.) y la parte más alta podría ya ser Llanvirniense Inferior, en base a los datos de la unidad suprayacente.

1.2.4. Pizarras. Pizarras de Calymene Inferiores. Llanvirniense-Llandeiloense (14, 16, 17)

Son equivalentes a la unidad litoestratigráfica, que TAMAIN (1972) definió como «Esquistos de Río».

Constituye una monótona sucesión de pizarras arcillosas de color gris oscuro en fractura fresca, que se vuelven verdosas o parduzcas por alteración. Están afectadas por una esquistosidad incipiente, que les da aspecto astillos, abundan los niveles fosilíferos y los nódulos centimétricos de formas elipsoidales y tubulares.

A veces se observan intercalados en la serie bancos de areniscas o areniscas cuarcíticas, generalmente, de menos de 0,5 m. de potencia. A techo pasa gradualmente a las Alternancias Inferiores por intercalación gradual de capas de areniscas entre las pizarras.

Son frecuentes, sobre todo en algunas zonas, intercalaciones de algunos metros de potencia y poca continuidad lateral de basaltos olivínicos con textura porfídica holocristalina, interpretables como «sills». Estas intercalaciones son más abundantes en la parte media y alta de la unidad y generalmente aumentan hacia el techo.

También aparecen las primeras manifestaciones efusivas del volcanismo básico. Son afloramientos de tobas de poca extensión que corresponden a cráteres de explosión. Las tobas tienen textura fragmentaria y están formadas por fragmentos milimétricos a centimétricos de lavas básicas muy alteradas y de pizarras en una matriz de sericita-carbonatos. En algunas muestras las tobas contienen restos fósiles no identificados y algunos granos detríticos de cuarzo y feldespatos.

La potencia total, difícil de determinar, debido a los recubrimientos y a los repliegues, debe tener un mínimo de 300 m.

La base de esta unidad fue datada al sur de Almadén por BOUYX y SAUPE (1966) y SAUPE (1971). Citan en las pizarras negras, a unos 20 m. por encima de la base, la presencia de Didymograptidos (*Didymograptus munchisoni*, *D. bifidus*, *D. nanus*) que indican una edad Llanvirniense.

En la Hoja de Siruela (GARCIA SANSEGUNDO et al., in litt.), el hallazgo de *D. munchisoni* y del braquiópodo *Hesperorthis* sp., indican Llanvirniense superior. Aunque en áreas próximas se ha reconocido el Llanvirniense inferior (GUTIERREZ, J. C. comunicación personal; GARCIA SANSEGUNDO et al., in litt.), esto no invalida la posibilidad de que la parte superior de los «Estratos Pochico» sea ya Llanvirniense.

La misma edad se mantiene hasta cerca de la base de las «Alternancias inferiores» y el límite Llanvirniense-Llandeiloense se sitúa cerca de dicha base, ya que las últimas faunas encontradas en áreas próximas, cerca del techo, indican una edad Llandeiloense inferior (caracterizado por diversas especies del género *Heterorthina*).

1.2.5. Areniscas y pizarras. Alternancias inferiores. Llandeiloense (15)

Hacia la parte alta de la unidad anterior se van intercalando entre pizarras, delgados lechos de areniscas que aumentan gradualmente en potencia y número hacia arriba, dando lugar a las «Alternancias inferiores».

Están constituidas por areniscas beige y verdosas, unas veces micáceas y otras cuarcíticas, que generalmente aparecen en bancos decimétricos a centimétricos, de carácter tableado, y pizarras verdosas que por alteración pasan a pardas o rojizas.

En conjunto, se las puede considerar como una megasecuencia negativa, en la que aparecen a techo bancos de areniscas cuarcíticas de hasta 0,5 m.

Al igual que en la unidad anterior, son muy frecuentes, sobre todo en algunas zonas, los «sills» de materiales volcánicos o subvolcánicos básicos (basaltos olivínicos y/o diabasas. Aparecen perfectamente concordantes con la estratificación, estando además afectados por pliegues y fallas de la primera fase hercínica.

La potencia media es del orden de 150 m.

Debido a que no se han encontrado faunas, su edad se ha determinado con respecto a las faunas de las pizarras infra y suprayacentes como Llandeiloense inferior.

1.2.6. Pizarras. Pizarras de Calymene superiores. Llandeiloense (17, 18)

Son equivalentes a los «esquistos Botella», definidos por TAMAIN (1972) en Sierra Morena oriental.

Están constituidas por pizarras arcillosas de color oscuro, en fractura fresca y verdoso por alteración, semejantes en todo a las Pizarras de Calymene inferiores. Al igual que éstas, contienen nódulos arenosos elipsoidales de algunos centímetros, niveles con fauna abundante que forman auténticas lumaquelas y, a veces, intercalaciones decimétricas de areniscas.

Al igual que en los dos tramos anteriores son muy frecuentes los lentejones y «sills» de rocas volcánicas y subvolcánicas de composición basáltica, con espesores variables (decimétricos a métricos) y poca continuidad lateral.

La potencia es del orden de los 30-50 m.

La edad, probablemente, todavía es Llandeiloense inferior para la base; unos metros por encima aparecen ya faunas que indican el Llandeiloense medio-superior (GARCIA SANSEGUNDO et al., in litt.).

1.2.7. Alternancia de cuarcitas, areniscas y pizarras. Alternancia de canteras. Llandeiloense (19, 20)

Constituye una alternancia de cuarcitas, areniscas y pizarras.

Forma una megasecuencia de carácter negativo que se inicia a techo

de las pizarras de Calymene superiores por intercalación gradual de areniscas micáceas de color beige. Las areniscas son de color gris rojizo, con abundantes óxidos de Fe. Aparecen en bancos decimétricos, formados por capas de 2-5 cm., en los que se observan a veces estratificaciones cruzadas y «ripples» en el techo. Las cuarcitas son blancas o rojizas y aparecen en bancos de hasta 1 m. de potencia.

En la base predominan las pizarras y hacia arriba, gradualmente, se intercalan areniscas, cada vez más frecuentes, que se vuelven cuarcíticas hacia el techo. Al mismo tiempo disminuyen las intercalaciones pizarrosas, y los bancos arenosos y cuarcíticos se hacen más potentes hasta formar un espeso paquete de areniscas cuarcíticas y cuarcitas, la cuarcita de Canteras (ALMELA et al., 1962).

En algunos puntos son frecuentes las intercalaciones de rocas ígneas en forma de «sills» con espesores variables y poca continuidad lateral.

Al sur de la mina «El Entredicho» se intercala dentro de esta unidad un lentejón de rocas volcánicas formado por lavas de composición basáltica y por tobas volcánicas. Las tobas están compuestas de una matriz muy alterada que engloba clastos de rocas volcánicas de composición basáltica, pizarras negras micáceas y areniscas. En conjunto constituye un episodio volcánico explosivo.

La potencia de este tramo oscila entre 250 y 300 m., en el sinclinal de Almadén, y entre 150 y 250 m. en el sinclinal de Guadalmez. La única referencia sobre el hallazgo de fósiles en esta unidad es de LAURET (1974), que señala la existencia de fauna de edad Llandeiloense en la base. Dada la escasez de restos fósiles se ha considerado una edad Llandeiloense para toda la unidad.

1.2.8. Cuarcitas y areniscas. Cuarcitas de canteras. Llandeiloense. Caradociense (21)

Fue definida por ALMELA et al. (1962) y constituye el techo de la megasecuencia negativa representada por la unidad infrayacente. Se ha cartografiado separadamente siempre que forma un crestón perfectamente diferenciable.

En la mayor parte de la Hoja en donde la cuarcita de Canteras tiene un desarrollo normal, está formada por cuarcitas de color blanco o beige, claro, de grano medio y de carácter tableado, que aparecen en bancos de hasta 2-3 m., a veces con estratificación cruzada. Generalmente esta unidad está formada por dos tramos cuarcíticos potentes separados por un paquete de areniscas cuarcíticas en bancos más delgados.

La esquina SW de la Hoja, al W de Alamillo, perteneciente al sinclinal de Guadalmez, presenta algunas diferencias en cuanto al desarrollo de esta unidad con respecto al sinclinal de Almadén. En esta zona la «Alternancia de Canteras» es idéntica en cuanto a litologías y estructuras sedimentarias a la del sinclinal de Almadén, pero en muchas ocasiones no llega a desarrollarse el crestón cuarcítico que forma el techo de

la secuencia en la mayor parte de la Hoja. Cuando aparece lo hace de forma discontinua, desapareciendo lateralmente con rapidez.

En esta zona se han cartografiado conjuntamente la «Alternancia de Canteras» y la cuarcita de Canteras.

La potencia total de este tramo cuando aparece totalmente desarrollado es de unos 40 m., pudiendo llegar a los 70 m. Generalmente, está formado por dos paquetes de 10-15 m. de cuarcitas, separados por 10-20 m. de areniscas cuarcíticas.

Debido a la falta de criterios paleontológicos la edad de esta unidad ha sido muy discutida. Unos autores colocan el límite Llandeiloense-Caradociense en la base de las cuarcitas (ALMELA et al., 1962), mientras que otros lo colocan al techo de la secuencia completa, ya que consideran que representa el final de una megasecuencia, que se inicia en las pizarras de Calymene superiores.

En vista de la falta de criterios definitivos se le asigna una edad Llandeiloense-Caradociense sin precisar.

1.2.9. Alternancia de areniscas y pizarras. Alternancias zarza. Caradociense (25)

En algunos puntos de la hoja, justamente a techo de la Cuarcita de Canteras, se ha podido diferenciar una serie formada por areniscas tableadas ferruginosas, de color beige, en bancos de algunos centímetros de espesor. A veces presentan laminación ondulada y «ripples» sobre la superficie de los estratos. Constituye el nivel más alto de una formación detrítica grosera que agrupa la «Alternancia de Canteras», la Cuarcita de Canteras y la «Alternancia Zarza».

La potencia máxima es del orden de los 100 m.

Se la atribuye una edad Caradociense en base, únicamente, a su posición estratigráfica, al hallarse bastante por encima de niveles de edad claramente Llandeiloense superior y por debajo de faunas de edad Caradociense Superior.

1.2.10. Pizarras. Pizarra de Canteras. Caradociense (26)

Esta unidad fue establecida por TAMAIN (1972) en Sierra Morena oriental en la localidad de El Centenillo. Son equivalentes a los Esquistos con *Orthis*, de RICHTER (1967) y a las Arcillas Intermedias, de SAUPE (1973).

Afloran de forma discontinua por encima de las Alternancias Zarza, debido al recubrimiento. Están formadas por pizarras micáceas y algo arcillosas, de tonos grises más o menos oscuros y verdosos muy oscuros y aspecto astilloso causados por una esquistosidad incipiente. A veces aparecen intercalaciones arenosas de poco espesor (algunos centímetros) en la parte media. Son areniscas de color beige, a veces ferrugi-

nosas. La aparición de nuevas capas de areniscas hacia el techo marca el comienzo de las Alternancias Superiores.

La potencia de este tramo varía en el sinclinal de Almadén entre 100 y 150 m.

La edad se ha fijado, al igual que en el caso anterior, en base a su posición estratigráfica como Caradociense, ya que no se ha encontrado fauna.

1.2.11. Alternancia de cuarcitas, areniscas y pizarras. Alternancias Superiores. Caradociense (24)

A techo de las Pizarras de Canteras se van intercalando gradualmente delgadas capas de areniscas que aumentan en número y espesor a medida que se sube en la serie hasta formar bancos de más de 50 cm. de carácter lenticular, con delgadas intercalaciones pizarrosas entre ellos. Los bancos arenosos adquieren además hacia arriba carácter cuarcítico.

Esta secuencia negativa se puede repetir dos o tres veces a lo largo de la unidad y todo este conjunto fue denominado por SAUPE (1973) Alternancias Superiores. Es equivalente a los Bancos mixtos descritos por TAMAIN (1972) en Sierra Morena oriental.

En la esquina SW de la Hoja, perteneciente al sinclinal de Guadalmez, se ha cartografiado esta unidad junto con la anterior debido, principalmente, a problemas de afloramiento. En esta zona las Alternancias Superiores son mucho menos cuarcíticas y las capas tienen espesores mucho menores que en el sinclinal de Almadén; están formadas por una alternancia de limolitas, areniscas y arenicas cuarcíticas en bancos centimétricos que no resltan nada en el terreno.

En el resto de la Hoja, las areniscas son de color gris o beige oscuro, micáceas, de grano medio y están bien cementadas, sobre todo en los bancos de techo de las secuencias. A veces se observa estratificación cruzada. En la base las arenicas micáceas aparecen en delgados bancos que presentan «ripples» y bioturbación y en donde se ha localizado fauna. Las pizarras son micáceas, de color verdoso oscuro o negro.

A techo de las Alternancias Superiores aparece un importante nivel fosilífero formado por areniscas limonitizadas de color pardo que, en ocasiones, son auténticas lumaquelas. Se trata de un nivel muy constante en toda la zona, aunque presenta algunas variaciones de carácter local. En la esquina SW de la Hoja se ha localizado este nivel a techo de unas areniscas beiges y verdosas, es de poco espesor, no se ha encontrado fauna y, a veces, forma una costra ferruginosa.

Dentro del sinclinal de Almadén, hacia el S, por encima del horizonte fosilífero aparecen aún nuevos bancos de areniscas que marcan el techo de la unidad. Hacia el N, en cambio, el horizonte fosilífero puede llegar a tener 20 m. y se sitúa a techo de areniscas cuarcíticas. Está formado de pizarras y areniscas dolomíticas muy fosilíferas en bancos centimétricos y con frecuencia aparecen bolos de dolomía arenosa de hasta 1 m. de

diámetro, grises en fractura fresca y pardos por alteración. En algunas localidades aparecen niveles de roca volcánicas y/o subvolcánicas básicas intercaladas y concordantes con la estratificación.

La potencia es del orden de 200-250 m. en el sinclinal de Almadén, reduciéndose a 150-175 m. en el sinclinal de Guadalmaz (en este caso, para las Alternancias Superiores, más las pizarras de Canteras).

Cerca de la base se localizó una fauna compuesta de *Eremotrema biconvexum*, *Cripholitus grenieri*, *Dalmanella testudinaria* y *Onnia superba* de edad Caradociense. A techo, en el nivel descrito más arriba, se han reconocido: *Orthis elegantula*, *Dalmanella boudleiphensis*, *Fenestella* sp., *Tentaculites* sp., *Synocladia* sp., *Conularia* cf. *consobrina*. Estos datos, unidos a las determinaciones de TAMAIN (1972), LAURET (1974), HAMMAN (1976), GARCIA SANSEGUNDO et al. (in lit.), permiten confirmar una edad Caradociense para toda la unidad.

1.2.12. Calizas y/o dolomías. Caliza urbana. Asghilliense (27)

Fue definida por TAMAIN (1972). Forma un nivel de carácter discontinuo justo a techo de las Alternancias Superiores. Son calizas y dolomías en capaz de carácter lenticular, su color es gris en fractura fresca y pardo por alteración.

Suele presentar diseminaciones de galena y blenda sin interés económico y es frecuente que los afloramientos desaparezcan al haberse extraído la caliza con objeto de obtener cal. Pese a todo ello constituye un excelente nivel guía, tanto por su litología como por ser muy fosilífera.

En algunos puntos, en lugar del horizonte calcáreo, aflora una roca silíceo, constituida por un agregado de cuarzo de grano fino que sustituye a la roca primitiva. En otros afloramientos se observaron pintas de cinabrio en las zonas más recrystalizadas, preferentemente cuando la recrystalización deja espacios intercrystalinos entre cuarzos idiomorfos.

La potencia varía entre 0 y un máximo de 8-10 m.

Las dataciones más precisas para este nivel son las que se han hecho con conodontos (LAURET, 1974; FUGANTI y SERPAGLI, 1968; GARCIA SANSEGUNDO et al., in lit.) y mediante el hallazgo de *Heliocrinites* cf. *rouvillei*, por TAMAIN (1972) y dan una edad Asghilliense Inferior. También aparecen frecuentemente restos de trilobites (*Trinucleus goldfussi*), braquiópodos (*Orthis elegantula*), briozoos, etc. El límite Caradociense/Asghilliense se situaría justo en la base del nivel calcáreo, por encima del nivel arenoso limolítico de las Alternancias Superiores.

1.2.13. Pizarras. Pizarras de Muro. Asghilliense-Llandoveryense (28)

Así las denominó SAUPE (1971) por encontrarse inmediatamente por debajo de la Cuarcita de Criadero. Son equivalentes los Esquistos de Chavera, de TAMAIN (1972).

Aparecen a techo del horizonte carbonatado cuando existe y si no directamente sobre las Alternancias Superiores. Son pizarras arcillosas de color negro en fractura fresca y pardo oscuro o violáceo por alteración. Presentan una disyunción laminar muy fina cuando están afectadas por la esquistosidad.

Intercaladas entre las pizarras pueden aparecer capas centimétricas de areniscas verde-grisáceas, muy micáceas. También aparecen pseudonódulos de algunos decímetros de diámetro que proceden de estructuras de carga de formas elipsoidales.

Es frecuente también la presencia de «sills» basálticos de 0,5-1 m. de potencia intercalados entre las pizarras. Son de color gris azulado, a veces con cristales de pirita y glándulas de calcita y presentan poca continuidad lateral.

La potencia oscila entre 100 y 150 m.

En cuanto a la edad, TAMAIN (1972) y HAMMAN (1976) las incluyen en el Asghillense por su posición estratigráfica. Sin embargo, HAFEN-RICHTER (1980) encontró faunas de acritarcos pertenecientes al Llandoveryense, por lo que el límite Ordovícico-Silúrico se situará dentro de esta unidad.

1.3. SILURICO

Empieza dentro de las Pizarras de Muro, a continuación está representado por una barra de cuarcita de gran continuidad lateral, y sigue con una alternancia de pizarras, areniscas y cuarcitas; todo ello con numerosos niveles de rocas volcánicas y piroclásticas intercaladas. En la parte alta de esta sucesión volcano-sedimentaria ya está representado el Devónico.

1.3.1. Cuarcitas y areniscas. Cuarcita de Criadero. Llandoveryense (29, 30)

A techo de las Pizarras de Muro aparece un nivel de cuarcitas con una gran continuidad lateral, que fue denominado Cuarcita de Criadero, por ALMELA, et al. (1962). Son equivalentes a las Cuarcitas Superiores descritas por TAMAIN (1972) en Sierra Morena Oriental. Cuando se ve el tránsito entre ambas unidades, se observa que es neto, sin que existan las secuencias negativas comunes en el Ordovícico y en el resto del Silúrico.

En todo el Sinclinal de Almadén, en general, se compone de dos paquetes de areniscas y areniscas cuarcíticas de grano medio y bien cementadas, separados por un nivel de areniscas y pizarras.

Las cuarcitas inferiores son de colores claros, blancos o beige. Se presentan en bancos gruesos, masivos con estratificación paralela o cruzada a gran escala. Las estructuras sedimentarias son bastante escasas.

El tramo intermedio empieza con unos metros de pizarras micáceas, que marcan el comienzo de una megasecuencia «thickening upward». Por encima parecen areniscas pardo-amarillentas, con numerosas estructuras sedimentarias de carga y pizarras; tanto unas como otras aparecen en bancos centimétricos de decimétricos.

Las cuarcitas superiores constituyen el techo de la megasecuencia, que se inició en el tramo anterior. La constituyen cuarcitas de colores oscuros, a menudo negras, en bancos decimétricos a menudo con «ripple marks» sobre la superficie de los estratos. Por encima hay cuarcitas de colores claros en canales decimétricos con estratificación cruzada muy tendida. A veces se observan cristales de pirla limonizados y clastos de algunos centímetros de material volcánico.

Es frecuente la presencia de «sills» de composición basáltica interestratificados en la cuarcita, así como de tobas y brechas volcánicas. En algunos puntos (El Entredicho, Almadenejos) existen «sills» formados por cantos centimétricos de rocas peridotíticas intensamente carbonatadas, cementados por una «pasta» de clorita-silice-carbonatos, procedentes de la alteración de basaltos.

En otros (La Panera, El Entredicho) las tobas y brechas sustituyen a las cuarcitas, indicando la existencia de un antiguo foco volcánico explosivo.

Generalmente, cuando aparecen rocas volcánicas en relación con la Cuarcita de Criadero se observa en ésta una disminución en su espesor, pudiendo llegar a desaparecer.

A diferencia de lo que sucede en el sinclinal de Almadén, en la esquina SW de la Hoja, perteneciente al sinclinal de Guadalmez, la Cuarcita de Criadero tiene un desarrollo litológico mucho más uniforme y carece totalmente de material volcánico. En esta zona aparecen pizarras arenosas y limolitas micáceas en capas delgadas y discontinuas, intercaladas en algunos tramos, areniscas micáceas beige en capas centimétricas y areniscas cuarcíticas y cuarcitas de colores claros en bancos centimétricos a decimétricos. En todos estos materiales son muy frecuentes las estructuras sedimentarias: «ripple marks», laminaciones cruzadas, en trenes superpuestos de «ripple marks»; a veces se observa estratificación lenticular con acuñamientos laterales de las capas y estratificaciones cruzadas a media y gran escala. También son muy frecuentes los niveles de cantos blancos, de los que se conservan los moldes de hasta varios centímetros de diámetro.

Todos los materiales descritos para la esquina del sinclinal de Guadalmez aparecen ordenados en secuencias negativas, que se repiten dos o tres veces. Estas secuencias estratocrecientes y granocrecientes empiezan con alternancias de limolitas y pizarras y areniscas, las areniscas hacia el techo se hacen cuarcíticas y aumentan de potencia, desapareciendo las pizarras y a techo aparecen barras de cuarcitas y areniscas cuarcíticas de colores claros en bancos decimétricos, a veces con morfología de barras.

La potencia de esta unidad en el sinclinal de Almadén es muy variable, oscilando entre 6 y 60 m.; la disminución de espesor puede deberse

a cambios laterales de facies y/o a su reemplazamiento por materiales volcánicos. En general, el espesor disminuye hacia el N, casi siempre por desaparición del banco inferior de cuarcitas, e incluso, de parte del tramo intermedio. Debido a la ausencia de fósiles se ha venido considerando para unos como Ordovicio terminal y para otros como la base del Silúrico. La presencia de Graptolites en la base de las pizarras suprayacentes podría indicar que corresponde a la base del Silúrico (Llandoveryense Inferior).

1.3.2. Pizarras grafitosas con graptolites, pizarras y areniscas con intercalaciones de basaltos y tobas volcánicas básicas.
Alternancias volcano-sedimentarias. Llandoveryense-Gediniense
(31, 32, 33)

Están formadas por una espesa sucesión de pizarras, areniscas, cuarcitas, lavas basálticas y tobas y brechas volcánicas básicas. Existen numerosos cambios laterales de facies, por lo que en unas zonas predominan los materiales sedimentarios, mientras que en otras lo hacen los volcánicos.

Justo a techo de la Cuarcita de Criadero aparece un nivel de pizarras negras ampelíticas, que se vuelven blanquecinas por alteración, y que contienen una abundante fauna de Graptólites. Estas pizarras han dado en la mina de Almadén y en otras zonas faunas del Llandoveryense Medio-Superior - Taranon (Zonas 19-22 de Elles y Wood).

Por encima, en otros niveles de pizarras grafitosas, con Graptólites intercaladas en la serie se han encontrado faunas del Taranon, Wenlock y Ludlow, perteneciendo la más joven a la zona 33, de Elles y Wood.

Además de estos niveles de pizarras grafitosas aparecen areniscas, pizarras y cuarcitas, formando alternancias que constituyen megasecuencias «thickening upward».

Las areniscas son micáceas, de color gris oscuro, a veces negro. Aparecen en bancos de centimétricos a 0,5 m., con «ripples» en la superficie y, a veces, bioturbadas. También se han encontrado en ellas delgados niveles de pirita masiva.

Las pizarras son micáceas, de color gris en fractura fresca y pardo-violáceo por alteración y están afectadas por una esquistosidad poco penetrativa.

Las cuarcitas y areniscas cuarcíticas son micáceas, de color blanco o gris, y aparecen en bancos decimétricos, a veces con estratificación cruzada. Los tramos cuarcíticos aparecen a veces a techo de las secuencias granocrecientes, formando niveles más o menos potentes, generalmente con muy poca extensión lateral y carácter lentejonar. A uno de estos niveles corresponde lo que se ha denominado por algunos autores «Cuarcita de Las Cuevas». En realidad debe de corresponder a más de un nivel, debido a la existencia de más de una secuencia granocreciente, cada una de las cuales podría culminar con una cuarcita.

Las megasecuencias granocrecientes que constituyen la alternancia

empiezan con delgadas capas de areniscas intercaladas entre pizarras. Hacia arriba las areniscas aumentan en número y potencia hasta que aparecen bancos de areniscas cuarcíticas en capas decimétricas. Estos bancos lateralmente pueden pasar a lentejones de cuarcitas, a veces de gran extensión lateral.

Los materiales volcánicos y subvolcánicos son muy frecuentes a lo largo de toda la serie, dentro del sinclinal de Almadén, en cambio, en el sinclinal de Guadalmaz están representados en un número muy escaso de afloramiento.

Están constituidos, fundamentalmente por basaltos y, localmente, por tobas.

Los basaltos son de textura porfídica, de colores verde oscuro-azulado, y, frecuentemente, están muy alterados. Aparecen en niveles de 1-2 m. de potencia, intercalados en los materiales sedimentarios, o bien en paquetes masivos, de varias decenas de metros de espesor, con textura diabásica. Con frecuencia se observa que los paquetes masivos pasan lateralmente a niveles métricos, alternando con materiales sedimentarios exclusivamente.

No se han encontrado criterios que permitan afirmar que los niveles de basalto sean de carácter efusivo y como se ha observado en algunos puntos que cortan a los materiales sedimentarios se les ha considerado como «sills», que aumentan en potencia y número en las proximidades de las chimeneas volcánicas. Los niveles basálticos aparecen fundamentalmente en la mitad inferior de la unidad volcano-sedimentaria.

Las tobas volcánicas están formadas por una matriz de aspecto arcilloso, generalmente silicificada o carbonatada, que engloba clastos de materiales volcánicos y sedimentarios, de tamaños desde milimétricos hasta algunos centímetros. Estas tobas líticas constituyen la roca Fraileasca de la mina de Almadén.

Las tobas aparecen en afloramientos de dimensiones inferiores a 1 km², que corresponden a cráteres de explosión. La existencia de estratificación en las rocas piroclásticas, de intercalaciones de material detrítico y de fósiles marinos en algunas muestras de roca Fraileasca permite afirmar que se trata de un vulcanismo explosivo de carácter submarino.

A lo largo de toda la serie se localizan dos episodios volcánicos principales de tipo explosivo. Uno inmediatamente después de la sedimentación de la Cuarcita de Criadero (al que corresponden los cráteres de Almadén, El Entredicho, La Panera y Los Toriles) y otro en la mitad superior (afloramiento de tobas de la zona de Gargantiel y también, posiblemente, la mineralización de Las Cuevas).

La potencia total es muy difícil de saber con exactitud debido a los numerosos cambios laterales, pero debe oscilar entre 750 y 1.100 m.

En cuanto a la edad, la mayor parte pertenece al Silúrico, tal como indican los hallazgos de Graptolites a diferentes alturas de la serie. Por otro lado, la parte más alta ya pertenece al Devónico como demuestra el hallazgo de *Scyphocrinus* sp., en el Valle del río Gargantiel y de *Camaro-toechia* sp. en la vecina Hoja de Valdemanco (MOLINA y FERNANDEZ CARRASCO, in lit). El límite Silúrico-Devónico estaría situado en un

punto indeterminado de la parte alta de la serie vulcano-sedimentaria, con lo que se confirma la opinión expresada en el mismo sentido por ALMELA *et al.* (1962) y por SAUPE (1973).

1.4. DEVONICO

Comprende parte de la sucesión vulcano-sedimentaria situada por debajo de la Cuarcita de Base, la misma Cuarcita de Base y un espeso paquete de areniscas, pizarras y cuarcitas con algunos lentejones de caliza y con numerosas intercalaciones de rocas volcánicas, tanto concordantes como atravesando los demás materiales. Se observa de la base al techo un aumento en la proporción de materiales volcánicos sobre los detríticos. Existe, además, una laguna estratigráfica que comprende parte del Emsiense, el Eifeliense y el Givetiense (PUSCHMANN H., 1967).

1.4.1. Cuarcitas y areniscas. Cuarcita de base. Siegeniense (34)

Está constituida esta unidad por cuarcitas de colores claros a veces pardas o beige y de grano grueso, a veces microconglomerático, que les da un aspecto granuloso.

La Cuarcita de Base tiene carácter progradante y está compuesta de una serie de ciclos negativos. En sí misma constituye el techo de una gran secuencia regresiva que comenzó por encima de la Cuarcita de Criadero. Estos ciclos empiezan por alternancias de pizarras y areniscas, éstas se van haciendo más cuarcíticas y aumentan de espesor hacia el techo hasta aparecer capas de 1-2 m. de potencia. Presentan estratificación cruzada planar de bajo ángulo en varias direcciones, con un aumento hacia el techo del tamaño de grano.

En ocasiones presentan concentraciones locales de hierro (especialmente cerca de la base) y niveles bioturbados con delgadas costras ferruginosas a techos de los cuales hay nivelillos de limolitas gris-azuladas que contienen muy poca fauna.

La Cuarcita de Base se ha interpretado como una barra litoral de gran extensión lateral, progradante hacia el W y con direcciones de corriente W-NW y en sentido contrario, debido a las mareas. Las direcciones ortogonales a las anteriores que también se han observado pueden deberse a corrientes paralelas a las crestas de las barras producidas al descender el nivel del agua. Por el contrario, los delgados niveles limolíticos y bioturbados pueden corresponder a transgresiones con acumulación de material fino residual (VERGES, 1984).

Estos últimos materiales también han sido interpretados como sedimentos de ambientes palustres (N. POPE, *com per.*). El espesor a lo largo de toda la Hoja es bastante constante: de 50-60 m.

En cuanto a la edad, las primeras faunas de la Cuarcita de Base fueron citadas por CASIANO DE PRADO (1855).

Otros autores (PARDO y GARCIA-ALCALDE, 1984 b) identificaron *Micropora* sp. en la base de la unidad en el sinclinal de Guadalmaz, situado en la Hoja continua (807, Chillón). Correspondería posiblemente a una edad Gediense.

En cuanto al techo de la unidad, VERGES (1984) cita la presencia de *Brachyspirifer* gr. *crassicosta*, *Meganteris* sp. y *Mutationella* sp., correspondientes a una edad Siegeniense Superior-Emsiense Inferior. PARDO y GARCIA-ALCALDE (1984 b) citan además *Brachyspirifer* gr. *crassicosta*, *B. cf. carinatus* y *Leptostrophiella explanata*, del Emsiense Inferior.

1.4.2. Pizarras, areniscas, cuarcitas, calizas, tobas y lavas. Ensiense-Frasniense (25, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43)

Dentro del conjunto de materiales asignados a esta edad y que forman una espesa sucesión de aproximadamente 1.600 m. se diferencian tres tipos principales (VERGES, 1984):

- Sedimentos mayoritariamente detríticos.
- Materiales volcánicos retrabajados con facies iguales a las del primer grupo.
- Materiales mayoritariamente volcánicos que incluyen lavas y piroclastos.

El primer grupo está constituido por sedimentos detríticos, pizarras, areniscas y cuarcitas, formando pequeños ciclos «thickening and coarsening». Estos ciclos presentan pizarras en la base con delgadas intercalaciones arenosas formando estratificación «lenser», que pasan a lentejones continuos, a estratificación «flaser» y, finalmente, a una o varias capas de cuarcitas de 10-15 cm. de espesor con laminación planar de bajo ángulo y morfología de barra, a veces con fauna. Intercalados en la serie aparecen pequeños canales de 5-20 cm. de espesor así como niveles calcáreos, cuya posición dentro de los ciclos no está muy clara. Estas calizas constituyen lentejones y delgados niveles, de centimétricos a decimétricos, de poca continuidad lateral y aparecen, generalmente, intercalados entre pizarras. Son de color gris, están muy recristalizadas y son muy fosilíferas (crinoideos, braquiópodos, lamelibranquios, briozoos y ostrácodos).

Las areniscas aparecen en bancos de centimétricos hasta de 2 m. de color beige a verdoso, con contactos netos y, a veces, con laminación cruzada.

Las pizarras son arcillosas, de color gris, que cambia a rojizo y violáceo por alteración.

Las alternancias descritas corresponden a ambientes de más profundidad que la Cuarcita de Base, con pizarras de «offshore» y pequeñas barras submareales. El aumento de profundidad coincide con la reanudación de la actividad volcánica. Las paleocorrientes sufren poca variación durante todo el Devónico con respecto a los datos deducidos de la Cuarcita de Base.

Toda esta serie descrita ocupa principalmente la parte inferior del conjunto, disminuyendo progresivamente su potencia hacia el W, al ir engrosando a la par los materiales volcánicos.

Su espesor varía de 450-500 m. al W a 650-700 m. al E.

El segundo grupo de materiales está constituido por tobas más o menos retrabajadas que, al igual que los sedimentos anteriores se presentan formando pequeños ciclos «thickening and coarsening», con canales en la parte alta. El afloramiento más espeso cartografiado está en el flanco S del sinclinal de Almadén, a techo de los sedimentos detríticos, y sus materiales seguramente proceden del desmantelamiento de algún cono volcánico por la acción de olas y/o corrientes.

Los materiales volcánicos que aparecen en el Devónico del sinclinal de Almadén comprenden lavas básicas y ácidas y tobas y brechas sin señales evidentes de retrabajamiento sedimentario, predominando el segundo grupo de materiales.

Estos materiales volcánicos se presentan bajo tres formas distintas. «Sills», como volcánicos y chimeneas volcánicas. La petrografía de estos materiales así como la descripción de los «sills» se abordará en el capítulo de petrología.

Los conos volcánicos están formados por capas de tobas y lavas que forman un ángulo de, aproximadamente, 20° con los sedimentos detríticos previos. Pasan lateralmente a sedimentos marinos de poca profundidad, e incluso pueden contener intercalaciones detríticas y fósiles. En los niveles superiores pueden contener intercalaciones de calizas arrecifales, concordantes con las tobas que se formaron en la pendiente del cono y quedaron enterradas por erupciones sucesivas. Todo ello demuestra el origen submarino del vulcanismo.

Las chimeneas volcánicas son mucho menos frecuentes, apareciendo dos: una ácida y otra básica, en las proximidades de Almadenejos. Ambas chimeneas cortan claramente el material encajante llegando a la Cuarcita de Base.

Todos estos materiales predominantemente volcánicos se sitúan a techo de las alternancias detríticas ya descritas y su espesor aumenta hacia el W.

En cuanto a la edad dentro de este conjunto relativamente homogéneo, aparecen por una parte, materiales del Devónico inferior con un espesor reducido (hasta 200 m.) y materiales del Devónico superior (Frasniense), con un espesor mucho mayor (aproximadamente, 1.400 m.), indicando un aumento de la subsidencia. Ambos conjuntos están separados por una laguna estratigráfica que comprende parte del Emsiense, el Eifeliense y el Givetiense. El límite entre ambos no coincide con ningún cambio apreciable en los materiales detríticos, pero debido a la proximidad de faunas de edades tan dispares debe haberse producido un cese en la sedimentación entre los dos conjuntos de materiales.

Las siguientes faunas aparecen a unos 70 m. del techo de la Cuarcita de Base. PARDO y GARCIA-ALCALDE (1984b), identificaron *Arduspirifer arduennensis* cf. *antecedens* y *Euryspirifer* gr. *pellicoi*, del Emsiense inferior.

Las faunas más altas citadas por dichos autores dentro del Devónico inferior, corresponden a niveles calizos situados en las proximidades del «Molino de la Dehesa» y al norte del kilómetro 4 de la carretera de Almadén a Sacaruela. La parte inferior de los niveles contienen *Uncinulus* cf. *frontecostatus*, *Eurypirifer* gr. *pellicoi*, *E.* aff. *paradoxus*, *Arduspirifer arduennensis* cf. *antecedens*, *A. arduenensis* cf. *latestriatus*, *Schizophoria vulvaria*, *Adradosia barroisi*, *Leptostrophiella explanata*, *Acrospirifer fallax* y el conodonto *Caudicriodus celtibericus*, entre otros, que en conjunto corresponderían al techo del Emsiense inferior. La parte más alta de las unidades calcáreas contienen, según los mismos autores, *Euryspirifer paradoxus*, *Uncinulus* gr. *suborbignyanus*, *Tyersella tregona*, y el conodonto *Spathognathodus steinhornensis steinhornensis* que deben corresponder a la base del Emsiense superior.

Los siguientes niveles fosilíferos contienen faunas del Frasnense, MULLER (1929), GARCIA-ALCALDE (en VERGES, 1984) y PARDO y GARCIA-ALCALDE (1984B).

Estas biozonas faunísticas son, de muro a techo:

— Cenozona de bivalvos.

Con especies como *Lyriopecten gilsoni*, *Cypricardella oblonga*, *Leptodesma almadenensis*, *Ctenodonta robustella* y otros, que indican una edad Frasnense inferior, posiblemente basal.

— Teilzona de *Cyphoterorhynchus*.

Con dos especies típicas, *Cyphoterorhynchus marianus* y *C. domenechas*.

— Acrozona de concurrencia de *Douvillinoidea* (?) *alvarezi* y *Eoschuchertella jordani*. Donde, además de las dos especies zonales, aparece *Eoschuchertella cf. devonica*.

— Teilzona de *Apousiella almadenensis*. Con *Productella subaculeata*, *Douvillina delta*, *D. radiata*, *Tentaculites* aff., *zemmourensis* y *Dicricoconus* sp., además de la especie zonal.

— Teilzona de *Pradochonetes muelleri*. Con *Ripidiorhynchus* cf., *kotalensis*, *Apousiella bouchardi*, *Cyrtospirifer* cf. *schelonicus* y la especie zonal.

Las cuatro últimas biozonas corresponden a una edad Frasnense inferior, posiblemente dentro de la Cronozona de conodontos-*asymmetricus*.

Los niveles faunísticos devónicos más jóvenes datados en el ámbito de la Hoja, corresponden a niveles calizos englobados en las tobas volcánicas del núcleo del sinclinal de Almadén. Estos niveles contienen, entre otros, *Schizophonia* cf. *striatula*, *Apousiella bouchardi*, *Ancyrognathus asymmetricus* y *Bryanthodus* sp., que, según PARDO y GARCIA-ALCALDE (1964B) corresponden ya al Frasnense superior (cronozona de Conodontos-*gigas*).

No se han localizado niveles más jóvenes que el Frasnense en la Hoja. Sin embargo, en el vecino sinclinal de Guadalmez, GARCIA-ALCALDE et al. (1984) y PARDO y GARCIA-ALCALDE («984A, B») citan faunas del Frasnense terminal, del Famenense e incluso del Carbonífero (Turne-

siense Superior-Viseense Medio), en continuidad con estos niveles Frasnenses.

1.5. CARBONIFERO SUPERIOR

Se atribuyen a esta edad un conjunto de materiales que aparecen discordantes , sobre todo el Paleozoico ya descrito y que, a su vez, son anteriores al Plioceno. Sólo en uno de los afloramientos se ha encontrado flora que, aunque de forma imprecisa, ha permitido datarlo; el resto se atribuyen al Carbonífero superior con reservas.

1.5.1. Limolitas (47)

Al N del km. 7 de la carretera de Almadén a Saceruela afloran arcillas endurecidas de tonos amarillentos, que rompen en bolos de algunos centímetros de diámetro. En estos materiales, subhorizontales y discordantes sobre el Silúrico, se encontró una pínula de *Neuropteria* sp. (probablemente *Neuropteris ovata*) del Westfaliense-Estefaniense medio.

1.5.2. Depósito glaciares (44)

Por encima topográficamente de los materiales anteriores, subhorizontales y discordantes sobre el Silúrico y Devónico, aflora en la zona NW de la Hoja unos materiales compuestos de bloques subredondeados de cuarcita, muy heterométricos, englobados en un suelo reciente.

Los bloques de cuarcita son de color gris claro y su tamaño oscila entre algunos centímetros y más de 10 m. de diámetro. Presentan superficies pulidas y numerosas estrías de media luna. Por sus características podrían corresponder a sedimentos glaciares de tipo morrena.

En los afloramientos de «rañas» pliocenas de la esquina SE de la Hoja aparecen cantos decimétricos de estos materiales, re TRABAJADOS y cubiertos por una patina limonítica, pero conservando las estrías en media luna. Por tanto, el transporte y pulido debió ser posterior al Hercínico y anterior al Plioceno superior. Además, los bloques de grandes dimensiones están fracturados como posterioridad al pulido.

1.5.3. Tobas y cineritas ácidas (45)

Son tobas y cineritas de composición riolítica y traquítica que aparecen subhorizontales y discordantes sobre el Devónico y sobre el Llandeilense.

Las volcanitas situadas sobre el Devónico son rocas de colores claros formadas por fragmentos de rocas volcánicas muy carbonatadas y silicificadas, fragmentos de rocas riolíticas, pizarras y cuarcitas, en una pasta

vítrea, esferolítica y fluidal de composición riolítica. En un punto se observó un dique ácido de algunos centímetros de ancho cortando las todas ácidas. En otro punto se observaron cantos de cineritas riolíticas y traquíticas con pliegues fluidales, on texturas muy vítreas, en relación con bloques cuarcíticos pulidos. Se supone que representan el mismo nivel pero no se encontraron «in situ».

En el afloramiento que aparece sobre el Llandeloiense aparecen rocas volcánicas de tonos oscuros con texturas fragmentarias, a veces ignimbriticas. Aunque el aspecto es algo distinto, su composición es parecida a las anteriores: Feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa y opacos. Se aprecian microestratificaciones cruzadas, acumulación de óxidos de Fe en niveles y zonas vítreas. Las tobas contienen fragmentos de rocas muy silíceas, vítreas y/o fragmentos de rocas riolíticas y pizarras, englobado todo ello en una pasta vítrea, esferolítica y fluidal de composición riolítica.

1.5.4. Basaltos (46)

Aparecen en un pequeño afloramiento en el extremo NW de la Hoja en relación con «depósitos glaciares». Son basaltos con textura porfídica fluidal, holocristales o hipocristales, formados por plagioclasas, olivino (sepsentinizado), piroxenos rómbicos y opacos, con vidrio intertiscial. Salvo el olivino, los demás componentes no presentan alteración a diferencia de los basaltos que se intercalan dentro del Paleozoico.

Se atribuyen al Carbonífero Superior sin un criterio definido, ya que sólo se puede afirmar que son posthercínicos.

1.5.5. Conglomerados (48)

En el tercio SE de la Hoja, y muy próximo a un afloramiento de tobas y cineritas, aflora de forma reducida un conglomerado, subhorizontal y discordante sobre el Ordovícico. Está formado de cantos redondeados y cuarcitas, de tamaños centimétricos a decimétricos en una matriz de areniscas clorítico-ferruginosa, con circón y turmalina como accesorios. Por las características del afloramiento se atribuye al Carbonífero.

1.6. PLIOCENO SUPERIOR («RAÑAS») (49)

Las «rañas» ocupan una extensión relativamente reducida en la parte E de la Hoja, principalmente flanqueando los relieves cuarcíticos que forman el borde de los domos del Mataloso y del Opejón.

Las «rañas» son fanglomerados constituidos por gravas y cantos, muy heterométricos, de tamaño centimétrico a decimétrico, de cuarcitas. Todos estos materiales están muy redondeados, por lo general, tiene pátina roja o parda y matriz arcillosa-arenosa rojiza o marrón.

1.7. CUATERNARIO

1.7.1. **Pleistoceno. Glacis** (50)

Por debajo del nivel de las «rañas» pliocenas aparecen otros niveles de «glacis de erosión», que, en algunas ocasiones, pueden pasar a terrazas fluviales de poca entidad. Los depósitos a ellos asociados son cantos de cuarcita muy rodados, en una matriz arenosa o limosa rojiza.

La forma y potencia de estos depósitos es más irregular que la de las «rañas» pliocenas y, en su mayor parte, están formados por material procedente de la denudación de éstas.

Estos depósitos se distribuyen, como ya se dijo, de manera irregular y a diferentes cotas según las zonas. En la Rivera de Gargantiel, en la parte N de la Hoja, aparecen a una cota de 500 m. En la esquina SW de la Hoja, al W de Alamillo, se sitúan a una cota de 410-420 m., y ocupan una extensión relativamente grande, enlazando con los aluviales del arroyo del Saladillo. En esta última zona, en la base de estos depósitos aparece un nivel, no muy espeso, de brechas muy ferruginosas con cantos de pizarras y areniscas muy alteradas. Hacia arriba pasan a los depósitos típicos ya descritos al ir apareciendo de manera progresiva cantos cuarcíticos muy redondeados mezclados con las brechas.

1.7.2. **Holoceno**

1.7.2.1. *Depósitos aluviales* (54)

Están constituidos por bolos y gravas subredondeados y heterométricos de materiales cuarcíticos y volcánicos principalmente, englobados en una matriz arenosa-limosa. Su extensión y espesor es reducido y se han cartografiado los relacionados con los ríos Alcudia, Valdeazogues, Rivera de Gargantiel y Arroyo del Saladillo.

1.7.2.2. *Coluviones (derrubios de ladera)* (52)

Proceden de la erosión de los relieves cuarcíticos, son bastante frecuentes y, en ocasiones, potentes, dando canchales de laderas que descienden por soliflucción. Están formados de cantos heterométricos y angulosos de cuarcitas cuyo tamaño disminuye de arriba a abajo. Los más importantes son los correspondientes a la Cuarcita Armoricana, aunque también se han cartografiado algunos de los relacionados con la Cuarcita de Canteras y con la Cuarcita de Criadero.

1.7.2.3. *Derrubios de rañas y rañas semidesmanteladas* (53)

Pueden corresponder tanto a los derrubios de las «rañas» S. S. como a los de los depósitos equivalentes de glaciares de erosión posteriores. Tanto unos como otros están formados por los mismos materiales que las «rañas» y han sufrido un transporte mayor o menor, pero siempre muy pequeño. En general, los derrubios de «rañas» son coluviones procedentes de éstas y las «rañas» semidesmanteladas representan restos de rañas casi «in situ».

1.7.2.4. *Cuaternalio indeferenciado* (55)

Con esta denominación se hace referencia a rellenos de fondos de valle formados por limos y arenas con cantos cuarcíticos, que deben tener un origen mixto. Se han cartografiado sólo los que aparecen en la esquina NE de la Hoja, en el cúcleo del domo de Opejón.

1.7.2.5. *Depósitos antrópicos* (51)

Corresponden a las escombreras de la mina de Almadén y el Quinto del Hierro.

2. TECTONICA

Dentro de la Hoja se ha podido poner en evidencia la existencia de dos ciclos orogénicos. Por una parte se han encontrado estructuras que afectan exclusivamente a materiales preordovicianos y, por otra, estructuras de edad hercínica que deforman tanto los materiales preordovicianos como los paleozoicos. Respecto a las deformaciones hercínicas se pueden distinguir dos fases. La primera tiene una dirección aproximadamente E-W y es responsable de la única esquistosidad generalizada que existe en toda la región. La segunda está menos desarrollada, pero aun así da lugar a pliegues N-S que generan figuras de interferencia tipo 1 de RAMSAY (1967) a escala cartográfica.

2.1. DEFORMACIONES PREHERCINICAS

Existen numerosas referencias bibliográficas que apuntan a la existencia de una discordancia entre el Precámbrico y el Paleozoico. Entre las más destacables se pueden citar las de BOUYX (1970), ARBIN y TAMAIN (1973), SAUPE (1973) y MORENO (1977).

Por otra parte, evidencias de una deformación intraprecámbrica han sido puestas de manifiesto recientemente en zonas próximas (Domo de

Abenobar, Anticlinorio del Esteras), aunque ya habían sido postuladas por autores anteriores (BOUYX, 1970; TAMAIN, 1972, y SAUPE, 1973).

Como se ha mencionado en el capítulo de estratigrafía se han diferenciado en materiales precámbricos de áreas vecinas dos series separadas por una discordancia angular.

Evidencias de deformaciones de cierta importancia (pliegues, por ejemplo) previos a la deformación hercínica sólo se han encontrado en la serie inferior constituida por pizarras y grauwacas de probable edad rifeense.

La serie superior, probablemente Vendense (ORTEGA y SANCHEZ VIZCAINO, in litt.), aparece también discordante bajo un ordovícico transgresivo, aunque no se detectan las estructuras pre-hercínicas antes citadas. Este hecho implicaría un carácter evidentemente erosivo para la discordancia entre Ordovícico Inferior y Precámbrico, terminal denominada tradicionalmente como Sárdica.

Dentro de la Hoja de Almadén, la ausencia de materiales precámbricos, de la serie superior, pone en contacto directamente a los materiales del Ordovícico, con las pizarras y grauwacas del Rifeense, mediante una discordancia angular.

Como evidencias de esta discordancia y de la existencia de deformaciones prehercínicas puede citarse la existencia de pliegues cortados por la esquistosidad y de lineaciones de intersección, que se apartan sensiblemente de la posición del eje de los pliegues.

Estos hechos tienen lugar, exclusivamente, en los materiales precámbricos atribuidos al Rifeense, ya que en la serie paleozoica (y en posición de plano axial y las lineaciones (4) se disponen paralelamente al eje de los pliegues.

Estos fenómenos tienen una cierta extensión regional, y han podido ser comprobados en áreas próximas (ROIZ, 1979; AMOR y ORTEGA, in litt.; GARCIA SANSEGUNDO et al. (in litt.); ORTEGA y SANCHEZ VIZCAINO, in litt.

Por último, puede decirse también que esta discordancia se ha puesto claramente de manifiesto en las labores de minería subterránea, actualmente en realización en Navalmedio (Nuevo Arrayanes), situada en la Hoja de Valdemanco del Esteras, al Norte de la Hoja de Almadén.

Dentro de la Hoja las manifestaciones más claras de la deformación preordovícica se observan en el Valle de Alcudia, especialmente en sus extremos oriental y occidental, y, en menor medida, en el Domo del Mataloso se pone de manifiesto el carácter discordante del Ordovícico sobre el Precámbrico.

En el caso del Domo del Mataloso las evidencias no son tan claras como en el Valle de Alcudia, ya que al no haberse observado pliegues cortados por la esquistosidad de 1.ª fase hercínica (S_1), la confirmación de la existencia de la discordancia se basa en la comparación de las medidas de lineaciones de intersección (L_1) entre la estratificación (S_0) y S_1 en el Precámbrico, con medidas de ejes de pliegues de Fase 1 hercínica deducidos de materiales paleozoicos de esta zona (Figs. 1 y 2).

Los resultados obtenidos confirman la existencia de la mencionada

ZONA DEL MATALLOSO

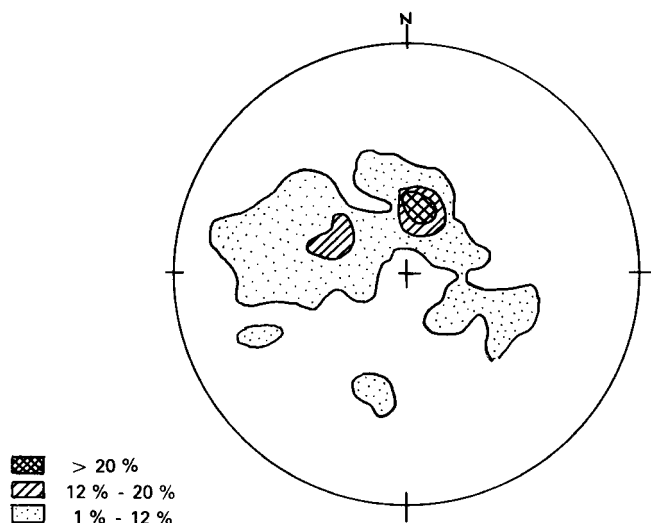


Fig. 1.—Curvas de densidad de L_1 obtenidas a partir de 33 medidas en el Precámbrico.

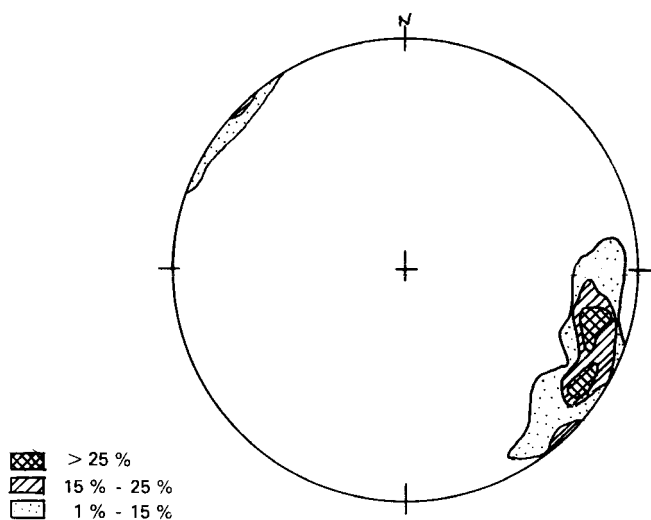


Fig. 2.—Curvas de densidad de ejes de pliegues de fase 1 Hercínica, obtenidos a partir de 18 medidas en el Paleozoico.

discordancia, ya que, mientras que los ejes de pliegues de fase 1 hercínica tienen una dirección NW-SE, aproximadamente, con buzamientos muy bajos (casi horizontales), las lineaciones (L_1) medidas en el Precámbrico tienen direcciones variables (generalmente N-S a NW-SE) y buzamientos altos, que, en general, oscilan entre 60° y 70° .

Otra observación que podría apoyar lo anterior es el hecho de que mientras que los materiales paleozoicos presentan buzamientos muy bajos, en los materiales precámbricos las capas tienen buzamientos próximos a la vertical y direcciones que varían de E-W a N-S, cortadas por una esquistosidad (S_1) de fase 1 hercínica, la cual es subvertical y siempre guarda la misma relación con respecto a S_0 . Esta siferencia de posición sugiere que los materiales precámbricos se encuentran discordantes bajo el Paleozoico, aunque hay que tener en cuenta la elevada tectonización que suele existir en el contacto entre ambos conjuntos de materiales, unido a las dificultades de observación directa del contacto debidas a los derrubios y coluviones.

En el Valle de Alcudia hay también evidencias de una deformación preordovícica, principalmente en sus extremos oriental y occidental, donde aparecen pliegues con la traza axial oblicua a la esquistosidad (S_1) y cortados por ésta.

Dichos pliegues, deducidos a partir de sus elementos estructurales medidos en el campo, aparecen de forma generalizada a lo largo del Precámbrico del Valle de Alcudia. Sin embargo, son mucho más evidentes en los extremos occidental y oriental, ya que en la parte central parece haber un mayor paralelismo entre las estructuras prehercínicas y las hercínicas.

El grado de oblicuidad de las estructuras preexistentes con respecto a los esfuerzos compresivos desarrollados durante la fase 1 hercínica determinaría la posición final de la estructura, y la morfología de los pliegues resultantes.

Así se han deducido pliegues a partir de los datos de campo, en lo que se observa que su traza axial aparece doblada, de forma que en algunos tramos la esquistosidad da la impresión de que es de plano axial, mientras que en otros corta claramente los dos flancos de pliegues. Siguiendo la estructura de E a W se observa que las relaciones entre la esquistosidad y la traza axial de los pliegues varían progresivamente. En la zona oriental ambas son claramente oblicuas, con diferencias de unos 10° , según avanzamos hacia el W se acentúa el paralelismo entre ambas estructuras, no pudiendo llegarse a saber hasta qué punto los pliegues observados son prehercínicos o debidos a la fase 1 hercínica. Al aproximarnos al extremo occidental de la Hoja vuelven a repetirse las condiciones similares a las de la parte oriental, aunque las evidencias no son tan claras.

2.2. DEFORMACIONES HERCINICAS

2.2.1. Estructuras de fase 1

Son las más desarrolladas y las responsables de las principales estructuras cartográficas, presentando la única esquistosidad (S_1) y generalizada existente en la zona.

Los pliegues tienen, generalmente, una orientación E-O, aunque su posición y el buzamiento de los ejes puede variar de un punto a otro, según la importancia de la deformación producida por la fase 2 hercínica.

Esto da lugar a que los ejes estén inclinados tanto al E como al O, o bien que estén subhorizontales.

En cuanto a la morfología de los pliegues, éstos adquieren distinta geometría, según los materiales afectados. En general, se aproximan al tipo «chevron fold», puesto que presentan flancos bastante rectos y charnelas angulosas, especialmente en los materiales más finamente estratificados y en las alternancias donde no aparecen bancos competentes muy potentes. Para los niveles muy competentes, tales como los de la Cuarcita Armoricana se desarrollan pliegues concéntricos a gran escala, generalmente muy fracturados, y que marcan las directrices de las megaestructuras de la Hoja.

El grado de aplastamiento no es muy alto, por lo que la esquistosidad está poco desarrollada, y sólo aparece en litologías, donde predominan los materiales pizarrosos, principalmente en la potente secuencia político-grauwáquica de edad Precámbrica del Calle de Alcudia. Se puede clasificar como un «slaty cleavage» grosero, según la clasificación de BASTIDA (1981).

En todo el Paleozoico esta esquistosidad aparece siempre paralela al plano axial de los pliegues y su dirección, normalmente es E-W, aunque puede variar por deformaciones posteriores.

En el Precámbrico del Valle de Alcudia, encontramos situaciones de dos tipos. Generalmente la esquistosidad (S_1) se dispone paralela al plano axial, principalmente en la parte central del antiforme. En los extremos oriental y occidental se han observado numerosos casos en que la misma esquistosidad es oblicua a la traza axiales de los pliegues. Este hecho se ha interpretado al hablar de la deformación anterior al depósito del Ordovícico, que originó pliegues de los que desconocemos su morfología y posición inicial, debido a la superimposición de las estructuras debidas a las dos fases de deformación hercínica.

Respecto a las estructuras mayores, éstas vienen representadas en el esquema tectónico de la Hoja de Almadén.

En la mitad occidental de este esquema se encuentra el sinclinal de Almadén, el cual tiene su terminación periclinal oriental en el centro de la Hoja, y donde se observa cómo esta estructura se diversifica en varios pliegues, cuyos ejes se enclinan hacia el Oeste.

En la esquina nororiental de la Hoja de Almadén aparecen dos es-

estructuras, denominadas Domo del Opejón y Domo del Mataloso, que son el resultado de una interferencia de pliegues de fase 1 y de fase 2 hercínica.

Al S de estas estructuras aparecen dos sinclinales. El que se encuentra más al N corresponde al sinclinal de Fresnedillas de la Hoja de Tirteafuera (AMOR y ORTEGA, in litt.), el cual, junto con el anticlinal que aparece al sur, periclinan en dicha Hoja.

El sinclinal que aparece algo más al sur, en la parte oriental de la Hoja corresponde a la prolongación del sinclinal de Valdeazogues, de la Hoja de Tirteafuera (AMOR y ORTEGA, in litt.), el cual es la continuación directa oriental del sinclinal de Almadén.

Al sur de la megaestructura constituida por todas las unidades anteriores se sitúa el anticlinorio del Valle de Alcudia, cuya estructura completa sólo es visible en la zona central, entre Alamillo y Almadenejos. Dicha estructura cierra a poniente, ya que todos los ejes buzan hacia el NW, hasta la vertical de Almadenejos, donde hay un cambio de inclinación de los ejes hacia levante.

En la esquina SW de la hoja se cartografiado una pequeña zona perteneciente al flanco N del sinclinal de Guadálmez. Aparece limitada al N y NE por fracturas que ponen en contacto los materiales precámbricos del Valle de Alcudia con materiales de edad Ordovícica del sinclinal de Guadálmez.

Otro tipo de estructuras que originaronse durante esta fase de deformación, son fracturas con dirección aproximadamente E-W, que suelen afectar al flanco sur de los pliegues de fase 1 hercínica. Son fallas inversas, vergentes al sur y de importancia variable, pues aunque en ocasiones poseen saltos pequeños y su continuidad lateral es corta, en otros casos presentan saltos importantes (a nivel de varias formaciones) y una continuidad lateral de varios kilómetros. En este último caso, a estas fracturas se las puede considerar como auténticos cabalgamientos. Un caso parecido, aunque con interpretación más problemática, es el que se presenta en las proximidades de Alamillo. Desde esta localidad hacia el W-NW se sigue el trazado de una estructura cabalgante que pone en contacto los materiales del precámbrico encima de materiales ordovícicos.

Puede estar relacionado con las estructuras cabalgantes y fallas inversas descritas más arriba, y haber sido removilizado por fracturas tardías de dirección NW-SE, tal como la que lo limita por su extremo oriental.

2.2.2. Estructuras de fase 2

Esta fase se manifiesta principalmente a escala cartográfica en diversas zonas de la hoja de almadén. Así, por ejemplo, se aprecia en los pliegues de Fase 1 que en la zona occidental aparecen buzando hacia el W, mientras que hacia la zona oriental buzaban hacia el E. Acompañando a estos cabeceos de la charnela es frecuente encontrar estructuras en

domo, de las cuales las más evidentes son las que se encuentran en la zona nororiental (El Opejón y el Matalloso). Estos domos se originarían por interferencia de pliegues de la fase 1 hercínica con los de la fase 2, que presentan una orientación de N-S a NE-SW, y corresponden al tipo 1 de la clasificación de RAMSAY (1967).

A escala mesoscópica estas estructuras no son frecuentes, aunque se han observado en algunas ocasiones. Así, por ejemplo, en el núcleo del sinclinal de Almadén, en la zona denominada «El Burcio», aparece a escala de afloramiento un pliegue de fase 1 con una esquistosidad S_1 de plano axial. En uno de sus flancos se observa que existe otro pliegue con dirección N-S, el cual dobla claramente a la esquistosidad.

Este tipo de observaciones ya habían sido hechas en otras zonas dentro del contexto regional, tal como sucede en la zona de Siruela GARCIA SANSEGUNDO et al. (in lit.).

En trabajos anteriores se ha eludido la existencia de esta fase de deformación explicando las inflexiones de las charnelas de los pliegues de fase 1, como una morfología cónica de estas estructuras que aparece desde el momento de iniciarse su formación (VERGES, 1984; MARTINEZ RIUS, 1980; SOLDEVILLA, 1982).

Datos recientes parecen indicar que el origen de esta deformación transversal está relacionada con un importante occidente cortical (banda de cizalla levógira de Herrera del Duque-Abenojar), que distorsionaría las estructuras de primera fase hercínica (AMOR y ORTEGA, in lit.; ORTEGA y SANCHEZ VIZCAINO, in lit.), generando las estructuras en domos y cubetas en su entorno inmediato. En áreas más alejadas puede dar lugar a cabeceos importantes de los ejes de los pliegues.

2.2.3. Deformaciones tardías

Aparte de las fracturas con dirección E-W, mencionadas anteriormente, y que estaban relacionadas con la primera fase de deformación hercínica, en esta zona aparecen otras fallas que son posteriores, entre las cuales se distinguen unas con dirección NE-SW y sus conjugadas NW-SE, las cuales probablemente están relacionadas con la segunda fase de deformación hercínica.

Las fallas más tardías que aparecen en esta zona tienen una dirección N-145 E, de las cuales un buen ejemplo lo constituye la falla de «Puente de Valdezogues» o «Quinto del Hierro». Esta fractura es de gran importancia, pues produce un desplazamiento horizontal muy grande (5 km.), afectando principalmente al flanco sur del Sinclinal de Almadén, mientras que en el flanco N, tan sólo produce pequeños desplazamientos. Su movimiento vertical se realiza elevando al labio occidental y hundiendo el oriental, pero su componente principal es la de «strike slip» levógira. En conjunto, estas fallas son rotacionales con un desplazamiento horizontal importante y gran continuidad lateral (de decenas de kilómetros).

Por último, es conveniente citar la existencia de unas fallas con

dirección E-W (distintas a las anteriormente citadas, que eran sin fase 1 hercínica), que aparecen en el «Domo de Abenojar» (al NE de la hoja de Almadén), donde se observa cómo estas fracturas cortan a todas las estructuras y remobilizan las fallas E-W sin fase 1 hercínica (AMOR y ORTEGA, in litt.; ORTEGA y SANCHEZ VIZCAINO, in litt.).

Es posible que estas fracturas existan en el ámbito de esta hoja, pero su manifestación no es evidente, ya que su orientación coincide con la dirección de las estructuras de Fase 1 hercínica.

Por otro lado, hay que señalar que en los materiales del Precámbrico se observan fracturas netas de gran continuidad lateral, en las que no se ha podido verificar la existencia de movimientos relativos entre los bloques.

Estas fracturas presentan orientaciones similares a las de las fracturas, que posiblemente estén relacionadas con la fase 2 de deformación hercínica, NE-SW y sus conjugadas NW-SE, y se han interpretado como diaclasas de grandes dimensiones. Un grupo aparte de fracturas dentro del Precámbrico son las de direcciones ENE-WSW, y que en algunos lugares aparecen en forma de diques de cuarzo.

Otro grupo de estructuras que se consideran producidas por deformaciones tardías son crenulaciones, afectando a las alternancias pelítico-grauwáquicas del Precámbrico en algunas zonas del Valle de Alcudia. Pliegan la estratificación y la equistosidad con direcciones N-S y N 60° E, y con los ejes de los pliegues bastante inclinados.

2.3. EDAD DE LA DEFORMACION

En lo referente a la edad de la deformación, en esta hoja se ha advertido la existencia de 2 ciclos orogénicos, uno hercínico y otro prehercínico.

2.3.1. Deformaciones pre-hercínicas

De acuerdo con lo expresado en los capítulos de estratigrafía y tectónica; se puede hablar de dos episodios de deformación pre-hercínica en sentido amplio, señalados por las discordancias mencionadas.

El primero de ellos, intraprecámbrico, y asociado a un suave plegamiento, da lugar a la discordancia angular existente entre los materiales del Rifeense y del Vendense Superior, de acuerdo con los datos paleontológicos disponibles. Así, pues, la edad de esta deformación se situaría en el Rifeense o el Vendense Inferior/Medio.

El segundo episodio de deformación señalado por la discordancia «sárdica» puede situarse de acuerdo con los datos de esta zona entre el Vendense Superior y el Ordovícico Inferior (Tremadoc/Arenig). Los datos regionales, sin embargo, permiten precisar más esta edad. Así, MORENO (1977) encuentra en el área de Montes de Toledo materiales del

Cámbrico Inferior concordante con el precámbrico, lo que permitiría situar esta deformación en el Cámbrico Medio/Superior.

Debe recordarse aquí el probable carácter erosivo de esta discordancia, que al menos en este sector no parece llevar asociadas deformaciones importantes.

En cualquier caso, dentro de la hoja de Almadén y como consecuencia probablemente de la erosión pre-ordovícica, sólo aparece una superficie de discordancia entre Ordovícico y Rifeense, estando ausentes los materiales atribuidos al Vendense.

2.3.2. Deformaciones hercínicas

En lo referente a la edad de las deformaciones hercínicas, los materiales deformados más modernos que aparecen en esta zona pertenecen al Devónico Superior. En zonas limítrofes (sinclinal de Guadálmez) fueron citadas rocas pertenecientes al Dinantiense y Namuriense en continuidad con el Devónico superior, aunque datos paleontológicos recientes permiten afirmar que estas rocas pertenecen al Tornesiense (GARCIA ALCALDE, com. personal).

Más al sur, dentro de las Hojas de Hinojosa del Duque y San Benito (MIRA LOPEZ et al., in litt.), se han encontrado calizas que fueron datadas mediante conodontos, y han dado una edad Namuriense A Superior.

Por otra parte, los materiales más antiguos indeformados datados que aparecen en esta hoja se situúan al Norte del km. 7 de la carretera Almadén-Saceruela. Estas rocas son unas limolitas, las cuales fueron datadas mediante flora fósil, dando una edad de Westfaliense-Estefaniense.

Sin embargo, este dato no es muy fiable. Por el contrario, otros materiales que se han encontrado en la zona de Puertollano, los cuales fueron datados por WAGNER y UTTING (1967), dieron una edad de Estefaniense Medio.

Por otra parte, la Granodiorita de Fontanosas, situada al Este de la hoja, fue datada radiométricamente por SAUPE (1973), obteniéndose una edad de 302 ± 7 m.a. (Westfaliense Superior). Teniendo en cuenta que esta granodiorita es posterior al menos a la Fase 1.^a hercínica, se puede decir que la edad de la 1.^a Fase de deformación hercínica estará comprendida entre el Namuriense A Superior y el Westfaliense Superior.

En lo que se refiere a la segunda fase de deformación hercínica, los únicos datos de que se dispone proceden de las Hojas de Hinojosa del Duque y San Benito (MIRA LOPEZ et al., in litt.). En base a las relaciones entre esta deformación y la aureola de metamorfismo de contacto del «stock del Guijo» se demuestra que esta intrusión granítica fue sincinemática con la segunda fase de deformación. Como además la intrusión del batolito de los Pedroches fue algo anterior a la del «stock del Guijo», y si se supone que la intrusión del batolito es simultánea a la de la

granodiorita de Fontanosas, la segunda fase de deformación hercínica sería posterior al Westfaliense Sukperior.

3. PETROLOGIA

3.1. PETROLOGIA IGNEA

3.1.1. Rocas graníticas (7)

La única intrusión granítica existente en toda la Hoja de Almadén está en su extremo Nororiental donde aparece la Granodiorita de Fontanosas.

La textura que presenta es granuda, siendo el tamaño de grano medio o grueso, distinguiéndose en los bordes de la intrusión una tendencia a presentar texturas de grano más fino.

Desde el punto de vista mineralógico se compone de cuarzo, plagioclasas, biotita y feldespato potásico, siendo éste el orden de abundancia más común, aunque cabe destacar que en las facies de borde es más abundante el feldespato potásico que la plagioclasea.

- El cuarzo es intersticial, frecuentemente presenta exinción ondulante y, en ocasiones aspecto clástico.
- La plioclasa, en general, presenta cristales pseudomórficos que suelen estar maclados y zonados. Este mineral normalmente aparece bastante fresco.
- El feldespato potásico es pertítico, alotriomorfo e intersticial, en facies de borde suele presentar crecimientos gráficos con el cuarzo y zonas mirmequíticas con la plagioclasea. En general este mineral está bastante alterado.
- Entre los minerales accesorios aparecen: apatito, circón y minerales opacos.

En algunas ocasiones, pueden aparecer ortopiroxenos, los cuales suelen presentar bordes de reacción, constituidos por biotita, lo que indica que el ortopiroxeno era inestable en el medio magmático. Por tanto, deben ser rechazadas las implicaciones charnoquíticas, anteriormente argumentadas por SAUPE (1973), pudiéndose interpretar el origen del magma como una diferenciación, a partir de composiciones más básicas y no como una fusión cortical parcial, tal y como fue interpretado en otros trabajos realizados en esta misma Granodiorita de Fontanosas (AMOR y ORTEGA, in lit.).

Estas rocas graníticas fueron intruidas después de la Fase 1 hercínica, puesto que se observa cómo cortan a las estructuras pertenecientes a este episodio de deformación.

En la zona de Siruela, situada más al oeste, aparece la Granodiorita de Garlitos, la cual también es tardi-fase 1 hercínica y sus características se asemejan a la Granodiorita de Fontanosas. Al igual que en esta zona, a la Granodiorita de Garlitos presenta facies con ortopiroxenos GARCIA SANSEGUNDO et al., in lit., por lo que se ha llegado a idénticas conclusiones que en la Granodiorita de Fontanosas.

3.1.2. Rocas volcánicas y subvolcánicas

3.1.2.1. Rocas calcoalcalinas dacíticas y riodacíticas (6)

En la Hoja de Almadén, estas rocas únicamente son abundantes en el extremo nororiental.

Son rocas que presentan una textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo, pudiendo aparecer feldespato potásico en algunas ocasiones. La matriz es microcristalina, aunque puede ser granofídica.

Entre los minerales accesorios se encuentra: apatito, circón, opacos y, eventualmente, pueden aparecer granates, los cuales eran inestables en el medio, pues presentan coronas de reacción formadas por biotita cloritizada.

Según la composición descrita, estas rocas pueden ser clasificadas como dacitas o riodacitas, para las variedades ricas en feldespato potásico.

Los granates aparecen relacionados con enclaves cuarzo feldespáticos clasificados como microtonalitas, compuestas por biotitas, plagioclasa y cuarzo, con una textura típicamente ígena, por lo que no parece que estos enclaves sean restitas.

Estas rocas son de edad prehercínica, puesto que se observa que aparecen afectadas por el metamorfismo producido por los granitos y están plegadas por la Fase 1 de deformación. Generalmente estas rocas aparecen en afloramientos alargados (diques) que casi siempre siguen la estratificación, sea cuál sea su posición.

No presentan metamorfismo de contacto, probablemente debido a que la temperatura, en el momento de su intrusión, era baja.

3.1.2.2. Rocas riolíticas (3)

Dentro de la Hoja de Almadén, las rocas de composición riolítica están representadas de manera esporádica, afectando a materiales muy diferentes de la serie.

Aparecen bien representadas dentro de los materiales de edad devónica, con dos tipos de morfologías.

Por una parte tenemos lavas ácidas con textura con fenocristales de cuarzo pseudo hexagonal (alta $t.^{\circ}$) corroídos por la matriz, formada por una pasta microcristalina de cuarzo y feldespato potásico, a veces la matriz es vidrio desvitrificado. Se podrían clasificar como riolitas o próximas a ellas. Estos materiales aparecen en el flanco N del sinclinal a techo de un cono volcánico, lo que estaría de acuerdo con la evolución del quimismo que se observa a lo largo de la serie y, concretamente, dentro de cada cono, donde los términos básicos van siendo sustituidos por términos más ácidos hacia arriba.

En segundo lugar aparecen rocas de composición riolítica al NW de Almadenejos, formando una chimenea que corta la Cuarcita de Base. Se trataría de tobas formadas por trazas de vidrio desvitrificado que engloban cristales de cuarzo pseudo hexagonales y resto de cuarcitas.

Dentro del Precámbrico se han cartografiado materiales con esta

composición que afloran formando cuerpos elipsoidales o bien circulares. Según LAURET (1974) forman diques de sección circular que en los bordes pasan a una brecha de matriz riolítica con fragmentos de la roca encajante. Son compactas y homogéneas, de color blanco o gris verdoso. Su composición es de fenocristales de cuarzo idiomorfos con bordes de corrosión, albita alterada y feldespato potásico (sanidina) en una pasta algo recrystalizada de cuarzo y plagioclasa, a veces hay biotita (cloritizada).

Otro pequeño afloramiento de rocas con estas características aparece a 1 km. al E de Navalpozo dentro de las Pizarras de *Calymene* Inferiores. Posee textura porfídica microcristalina, probablemente recrystalizada, y podría ser una roca volcánica o hipoabisal ácida: riolita o pórfido riolítico. Su composición es similar a la de la anteriores.

3.1.2.3. Doleritas (5)

Generalmente forman afloramientos de grandes dimensiones y estratigráficamente aparecen asociados a dos grandes grupos de materiales.

Por una parte, en el Devónico del núcleo del sinclinal de Almadén, aparecen con dos tipos de morfologías distintos. Pueden formar masas grandes que cortan la estratificación con un ángulo pequeño (aproximadamente de 10°) (como, por ejemplo, en el kilómetro 2,5 de la carretera Almadén-Saceruela) o bien se intruyen cortando claramente la estratificación, tal como sucede al NE de Almadén donde afectan a los materiales detríticos y a las tobas volcánicas re trabajadas. La segunda forma en la que aparecen estos materiales es como «sills» doleríticos de unos 90 m. de potencia encajados entre materiales sedimentarios y plegados conjuntamente con ellos.

Todos estos materiales presentan textura ofítica y el tamaño de grano es muy grueso, aunque pueden aparecer facies de grano más fino en los bordes. Mineralógicamente se pueden distinguir dos tipos. En el primero la plagioclasa es una andesina-labradorita, acompañada de pequeñas cantidades de olivino y piroxenos (augita), además de ilmenita esquelética y magnetita. La alteración principal es la cloritización. El segundo tipo es menos básico, siendo la plagioclasa una oligoclasa-andesina desaparece el olivino y disminuyen los piroxenos, aparecen cuarzos de alta $t.^{\circ}$ y, en ocasiones, feldespato potásico perfitico.

Ambos tipos no tienen por qué aparecer muy separados o en afloramientos distintos, pudiendo hacerlo en él mismo a escasos metros uno de otro. La composición mineral es similar a la de los materiales volcánicos interestratificados que aparecen en esta misma zona. La presencia de doleritas plegadas implica su emplazamiento antes del plegamiento. De todos los hechos mencionados puede deducirse un origen magmático común para los materiales volcánicos del Devónico superior.

Aparecen rocas similares en testura y composición a las que se acaban de describir en la parte oriental de la Hoja, dentro de los materiales correspondientes al Ordovícico (*Calymene* Inferior, Alternancia Inferior y *Calymene* Superior). Forman afloramientos de dimensiones variables que se sitúan preferentemente en zonas de charnela y por su posición serían ligeramente oblicuos a las estructuras. Por tanto, su

emplazamiento debió tener lugar antes de los principales episodios de deformación tal como se vio que sucede en las doleritas devónicas.

Para los afloramientos de la zona oriental la textura varía de ofítica a dolerítica, con tamaño de grano predominantemente grueso. En cuanto a composición, las plagioclasas varían de An_{23} a An_{52} , los piroxenos aparecen casi siempre totalmente alterados y no se ha observado la presencia de olivino y sí la de cuarzo intersticial, probablemente secundario.

Por último, habría que citar rocas de composición semejante que aparecen interestratificadas dentro de los materiales del Silúrico. Aparecen como «sills» de potencia reducida asociados a rocas subvolcánicas de afinidades lamprofídicas y a tobas. Se ha utilizado el criterio de cartografiarlas todas juntas excepto para dos niveles situados al E de la Casa de Los Santos, correspondientes a rocas subvolcánicas de tipo dolerítico.

3.1.2.4. *Volcanismo básico (17, 20, 32, 38, 39, 42, 2, 4)*

Comprende materiales que van desde rocas piroclásticas con matriz y, a veces clastos de composición básica a intercalaciones basálticas, «sills» y pequeños cuerpos, que cortan la estratificación, de composición similar. Todos estos materiales aparecen en casi todas las series, pero están mejor representados principalmente en tres periodos: Ordovícico medio, Silúrico y Devónico superior, donde parece que fue más intensa la actividad volcánica y subvolcánica. Esto se pone claramente de manifiesto para el Silúrico y Devónico donde los afloramientos de tobas volcánicas están ampliamente extendidos; durante el Ordovícico medio dichas tobas están mucho más restringidas pero, en cambio, los «sills» presentan una distribución mucho más amplia.

Por una parte, aparecen en los materiales del Ordovícico medio de la parte oriental de la Hoja donde están representados por doleritas, ya descritas, y por rocas volcánicas o hipoabisales básicas de afinidades lamprofídicas, estas últimas en forma de «sills» y de pequeños afloramientos irregulares que cortan la estratificación. Estos lamprófidos han sido cartografiados separadamente en toda esta zona y aparecen claramente plegados y fracturados por lo que debieron de ser puestos «in situ» antes de iniciarse la deformación principal de la Fase 1. Además de las doleritas y lamprófidos en esta zona afloran en algunos puntos tobas volcánicas, que también se han cartografiado separadamente. Dichas tobas ponen de manifiesto la existencia durante el Ordovícico medio de un vulcanismo explosivo de tipo básico. La presencia en alguna muestra de grandes clastos de serpentina, que pueden ser fragmentos ultramáficos a modo de enclaves, y la gran abundancia de dichos enclaves podrían indicar una cierta relación genética con la «brecha periodotítica» del Silúrico, que se interpreta como originada al ir englobando xenolitos el magma basáltico ascendente. Los principales afloramientos se sitúan en el borde oriental de la Hoja, al S del río Valdeazogues.

Durante todo el Silúrico, tuvo lugar una importante actividad volcánica, siempre de carácter básico, que dio lugar a diferentes tipos de materiales. Desde el punto de vista cartográfico se han diferenciado solamente grandes masas correspondientes a aparatos volcánicos complejos, así como amplias zonas donde predominan las tobas y basaltos s.l. sobre los materiales detríticos.

Tanto en uno como en otro caso están formados por materiales volcánicos similares, morfológicamente serían coladas de lavas (raras), «sills» (muy frecuentes) y chimeneas volcánicas. Petrográficamente las lavas corresponden a basaltos de varios tipos (B. plagioclásicos, B. olivínicos y augíticos y B. hornbléndicos) siempre de carácter básico y los «sills» pueden presentar afinidades lamprofídicas o bien aproximarse textural y mineralógicamente a las doleritas.

Las tobas varían de líticas a grauwasas tobáceas con fragmentos angulosos de rocas basálticas con diversas texturas, pizarras, cuarcitas, areniscas, granos de cuarzo detríticos, matriz arcillosa y cemento carbonatado, a veces se observan restos fósiles. La «roca Frailesca» correspondería a una tipo intermedio entre las tobas líticas

y las grauwasas tobáceas. Un caso especial lo constituyen las «brechas peridotíticas», de El Entredicho y Almadenejos, que aparecen dentro de la Cuarcita de Criadero. Están formadas de fragmentos de rocas peridotíticas (dunitas, dunitas piroxénicas, harzburgitas) y, menos, de cuarcitas y pizarras englobados en basalto olivínico o en basalto plagioclásico fluidal, todo ello intensamente carbonatado. El volumen de los enclaves es siempre mucho mayor que el de los basaltos que los incluyen y se interpretan como xenolitos englobados por el magma basáltico en su ascensión.

La importante actividad subvolcánica y volcánica descrita durante el Silúrico continúa hasta el Devónico inferior bajo. Después de un lapso donde disminuye su intensidad, en el comienzo del Devónico superior, tras el hiato del Devónico medio, parece marcar una reanudación de dicha actividad.

Dentro del Devónico superior sólo se han diferenciado cartográficamente dos unidades litológicas, según predomine la actividad volcánica sobre los materiales sedimentarios o viceversa. Aparte se han diferenciado rocas de carácter riolítico y doleritas, las cuales se han descrito por separado.

Dejando a un lado a estas últimas podemos diferenciar las rocas volcánicas que forman los aparatos volcánicos: tobas y lavas, y las rocas subvolcánicas instruidas formando «sills». A lo largo del Devónico superior se observa que en cada cono hay una cierta diferenciación aumentando los términos ácidos hacia el techo.

Las lavas y «sills» aparecen generalmente subordinados en los conos volcánicos a las tobas y poseen una composición similar.

Estos materiales se pueden agrupar según su grado de basicidad desde basaltos con olivino a términos muy ácidos (descritos con las rocas riolíticas). Las lavas basálticas tienen textura porfídica con fe-

nocristales de olivino, augita y labradorita (An_{65}) y con una matriz formada por cristales de plagioclasa, normalmente carbonatados, augita, clorita, carbonatos, óxidos de hierro y magnetita. Otras variedades son los basaltos vacuolares y los basaltos con hornblenda basáltica.

Los términos menos básicos que los anteriores se diferencian principalmente por una pequeña disminución en la cantidad de ferromagnesianos y por una menor basicidad de las plagioclasas (Andesina, An_{43}).

Las tobas constituyen la mayor parte de los conos y el tamaño de la particular varía de 0,5-5 mm., típico de un volcanismo submarino de poca profundidad (TAZIEFF, 1974; HONNOREZ y KIRST, 1975). Alternan con coladas o con «sills», instruidos a poc a profundidad. La mayor parte tienen carácter vítreo-lítico, con fragmentos principalmente de lava (muchos de ellos de lavas vacuolares). También son frecuentes los granos de cuarzo subredondeados de carácter detrítico en la matriz. En general hay pocas variaciones en la composición de las tobas. Las brechas volcánicas son escasas y se sitúan principalmente en la base de los conos volcánicos. Las tobas de las chimeneas volcánicas básicas (Almadenejos) no se distinguen claramente de las de los conos aparte de su carácter más masivo y de su alto grado de alteración.

Haciendo una recapitulación global se observa que la composición mineralógica y química de todas las rocas volcánicas y subvolcánicas básicas desde el Ordovícico al Devónico superior es muy similar. Desde el punto de vista geoquímico se observa a partir de los datos de SAUPE (1973) una afinidad toleítica para las doleritas, siendo la interpretación de los basaltos más ambigua. Si se analiza la evolución del volcanismo desde antes del Ordovícico se pone de manifiesto un desplazamiento del quimismo desde el campo alcalino al toleítico. Esto podría relacionarse con una elevación del área fuente de estos materiales, debido quizá a una progresiva distensión crustal de la zona.

El vulcanismo que dio lugar a todo ese conjunto de materiales fue un vulcanismo explosivo predominantemente subacuático, en algunos períodos con episodios subvolcánicos que dieron lugar a todos los cortejos de «sills».

La alteración de todas las rocas volcánicas y subvolcánicas que aparecen desde el Ordovícico al Devónico es muy importante, siendo mayor para las piroclásticas que para las masivas y, dentro de éstas para las que tienen textura porfídica. Los procesos de alteración se consideran tardi-magmáticos y con los que se observan en tobas de composición basáltica de erupciones submarinas asociadas a espilitas (AMSTUTZ, 1967). Esta alteración no es meteórica, ya que afecta también a las muestras de sondeos y a las del interior de las minas, sin embargo, en ocasiones el proceso tiene lugar y prácticamente se conserva la paragénesis original basáltica, mientras que en otros casos la roca está totalmente espilitizada.

Estos procesos de alteración comprenden fenómenos tales como la albitización de plagioclasas cálcicas, serpentización del olivino y cloritización y anfibolitización de piroxenos. Posteriormente estos minerales son sustituidos por otros de baja temperatura, produciéndose carbona-

tación, silicificación y cloritización (sericita, carbonatos, talco, serpentina, clorita, óxidos de Fe, sílice), tanto de los fenocristales como de la pasta.

Del estudio geoquímico de los materiales basálticos SAUPE (1973) concluye en que toda la actividad volcánica fue producida por una única fuente magmática. Los fenómenos de cristalización precoz y anhidra fueron reemplazados rápidamente por procesos deutéticos generalizados que produjeron una diferenciación mineralógica (carbonatación, cloritización) en el curso de la ascensión del magma. Posteriormente, en 1977, SAUPE et al., indican que el proceso de retrogradación debía estar relacionado con el metamorfismo incipiente que han sufrido estos materiales (lo cual es coherente con el tipo de asociación mineralógica que se encuentra).

3.1.2.5. *Diques de cuarzo (1)*

Se han cartografiado diques de cuarzo que aparecen, fundamentalmente, entre los materiales Precámbricos del Valle de Alcudia, y en el extremo oriental de la Hoja, encajados en materiales del Ordovícico superior. Aparecen emplazados en fracturas tardías de direcciones que varían de ENE-WSW a NNW-SSW.

Son rocas de textura granuda, heterogranular, de grano fino. Están compuestas de cuarzo con óxidos de hierro.

3.2. PETROLOGIA METAMORFICA

En este apartado se hará referencia únicamente al metamorfismo de contacto, pues en toda la hoja no se ha encontrado ninguna evidencia que verifique claramente la presencia de un metamorfismo regional. Este último aspecto fue estudiado con anterioridad por BLANCHERE (1978) y SAUPE, et al. (1977) sobre nuestros precedentes del Precámbrico y del Paleozoico de zonas próximas a Almadén, usando técnicas tales como la medida de la cristalinidad de la illita, y el poder reflectante de la materia orgánica. Los resultados obtenidos por estos autores indican que la mayoría de las muestras del Precámbrico se sitúan en los campos de anchizona-epizona, y las del Paleozoico en los de la diagenesis-anchizona. Interpretan esta diferencia en función de la existencia de un episodio térmico anterior al Ordovícico, que se refleja únicamente en los materiales precámbricos.

Se ha caracterizado únicamente la aureola metamórfica producida por el «granito de Fontanosas», que es el único cuerpo intrusivo de la Hoja, que presenta metamorfismo de contacto asociado.

Aureola metamórfica del granito de Fontanosas

En la parte norte del granito de Fontanosas se ha conseguido esta-

blecer un límite entre rocas afectadas por el metamorfismo de grado medio, de las que tan sólo presentan metamorfismo de bajo grado.

En el resto de la zona que rodea el granito de Fontanosas, debido a la escasez de afloramientos, no se ha podido establecer claramente el límite de la aureola metamórfica, aunque se observan rasgos característicos de rocas que han sido afectadas por la intrusión granítica. Sólo algunas muestras tomadas al sur del granito, próximas al contacto, indican claramente un metamorfismo de contacto de grado medio, al presentar cordierita y biotita (AMOR y ORTEGA, in litt.). Las características del metamorfismo son iguales en torno a todo el cuerpo granítico, pudiendo existir algunas zonas (como, por ejemplo, al W, del granito), donde, debido probablemente a fracturas posteriores a la intrusión, la aureola presenta una potencia más reducida.

Aureola de metaformismo de grado medio

Constituye una banda paralela al contacto del granito, la cual es de potencia variable, entre 100 y 450 m., donde aparecen grauwacas y pizarras del Precámbrico, que han sufrido un metamorfismo que ha dado lugar a la formación de corneanas, cuya mineralogía se constituye principalmente de cuarzo, moscovita, biotita y cordierita, pudiendo aparecer en algunas ocasiones cristales de circón, turmalina, apatito, feldspatos y andalucita.

La textura suele ser granoblástica, para el cuarzo y las micas, pudiendo la biotita presentar textura lepidoblástica, la cordierita y la andalucita son pecilíticas. Por lo general los rasgos originales de la roca aparecen prácticamente borrados.

En resumen, se pueden decir que los caracteres más típicos de estos metamadamentos son:

- Presencia de cordierita y biotita.
- Grado de recrystalización importante.

En rocas dacíticas también se han detectado evidencias de un metamorfismo de contacto de grado medio, teniendo lugar procesos de recrystalización, los cuales suelen producirse en dos etapas, una primera en la que aparece la biotita y otra en la que se origina clorita, que, en algunos casos, parece proceder de otro mineral previamente formado, como podría ser cordierita.

En cualquier caso, este metamorfismo es menos evidente en este tipo de rocas que en las grauwacas y pizarras precámbricas.

Aureola de metamorfismo de bajo grado

Constituye una banda ligeramente más estrecha que la del metamorfismo de grado medio, variando entre 100 y 350 m.

Aparecen grauwacas y pizarras, cuya mineralogía es de cuarzo, feldspatos, biotita, moscovita, clorita y, en algunos casos, cordierita.

En estos metasedimentos el grado de recrystalización es muy bajo, pudiendo aparecer textura granoblásticas, lepidoblásticas y peciloblásticas, que en ningún caso borran los caracteres sedimentarios de la roca.

En las decitas tan sólo se observa una recrystalización incipiente.

4. METALOGENIA

Una mina tan importante como Almadén ha atraído la atención de los investigadores en todos los tiempos. No es, pues, de extrañar que existan teorías de todos los tipos para explicar su génesis. Así se han propuesto ideas, tales como sublimación a partir de exhalaciones (ESQUERRA DEL BAYO, 1838), impregnaciones hidrotermales epigenéticas (CASIANO DEL PRADO, y 1855, y casi todos los autores), precipitación a partir del agua de mar (P. FABREGA, 1926). Modernamente A. ALMELA y T. FEBREL (1960) constataron la coincidencia entre las mineralizaciones y la roca fraileasca, sin que la mineralización habría aprovechado únicamente su mayor permeabilidad, siendo su emplazamiento muy tardío en relación con la fraileasca. I. QUINTERO (in ANONIMO, 1970) completó esta teoría postulando que la fraileasca ocupaba chimeneas volcánicas, las cuales habían servido de guía a las soluciones hidrotermales mineralizadoras, emitidas por un batolito profundo.

Uno de los trabajos más recientes sobre Almadén se debe a F. SAUPE (1972), siendo este el primer autor que demuestra que el emplazamiento del cinabrio es anterior al final de la diagénesis de la cuarcita de Criadero, ya que se encuentra cinabrio entre los granos de cuarzo y la aureola de crecimiento secundario, así como dentro de los cristales de piritita diagenéticos. SAUPE supone un origen volcánico del mercurio, con un estadio de preconcentración las pizarras paleozoicas y precámbricas, de las que el metal habría sido movilizado por corrientes de convección originadas por los domos térmicos que habrían precedido al vulcanismo silúrico. El emplazamiento definitivo del cinabrio se habría producido durante la sedimentación de la cuarcita de Criadero (S_{11}), en varias fases (una para cada banco), encontrándose esporádicamente cinabrio sedimentario (minerales masivos con «cross y graded bedding») a techo de cada uno de los bancos mineralizados.

Para SAN MIGUEL y MONTOTO (1974) el estudio de las características texturales de las cuarcitas del Criadero, en relación con una hipótesis de origen sinsedimentario de la mineralización («concentración de mercurio en los esquistos arcilloso-grafitosos intercalados con las cuarcitas») y su removilización, por control tectónico durante la orogenia hercínica, hacia las areniscas.

Los trabajos de CALVO y GULEMANY (1974), conducen a la hipótesis de la impregnación de la cuarcita «recrystalizada y porosa» por una masa de HgS fundido (con exceso de mercurio metálico en solución) segregado en un magma.

La obtención de nuevos datos por el Servicio Geológico de Almadén ha permitido modificar y ampliar el modelo de SAUPE (SOLER y HERMANDEZ, in litt.). En primer lugar se han podido determinar las relaciones entre la roca frailesca, su encajante (SOLER y coullaut, in litt.) y las mineralizaciones de mercurio. Todas las minas conocidas se encuentran relacionadas con aparatos volcánicos del tipo que se describe a continuación. La frailesca se encuentra claramente rellenando y desbordando cráteres de explosión de $300 \times 200 \times 150$ m. de media, excavados en la «cuarcita de Criadero» y en las «pizarras de muro» (O_{32}). Un ejemplo excepcionalmente claro puede verse en las inmediaciones de la casa de La Panera, donde la cartografía geológica actual es la sección vertical primitiva de una caldera de este tipo. Aquí, al igual que en la mina de Almadén, puede verse como las capas de cuarcita y de «pizarras muro» son sustituidas progresivamente por piroclastos hacia el centro de la caldera. En El Entredicho, los piroclastos llegan a reposar, discordantes, sobre las «alternancias Superiores» (O_{31}). Dado que los piroclastos muestran estratificación y una gradación de los elementos a medida que nos alejamos del foco volcánico, está claro que su depósito debe haberse efectuado en una superficie libre, probablemente cubierta de poco espesor de agua (presencia esporádica de Gasterópodos en la frailesca).

El volcanismo ligado a estos aparatos está representado únicamente por los piroclastos y por un cortejo de sills, emplazados tanto en las «pizarras muro» como en la cuarcita de Criadero, sin que se conozca por ahora ninguna colada de rocas básicas (ausencia total de «pillow» lavas, y seguridad de que se trata de sills, ya que una misma «capa» cambia frecuentemente de nivel dentro de la serie). Algunos de estos sills, en El Entredicho y Almadenejos, contienen clastos de rocas ultrabásicas de tipo peridotita con abundantes espinelas (AGUILAR y SOLER, in litt.).

En el caso de la mina de La Nueva Concepción, tal como ha demostrado la investigación por sondeos, se ha explotado la parte más alta de uno de los diques de alimentación de estos sills y aparatos volcánicos, que no habría llegado a abrirse, quedándose detenido debajo de la cuarcita de Criadero. Aquí el cinabrio armaba en lavas, estando concentrado en la parte más elevada del dique, perdiendo rápidamente ley en profundidad. Así, a nivel de las alternancias superiores, la mineralización está reducida a algunas pintas de cinabrio y a mercurio nativo.

Por otra parte, el mejor conocimiento de la geometría de los pliegues falla de la primera fase tectónica ha permitido tener una visión más completa del yacimiento de Almadén. Este se encuentra dividido en dos partes por uno de estos pliegues falla (su eje buza 50° al NW) situándose en la rama meridional la antigua explotación (desde los romanos hasta 1770) y el aparato volcánico representado por los piroclastos; en la rama septentrional se localizan las explotaciones seguidas desde 1770 hasta la actualidad. Dado que las capas están verticalizadas, las superficies del cráter de explosión se encuentra también en posición vertical; su sección a nivel del suelo es muy reducida, alcanzando su máximo diámetro a la profundidad de 170 m. y desapareciendo hacia los 300 m. Desdoblado el pliegue y llevando las capas a su posición primitiva la zona

mineralizada de ambas ramas se dispone en una configuración aproximadamente elíptica, cuyo centro está ocupado por el cráter. Las zonas más ricas están en su vecindad inmediata, tanto en forma de depósitos de avalanchas de lodos cinabríferos (cinabrios masivos), como en la cuarcita impregnada de cinabrio. A medida que nos alejamos del cráter desaparecen los cinabrios masivos (siempre situados a techo de la cuarcita) y disminuye la ley de impregnación. Son frecuentes las disposiciones en «stockwork» en cualquiera de los bancos, tanto de origen diagenético, como por removilización tectónica (evidente en el nivel 405 m. de Almadén en los pliegues de la primera fase).

Por último hay que señalar que la paragénesis del yacimiento es completamente banal: cinabrio, mercurio nativo y pirita. En grietas tardías se encuentran ankeritas, algo de barita y pirita, cinabrio y trazas de blenda, galena y calcopirita. Se trata, por tanto, esencialmente de un yacimiento monometálico.

Todos estos datos, sumados a los aportados por los autores anteriores, permiten proponer un modelo volcano sedimentario para los yacimientos de tipo Almadén. Estos estarían ligados a las fases tempranas de un volcanismo explosivo, emisor de rocas básicas. La mayor parte del mercurio quedó atrapado en la Cuarcita de Criadero en estado semidiagenetizado, y parte salió a la superficie del fondo marino, donde dio origen a los depósitos de cinabrio masivo.

CALVO y GUILLEMANY (1974) han obtenido datos de los isótopos de azufre del cinabrio que indican que éste es de origen magmático. Por ello parece que no hay otra posibilidad para explicar la génesis del mercurio de la región de Almadén para invocar una concentración anómala de mercurio a nivel del manto, ya que las cantidades de este metal existentes en la zona, en el Silúrico y Devónico son superiores al contenido actualmente en el mar. Esta filiación parece estar confirmada por la presencia de xenolitos de rocas ultrabásicas en diques basálticos (brechas de fluidificación) en El Entredicho y Almadenejos (AGUILAR y SOLER, in lit.).

Los filones de plomo-zinc-plata pertenecen a un contexto mucho más clásico de filones hidrotermales ligados a las fases tardías del emplazamiento de los granitos hercínicos. De todas las minas de la Hoja, la mejor conocida es la del Quinto del Hierro, que ofrece la siguiente paragénesis (LAURET, 1974): una mineralización primaria de galena, bournonita, calcopirita y cobres grises, acompañada de una ganga de ankerita, cuarzo y baritina. En la montera pueden verse óxidos amarillos de antimonio, malaquita, azurita y piromorfita. Todo ello está armado en filones de dirección N 55 E. Para este autor la mina está situada en la zona de influencia del gran desgarre del río Valdeazogues. En otras minas, por ejemplo en la Fidela, el mineral más abundante es la blenda, pero con todos los demás minerales accesorios. Resumiendo, los filones son de tipo mesotermal (BPGC) dominando uno u otro de los componentes principales (blenda o galena).

No se conoce nada de los yacimientos de antimonio.

7. HISTORIA GEOLOGICA

La historia geológica de la Hoja de Almadén comienza con la sedimentación del Precámbrico (Rifeense), en facies turbidíticas, existiendo en algunos puntos (NE de la Hoja) sedimentos turbidíticos removilizados que indican una inestabilidad de la cuenca posterior al depósito de estos materiales. Estos materiales son suavemente plegados durante el Rifeense o Vendiense Inferior/Medio.

Dentro de la Hoja de Almadén no existen evidencias paleontológicas que indique la presencia de materiales Vendienses y Cámbricos, por lo que éstos no se han depositado o bien es posible que hayan sido erosionados durante el Cámbrico Medio-Superior. En cualquier caso, en el entorno regional sedimentos vendienses se depositan discordantemente sobre el Rifeense.

Sobre estos materiales vendienses se deposita discordantemente a su vez el Ordovícico. La sedimentación de estos materiales se realiza mediante una transgresión que comienza con el depósito de conglomerados, areniscas, pizarras y cuarcitas para culminar con la Cuarcita Armoricana, que constituye un conjunto de barras litorales progradantes.

A partir del depósito de estas cuarcitas se suceden varios episodios transgresivos y regresivos, los cuales comienzan con el depósito de materiales pizarrosos y regresivos, los cuales comienzan con el depósito de materiales pizarrosos para culminar siempre con la sedimentación de barras arenosas o cuarcíticas.

Desde el Llandeiloense hasta el Devónico Superior se suceden diversas etapas de intensa actividad volcánica, las cuales alcanzan su máximo desarrollo durante el Silúrico y el Devónico. Es frecuente encontrarse, en los materiales pertenecientes a esta edad, como volcánicos, emisiones de lavas interestratificadas, «sills» y depósitos de tobas.

En relación con este vulcanismo, de carácter básico, se produjo la mineralización de mercurio de esta zona.

Durante el Devónico Medio existe una interrupción en la sedimentación que ha sido localizada en esta zona en base a criterios paleontológicos.

Posteriormente a la sedimentación de todos estos materiales se produce la intrusión de las diabasas y rocas con afinidad lamprofídica. En lo referente a las rocas calco-alcalinas es difícil precisar el momento de su intrusión, pudiendo únicamente afirmarse que éstas llegan a cortar a los materiales ordovícicos (Llandoveryense-Llandeiloense).

El siguiente acontecimiento geológico corresponde a la deformación hercínica, durante la cual se plegó todo este conjunto de rocas anteriormente citadas. Esta orogenia comenzó con la Fase 1, la cual es la más importante y desarrolla la única esquistosidad generalizada en toda la zona (S₁).

Esta deformación, como se ha indicado en el capítulo anterior, tuvo lugar entre el Namuriense A Superior (en base a datos paleontológicos obtenidos fuera del ámbito de esta Hoja, MIRA LOPEZ *et al.*, in lit.) y el

Westfaliense Superior, edad obtenida en base a la datación radiométrica de la Granodiorita de Fontanosas (SAUPE, 1973).

Con posterioridad a esta fase de deformación se produjo la intrusión de la granodiorita de Fontanosas y tuvo lugar la segunda fase de deformación, sin que se puedan precisar las relaciones temporales de estos procesos. De todas maneras, datos obtenidos fuera del ámbito de la Hoja (MIRA LOPEZ *et al.*, in lit.) podrían indicar que la intrusión de la granodiorita fue algo anterior a la segunda fase de deformación.

Los primeros materiales postectónicos que aparecen en esta Hoja fueron atribuidos al Carbonífero Superior.

A partir del Carbonífero Superior no existen evidencias de ningún acontecimiento geológico, hasta el Plioceno Superior, durante el cual se produce un levantamiento que dio lugar a un ciclo erosivo en condiciones áridas que origina el depósito de las «rañas». Este proceso vuelve a producirse durante el Pleistoceno, depositándose materiales característicos de glaciares de erosión.

Durante el Holoceno, y debido a un nuevo levantamiento, tiene lugar el encajamiento de la red fluvial, quedando constituida la morfología actual.

6. GEOLOGIA ECONOMICA

6.1. MINERIA Y CANTERAS

En la Hoja de Almadén se han explotado yacimientos de cinabrio y mercurio nativo, y de galena argentífera, habiéndose buscado además estibina.

Para los minerales de mercurio, Almadén es el mayor productor del mundo, existiendo explotaciones anteriores a los romanos. En total deben haberse extraído del orden de 8.000.000 de frascos, lo que supone un tercio de la producción mundial. El mineral se ha extraído, principalmente, de Almadén (7,5 millones de frascos), Vieja Concepción y Nueva Concepción (Almadenejos, 400.000 frascos), Las Minetas de Valdeazogues y El Entredicho (km. 17 de la carretera de Almadén-Ciudad Real, 50.000 frascos) y Las Cuevas (producción desconocida, pero no superior a los 40.000 frascos, km. 7,5 de la carretera de Almadén a Saceruela). Registros más o menos importantes, existen en Guadalperal ($x = 508.800$, $y = 464.400$), Pilar de la Legua, Cerro del Aguila, etc.

La producción media de Almadén en los últimos tiempos es de 50.000 frascos por año, que se obtiene de la explotación de tres bancos mineralizados (llamados de muro a techo S. Pedro, S. Francisco y S. Nicolás) en la cuarcita del Criadero, que se encuentra en posición subvertical. La explotación actual se efectúa en cámaras ascendentes con relleno, encontrándose a 550 m. de profundidad.

De todas las minas, la de Almadén es la única que sigue en actividad, si bien el descenso de las leyes en los últimos veinte años (actual-

mente es del 1,5 por 100) hace prever el fin del yacimiento en las próximas décadas. Sin embargo, en 1975 el Servicio Geológico de Almadén descubrió en El Entredicho la que hoy día constituye la mayor reserva de cinabrio del mundo, lo que permite asegurar el futuro de la producción de mercurio. El nuevo yacimiento es explotable a cielo abierto, desviando el río Valdeazogues y la carretera Almadén-Ciudad Real.

Las explotaciones de plomo nunca han alcanzado gran importancia; la mayor de todas, la mina del Quinto del Hierro ($x = 507.600$, $y = 460.200$) también fue conocida por los romanos, aunque la explotación principal se realizó el siglo pasado, habiéndose llegado a los 200 m. de profundidad. El filón, por los papeles antiguos, parece tener unos 8 cm. de potencia reducida. Otras explotaciones han sido el Quinto del Mesto ($x = 504.800$, $y = 461.500$), La Fidela ($x = 503.850$, $y = 468.000$), El Contadero ($x = 504.100$, $y = 470.800$), Cobatillas ($x = 524.200$, $y = 452.800$).

De antimonio sólo se conocen indicios en unas calicatas en las cercanías de Las Navas.

Dentro del capítulo de canteras hay que mencionar únicamente la antigua explotación de los niveles carbonatados del Ashgill y del Devónico para obtener cal. Algunos niveles de Criadero y Canteras han sido utilizados como fuente de material de construcción en Almadén, Almadenejos y Gargantiel.

6.2. HIDROGEOLOGIA

El interés hidrogeológico de la Hoja de Almadén es escaso. Los únicos acuíferos existentes, de reducida importancia, son los niveles cuarcíticos, cuando están fracturados, y los coluviones de mayor espesor.

7. BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR TOMAS, M. J. (1972). «Estudio petrográfico de la zona de Las Cuevas (Almadén). CGS. Inédito. 57 pp.
- (1973). «Estudio petrográfico de la zona de Las Cuevas (Almadén)». Sondeos C-1 a C-8. CGS. Inédito. 49 pp.
- (1974). «Estudio petrográfico de la zona de Las Cuevas (Almadén)». «Sondeos C-9 y C-10. CGS. Inédito. 15 pp.
- (1975). «Estudio petrográfico de muestras procedentes de los sondeos ME-15, ME-18, NC-2 y C-13». CGS. Inédito. 23 pp.
- ALMELA, A. (1959). «Esquema geológico de la zona de Almadén (Ciudad Real)». *Bol. Inst. Geol. y Min. de España*, tomo 70, pp. 315-330.
- ALMELA, A.; FEBREL, T. (1960). «La roca fraileasca de Almadén. Un episodio tobáceo en una formación basáltica del Siluriano Superior». *Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España*, núm. 59, pp. 41-72.
- ALMELA, A.; ALVARADO, M.; COMA, C.; FELGUEROSO, C., y QUINTE-

- RO, I. (1961). «Manchas carboníferas en la provincia de Ciudad Real». *Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España*, núm. 64, pp. 197-212.
- ALMELA, A.; ALVARADO, M.; COMA, J., y FELGUEROSO, C. (1962). «Estudio geológico de la región de Almadén». *Bol. Inst. Geol. y Min. de España*, tomo 73, pp. 193-327.
- AMOR, J. M., y ORTEGA, E. (in litt.). Memoria de la Hoja n.º 809 (Tirteafuera) del Mapa Geológico Nacional a Escala de 1:50.000, 2.ª Serie (Magna). IGME. Madrid.
- AMSTUTZ, G. C. (1967). «Spilites and spilitic rocks», en *Basalts*, ed. por H. H. Hess, A. Poldervaart y John Wiley y Sons., vol. II, pp. 737-755.
- ARBIN, P.; TAMAIN, G. (1973). «Les chevauchements intra-alcudienses de la Ribera del Riofrío, Valdemanco del Esteras, et de l'Arroyo de Tamujar, Cabezarrubias, dans le Sud de la Meseta Iberique», *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 277, pp. 1291-1294.
- ARBÉY, F., y TAMAIN, G. (1970). «Existence d'une glaciation siluro-ordovicienne en Sierra Morena (Espagne)». *C. R. Acad. Sc. Paris*, tomo 272, pp. 1721-1723.
- ARNOLD, M.; MAUCHER, A.; SAUPE, F. (1971). «Diagenetic pyrite and associated sulphides at the Almaden Mercury Mine (Spain)». *Ores in sediments. VIII Int. Sedimentological Congress Heidelberg. Int. Union of Geological Sciences*, pp. 7-19.
- BASTIDA, F. (1981). «La esquistosidad primaria: una síntesis sobre las características y desarrollo». *Trab. Geol. Univ. Oviedo*, tomo 11, pp. 35-54.
- BLANCHERE, H. (1978). «Etude Géologique et Minière de la région de Chillón, El Borracho (Synclinal d'Almadén). Ciudad Real, Espagne». *Tesis doctoral. Universidad de París Sud. Centre d'Orsay*.
- BORN, A. (1916). «Die Calymene tristani Stufe (Mittleres Untersilur) bei Almaden Ihre fauna, Cleidung und Vorreinigung». *Abh. Senckeb., Naturf. Geselschaft. Frankfurt*, tomo 36, vol. 3, pp. 311-358.
- BOUYX, E. (1962). «La edad de los esquistos de Alcudia». *Not. y Com. del IGME*, núm. 66, pp. 197-200.
- (1965). «Les conglomerats interstratifiés dans la serie ante-ordovicienne de la province de Ciudad Real». *C. R. Acad. Sc. Fr.*, pp. 6148-6150.
- (1966). «Repartition verticale des pistes bilobées dans l'ordovicien inferieur de la province de Ciudad Real». *C. R. Acad. Sc. Fr.*, pp. 83-88.
- (1966). «Discordance Infra-Ordovicienne et schistosité dans la vallée de l'Alcudia au sud d'Almadén (Espagne Meridionale). *C. R. Acad. Sc. Paris*, tomo 262, pp. 1201-1204.
- BOUYX, E. (1970). «Contribution a l'étude des formations anteordoviciennes de la Meseta Meridionale (Ciudad Real et Badajoz)». *Mem. Inst. Geol. y Min. de España*, tomo 73, 263 pp.
- BOUYX, E., y SAUPE, F. (1966). «Precision sur la limite Arenig Llandeilo dans le Ordovicien de Almaden (Province Ciudad Real, Espagne)». *C. R. Acad. Sc. Paris*, tomo 263, pp. 321-323.
- CALDERON ARANA, S. (1884). «Rocas eruptivas de Almadén». *An. Soc. Esp. Hist. Nat.*, vol. 13, pp. 227-258.

- (1894). «Recientes trabajos sobre el origen y formación de los depósitos de mercurio». *An. Soc. Esp. Hist.*, vol. 23, pp. 59-64.
- CALVO, F. A., y GUILLEMANY, J. M. (1974). «Estructura del mineral de mercurio en Almadén». *I Congreso Internacional del mercurio*, tomo 1, pp. 177-188. Barcelona.
- (1974). «Mineralogénesis del mineral de mercurio en Almadén». *I Congr. Intern. del mercurio*, tomo 1, pp. 189-199. Barcelona.
- CAPDEVILA, R.; MATTE, P., y PAREDES, J. (1971). «La nature du Precambrien et ses relations avec le Paleozoique dans la Sierra Moderna (Sud de l'Espagne)». *C. R. Acad. Sci. Fr.*, pp. 1359-1362.
- CARRE, D.; HENRY, J. L.; POUPON, G., y TAMAIN, G. (1970). «Les quartzites botella et leur faune trilobitique. Le probleme de la limite Llandeiliien Caradocien». *Bull. Soc. Geol. Fr.*, tomo 12, vol. 5, pp. 774-785.
- CARRERAS, F. J.; FELGUEROSO, C.; ASSENS, J., y AGUILAR, M. J. (1971): «Estudio geológico de la zona cinabrifera de Almadenejos». C. G. S. Inédito. 110 pp.
- CASIANO DE PRADO, M.; VERNEUIL, M., y BARRANDE, J. (1855). «La geologie d'Almadén, d'une partie de la Sierra Morena et des Montagnes de Toledo». *Bull. Soc. Geol. de France*, tomo XII, 86 pp.
- CIRY, G. (1936). «Contribution a l'étude geologique de la region d'Almadén». *Bol. Soc. Esp. Hist. Nat.*, vol. 36, núm. 6, pp. 293-300.
- CORTAZAR, D. de (1880). «Reseña física y geológica de la provincia de Ciudad Real». *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, tomo 7, pp. 289-329.
- COULLAUT, J. L.; VILLOTA, J., y AGUILAR, M. J. (1975). «Estudio geológico-minero de la zona norte de Gargantiel». CGS. Inédito. 91 pp.
- COULLAUT, J. L.; VILLOTA, J.; BABIANO, F., y AGUILAR, M. J. (1977). «Estudio geológico-minero de la zona Arroyo del Mimbres». CGS. Inédito, 51 pp.
- CRESPO LARA, V. (1972). «La reserva del Valle de Alcudia y su contexto geológico-minero en Sierra Morena Central». *Boletín Geológico y Minero, IGME*, tomo 88, pp. 174-180.
- CRESPO, V., y REY, J. (1971). «Contribución al estudio del Valle de Alcudia». *Bol. Geol. y Min. IGME*, tomo 82, pp. 512-515.
- CRESPO, V., y TAMAIN, G. (1971). «Mise en évidence de minéraux carbonatés interstratifiés dans l'Alcudien de la Sierra Morena Centrale (Espagne)». *C. R. Som. Ac. Sc.*, tomo 272, pp. 688-690. París.
- EZQUERRA DE BAYO, J. (1839). «Details geologiques sur Almadén». *BSGH*, vol. 10, pp. 1-107.
- FELGUEROSO, C.; SOLER, M., y AGUILAR, M. J. (1974). «Síntesis de los trabajos realizados hasta la fecha en la zona de Las Cuevas (Almadén)». CGS. Inédito, 9 pp.
- FELGUEROSO, C.; COULLAUT, J. L.; AGUILAR, M. J., y PUIGDEFABREGAS, C. (1974). «Estudio geológico-minero de la zona de Valdeazogues». CGS. Inédito, 65 pp.
- FUNETI, A., y SERPAGLI, E. (1968). «Geological remarks on Urbana Limestone and evidence for its upper Ordovician age by means of

- conodonts (Eastern Sierra Morena, South Spain)». *Bol. Soc. Geol. Inst.*, tomo 87, pp. 511-521.
- GARCIA-ALCALDE, J. L.; ARBIZU, M. A.; PARDO, M. V., y GARCIA-LOPEZ, S. (1984). «El límite Devónico-Carbonífero en el área de Guadalmez-Santa Eufemia (Provincias de Ciudad Real y Córdoba, Sierra Morena, España)». *Coms. I Congr. Esp. Geol.*, tomo 1, pp. 421-430.
- GARCIA SAN SEGUNDO, J., y LORENZO ALVAREZ, S. (In lit.). Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, Hoja 781 (Siruela). IGME. Madrid.
- GARCIA SANSEGUNDO, J. (1984). «Estudio Geológico de la Cuenca del Río Quejigal». *Minas de Almadén y Arayanes, S. A. Inédito*.
- GARCIA SANSEGUNDO, J.; LORENZO ALVAREZ, S., y ORTEGA, E. (in litt.). Memoria de la Hoja n.º 781 (Siruela) del Mapa Geológico Nacional a Escala 1:50.000, 2.ª Serie (Magna). IGME. Madrid.
- HAFENRICHTER, M. (1980). «The lower and upper boundary of the Ordovician Systems of some selected regions (Celtiberia, Eastern Sierra Morena) in Spain». Part II. *N. Jb. Geol. Paleont. Abh.*, 160-1, pp. 138-148. Stuttgart.
- HAMMAN, W. (1976). «The Ordovician of the Iberian Peninsula». A review, pp. 387-409. In Basset, M. G. (Ed.). *The Ordovician System: proceedings of a Paleontological Association Symposium*. Birmingham, 1974.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P. (1926). «Yacimientos de graptolítidos en la zona de Almadén». *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 26, pp. 435-438.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P. (1935). «Explicación del nuevo mapa geológico de España. El sistema cambriano». *Memoria del Inst. Geol. y Min. de España*, tomo 1, pp. 291-525.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P.; SIERRA Y YOLDI, A., de; MENENDEZ PUGET, L., y MATA Y MARTI, C. (1926). *Minas de Almadén. Livret-Guide du XIV Congress International de Geol.* Madrid. IGME, 107 pp.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P. (1942). «Explicación del nuevo mapa geológico de España. El sistema siluriano». *Memoria del Inst. Geol. y Min. de España*, tomo 45, núm. 1.
- HONNOREZ, J., y KIRST, P. (1975). «Submarine basaltic volcanisme: Morphometric Parameters for Discriminating Hyaloclastites from Hyalotuffs». *Bull. Volcanologique*, vol. 39, núm. 3, pp. 441-465.
- JULIVERT, M.; FONTBOTE, M.; RIBEIRO, A., y CONDE, L. E. (1972). «Memoria explicativa del mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares». IGME, 113 pp. Madrid (Escala 1:1.000.000).
- KUSS, H. (1878). «Memoire sur les mines et usines de Almaden». *Annales des Mines*, núm. 13, pp. 39-151.
- LAURET, J. M., y TAMAIN, G. (1973). «L'inflexion du Quinto del Hierro: exemple de controle tectonique d'une mineralisation filonienne en Sierra Morena». *98.ªme Congre. Nat. Soc. Sav. Saint. Eiténne*.
- LAURET, J. (1974). «Recherches geologiques et minières dans la region de Almaden-Almadenejos (Espagne)». *These présentée a l'Université de Paris-Sud (centre D'Orsay)*, pp. 1-150.

- LEUTWEIN, J.; SAUPE, F.; SONET, J., y BOUYX, E. (1970). «Première mesure geochronologique en Sierra Morena: La granodiorite de Fontanosas (Ciudad Real, Espagne)». *Geol. en Mijnbouw Nederl.*, núm. 49, pp. 297-304.
- LOTZE, F. (1945). «Zur Gliederung der Varisciden der Iberische Meseta». *Geotekt. Forsch.*, 6:78-92.
- LOTZE, F. (1966). «Das Präkambriums Spaniens». *Neves Jb. Geol. Paläont.*, 8 pp. 373-380.
- LOTZE, F. (1970). «El Cámbrico de España». *Mem. del Inst. Geol. y Min. de España*, tomo 76, pp. 1-245.
- LOZAC'H, Y., y VIDAL, M. (1976). «Etude géologique de la terminaison occidentale de la Vallée de l'Alcudia, Province de Badajoz, Espagne». *Thésé, Univ. Paris, Orsay*, 160 p.
- MAAS, R. (1963). «Geologesche Beobachtungen in der ostlichen Extremadura (Spain)». *Neves Jb. Geol. Paläont.*, 117, pp. 185-207.
- MALLADA, L. (1927). «Explicación del mapa geológico de España. Sistemas Devoniano y Carbonífero». *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España. IGME*, tomo 3, pp. 82-84.
- MARTINEZ RIUS, A. (1980). «Estudio geométrico de pliegues cónicos y su aplicación a la terminación occidental del Sinclinal de Guadalajara». *Mem. Inst. Geol. Min. España* (in litt.).
- MAUCHER, A., y SAUPE, F. (1967). «Sedimentärer pyrit aus der zinnerberlagerstätte Almadén». *Mineralium deposita*, 2, pp. 312-317.
- MIRA LOPEZ, M.; ORTEGA GIRONES, E., y RODRIGUEZ PEVIDA, L. (in litt.) (a). Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, hoja 833 (Hinojosa del Duque). *IGME*, Madrid.
- MIRA LOPEZ, M.; ORTEGA GIRONES, E., y RODRIGUEZ PEVIDA, L. (in litt.) (b). Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, hoja 834 (San Benito). *IGME*, Madrid.
- MITROFANOV y TIMOFEIEV (1977). «En San José, M. A. (1982). El complejo Sedimentario pelítico-grauwáquico», en *Vol. Jubilar, J. M. Ríos*., p. 98.
- MOLINA, J. M., y FERNANDEZ CARRASCO, J. (in litt.). Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, hoja 782 (Valdemanco del Esteras). *IGME*, Madrid.
- MONTOUCHET, M. (1943) «Contribution a l'étude de la faune des schistes a calymenes de la région d'Almadén». *DES*, Université de Paris, pp. 1-50.
- MORENO SERRANO, F. (1974). «Las formaciones anteordovícicas del anticlinal de Valdelacasa». *Bol. Geol. y Min., IGME*, tomo 85, pp. 396-400.
- MORENO SERRANO, F. (1975). «Olistostromas, fangoconglomerados y "Slump folds". Distribución de facies en las series de tránsito Precámbrico-Cámbrico en el anticlinal de Valdelacasa». *Estudios Geológicos. Instituto Lucas Mallada, CSIC (España)*, vol. 31, pp. 249-260.
- (1977). «Estudio geológico de los Montes de Toledo Occidentales». *Tesis Univ. Complutense*. Madrid, 187 pp.
- (1977). «Tectónica y sedimentación de las series de tránsito (Pre-

- cámbrico terminal) entre el anticlinal de Valdelacasa y el valle de Alcudia. Ausencia del Cámbrico». *Studia Geologica*, vol. 12, pp. 123-136.
- MORENO, F.; VEGAS, R., y MARCOS, A. (1976). «Sobre la edad de las eries ordovícicas y cámbricas relacionadas con la discordancia sárdica en el anticlinal de Valdelacasa». *Breviora Geol. Astúrica*, tomo 20, pp. 8-16.
- MULLER, W. (1929). «Die fauna der Frasn-Stufe bei Almadén (Sierra Morena, Spanien)». *Abh. Senck. Naturf. Ges.*, 41(5):243-282.
- ORTEGA, E., y SANCHEZ VIZCAINO, J. (in litt.). Memoria de la Hoja n.º 783 (Abenójar) del Mapa Geológico Nacional a Escala 1:50.000, 2.ª Serie (Magna). IGME. Madrid.
- OUTRACH, A.; TAMAIN, G. (1970). «Tectonique en Sierra Morena». *C. R. Acad. Sc. Paris*, tomo 270, pp. 2634-2636.
- PARGA, J. R. (1971). «Sobre el límite inferior del Cámbrico y existencia de Eocámbrico en el Macizo Hespérico». *Bol. Geol. y Min. IGME*, tomo 82, pp. 234-238.
- PARDO, M. V. (1983). «Biostratigrafía del Devónico de Almadén». *Tesis de Licenciatura. Universidad de Oviedo*.
- PARDO, M. V., y GARCIA-ALCALDE, J. L. (1984, a). «El Devónico de la región de Almadén (Ciudad Real), España». *Coms. I. Congr. Esp. Geol.*, tomo 1:473-482.
- PARDO, M. V., y GARCIA-ALCALDE, J. L. (1984, b). «Biostratigrafía del Devónico de la región de Almadén (Ciudad Real, España)». *Trabajos de Geología*, tomo 14, Universidad de Oviedo.
- PRADO, C. del (1885). «Sur de la geologie de Almadén, de una partie de la Sierra Morena et des Monts de Toledo». *Boletín Sociedad Geológica de Francia*, tomo 12, vol. 1, pp. 132-204.
- PUIGDEFABREGAS, C. (1974). «Estudio de las relaciones entre paleocorrientes y direcciones de mineralización de la Mina de Almadén». CGS. Inédito.
- (1975). «Estudio de paleocorrientes en la cuarcita del criadero. Zona de Valdeazogues y Almadenejos», CGS. Inédito, 8 pp.
- (1981). «Estudio paleogeográfico del precámbrico de la región de Almadén». *Minas de Almadén*. Inédito.
- PUSCHMANN, H. (1967). «Zum problem der schichtlücken im Devom der Sierra Morena (Spanien)». *Geologische Rundschau*, 56, pp. 528-524.
- RAMSAY, J. G. (1967). «Folding and Fracturing of Rocks». *McGraw-Hill co.*, 1 vol. 568 p. New York.
- RICHTER, P. (1967). «Stratigraphie und tektonik in der "Sierra de San Andrés", (östliche Sierra Morena, Spanien)». *Munster Forsch. Geol. Paläont.*, 3, 144 p.
- RIOS, L. y RIOS, S. (1974). «Nota sobre la estructura tectónica del Paleozoico al sur de Despeñaperros, provincia de Jaén», *Bol. Geol. y Min. IGME*, tomo 85, pp. 525-527.
- RIOS, L. M., y ORCHE, E. (1975). «Investigación geológica de la zona

- Guadalmez-Alamillo». *Cátedra de Geología de la ETS. Ing. de Minas*. Madrid. Inédito, 81 pp.
- ROIZ, J. M. (1979). «La estructura y la sedimentación hercínica, en especial el Precámbrico superior, en la región de Ciudad Real-Puerto llano». *Tesis doctoral, Univ. Complutense de Madrid*.
- SAN JOSE LANCH, PELAEZ PRUNEDA, VILAS MINONDO y HERRAZ ARAUJO (1974). «Las series ordovícicas y preordovícicas del sector central de los Montes de Toledo». *Bol. Geol. y Min. IGME*, tomo 85, pp. 21-31.
- SAN MIGUEL ARRIBAS, A. y MONTOTO, M. (1974). «Observaciones texturales sobre las cuarcitas del Criadero (Almadén) en relación con las mineralizaciones de cinabrio». *I Congreso Internacional del Mercurio*, tomo 1, pp. 171-175. Barcelona.
- SAUPE, F. (1967). «Note preliminaire concernant la genese du gisement de mercure d'Almadén». *Mineralium deposita*, 2, pp. 26-33.
- SAUPE, F. (1971). «La serie ordovicienne et silurienne d'Almaden (province de Ciudad Real, Espagne). Point des connaissances actuelles». *Mem. BRGM*, núm. 73, pp. 335-365.
- (1971). «Stratigraphie et petrographie du quarzite du criadero (Valentien) a Almaden (province de Ciudad Real, Espagne)». *Mem. du BRGM*, núm. 73, pp. 139-147.
- (1973). «La geologie du gisement de mercure d'Almaden». *Sciences de la Terre. ENSG*. Nancy, pp. 1-343.
- SAUPE, F.; DUNOYER, H., y TEICHMULLER, M. (1977). «Etude du Métamorphisme regional dans la zona d'Almadén (Province de Ciudad Real, Espagne)». *Sci. de la Terre*, tomo XXI, núm. 3, pp. 251-269.
- SOLDEVILA, J. (1982). «Estudio geológico-estructural de la terminación occidental del Sinclinal de Almadén». *Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Barcelona*.
- SOLER SAMPERE, M. (1973). «Estudio estructural de la zona de Las Cuevas». *CGS*. Inédito, 19 pp.
- SOLER, M.; FELGUEROSO, C., y AGUILAR, M. J. (1975). «Ejemplo de aplicación de las técnicas petrográficas y microtectónicas a la geología minera. El yacimiento de mercurio de Las Cuevas (Almadén)». *Jornadas Minero-Metalúrgicas*. Bilbao, tomo 2, pp. 313-330.
- TALENS, J., y MELENDEZ, F. (1972). «Anticlinorio de cueva del hierro. El Pérmico del Barranco de la Hoz, este de Mesegosa (Serranía de Cuenca)». *Estudios Geológicos*, vol. 28, pp. 137-142.
- TAMAIN, G. (1972). «Recherches géologiques et minières en Sierra Morena Orientale (Espagne)». *These présentée a l'Université de Paris-Sud (centre d'Orsay)*, tomos I, II y III, 648 pp.
- TAMAIN, G.; OUTRACH, A.; CARRE, O.; HELOIR, J. P.; PERAN, M., y POUPON, G. (1969). «L'Ordovicien de la Sierra Morena Orientale (Espagne)». *C. R. 94.² Congres. Nat. Soc. Sav. Pau.*, tomo 2, pp. 275-292.
- TAZIEFF, H. (1974). «Los volcanes y la deriva de los continentes». *Nueva Colección Labor*. Ed. Labor, S. A., núm. 172, 119 pp.
- TRIGUERO, E. M. (1961). «Estratigrafía del Paleozoico en la región del río

- Guadalmez. Aportación a la geología de Sierra Morena en parte N. Pedroches». *Estudios Geológicos*, vol. 17, pp. 187-201.
- (1963). «Nueva división del Silúrico en la región de Almadén». *Not. y Com. IGME*, pp. 199-218.
- VEGAS, R. (1971). «Precisiones sobre Cámbrico del centro y sur de España. El problema de la existencia de Cámbrico en el Valle de Alcudia y en las Sierras de Cáceres y N de Badajoz». *Estudios Geológicos*, vol. 27, pp. 419-425.
- VERGES, J. (1984). «Estudio del complejo vulcano-sedimentario del Devónico Superior y de la estructura de la terminación oriental del sinclinal de Almadén (Ciudad Real). *Libro Jubilar J. M.º Ríos*, 3 (Contribuciones sobre temas generales). IGME.
- VERNEUIL, E., y BARRANDE, J. (1855). «Description des fossiles trouves dans les terrains siluriens et devoniens d'Almaden, d'une partie de la Sierra Morena, et des Montagnes de Toledo». *Bull. Soc. Geol. Fr.*, tomo 12, pp. 964-1025.
- WAGNER, R. H., y UTTING, J. (1967). «Sur le terrain Houiller de Puerto-llano (Province de Ciudad Real, Espagne)». *C. R. Acad. Sci. France*, 264, pp. 5-8.

INSTITUTO GEOLOGICO
Y MINERO DE ESPAÑA
RIOS ROSAS. 23 - MADRID-3



SERVICIO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA