

MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

E. 1:50.000

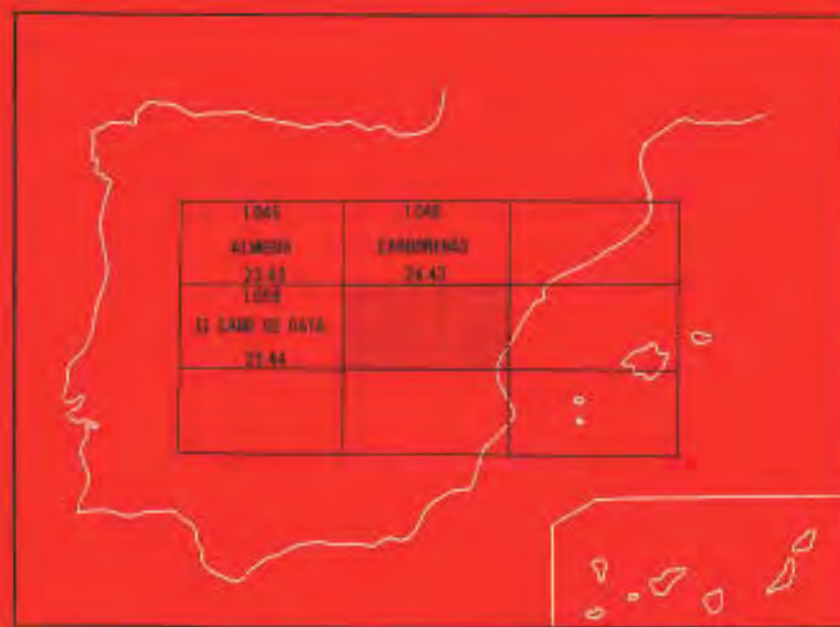
EL POZO DE LOS FRAILES

Segunda serie-Primera edición



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

1:50.000 (1:250.000)



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA
E. 1:50.000

EL POZO DE LOS FRAILES

Segunda serie - Primera edición

SERVICIO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

La presente Hoja y Memoria han sido realizadas por IBERGESA durante el año 1.981, bajo normas, dirección y supervisión del IGME, habiendo intervenido en la misma los siguientes técnicos superiores:

Cartografía y redacción de la Memoria:

Antonio Pineda Velasco, Licenciado en Ciencias Geológicas. IBERGESA; José Luis Goy Goy y Caridad Zazo Cardeña, Drs. en C. Geológicas (Cuaternario). Universidad Complutense de Madrid; José Giner Sánchez, Dr. en C. Geológicas (Terciario). Universidad de Barcelona.

Sedimentología:

Cristino Dabrio Martín (detriticos). Universidad de Granada y José Giner Sánchez (carbonatos), Drs. en Ciencias Geológicas.

Asesoría del Terciario:

Mateo Esteban Cerdá, Doctor en C. Geológicas. Instituto "Jaume Almera" C.S.I.C. Barcelona.

Micropaleontología:

Luis Granados Granados, Dr. en Ciencias Geológicas

Petrografía ígnea y metamórfica:

Antonio Pérez Rojas, Ldo. en C. Geológicas. IBERGESA.

Asesoría y colaboración: José Baena Pérez, Ldo. en C. Geológicas. (ENADIMSA).

Dirección y Supervisión del IGME: Pedro Ruiz Reig.

Supervisión estudios petrográficos: Casilda Ruiz García.

INFORMACION COMPLEMENTARIA

Se pone en conocimiento del lector que en el Instituto Geológico y Minero de España existe para su consulta, una documentación complementaria constituida por:

- Muestras y sus correspondientes preparaciones.
- Album fotográfico.
- Mapa de situación de muestras.
- Informes petrológicos.
- Análisis químicos.
- Fichas bibliográficas.

Servicio de Publicaciones - Doctor Fleming, 7 - Madrid-16

Depósito Legal: M-35.075-1.983

Tirada: Gráficas JAPETA Humanes (Madrid)

INDICE

	<u>Páginas</u>
0. Introducción	5
1. Estratigrafía	6
1.1. Las Rocas volcánicas neógenas	6
1.1.1. Posición estratigráfica y edad del volcanismo . . .	6
1.1.2. Las sucesiones volcánicas	7
1.1.3. Intercalaciones sedimentarias en las formaciones volcánicas (20)	9
1.2. La Cobertera sedimentaria neógena.	10
1.2.1. Messiniense (21)	10
1.2.2. Plioceno II: Calcarenitas, conglomerados y arenas de cuarzo (22)	10
1.3. Cuaternario	11
1.3.1. Introducción	11
1.3.2. Descripción de los materiales.	12
2. Tectónica	13
3. Geomorfología	14
4. Historia geológica	17

	<u>Páginas</u>
5. Petrología	18
5.1. Petrografía de las rocas volcánicas.	18
5.1.1. Rocas volcánicas calcoalcalinas.	18
5.1.1.1. Andesitas anfibólicas (1)	18
5.1.1.2. Brechas piroclásticas de andesita anfibólica (2)	19
5.1.1.3. Andesitas piroxénicas (6)	19
5.1.1.4. Brechas piroclásticas de andesita piroxénica (10)	20
5.1.1.5. Brechas piroclásticas poligénicas (5)	20
5.1.1.6. Tobas finas y tobas de lapilli de andesita pi- roxénica (12)	20
5.1.1.7. Tobas dacítico-riolíticas (4)	21
5.1.1.8. Dacitas y andesitas anfibólico-biotíticas (13)	21
5.1.1.9. Rocas volcánicas calcoalcalinas con altera- ción endógena (7, 9, 11, 8)	22
5.1.2. Rocas volcánicas calcoalcalinas ? con alteración endógena	23
5.1.2.1. Dacitas biotítico-anfibólicas rojo-violáceas (15)	23
5.1.2.2. Tobas de lapilli dacítico (biotítico-anfibólico) (18)	24
5.1.2.3. Tobas finas dacíticas (16)	24
5.1.2.4. Dacitas biotíticas (17)	24
5.1.2.5. Diques dacíticos (14)	25
5.2. Geoquímica	25
5.3. Petrogénesis	25
6. Geología económica	26
6.1. Minería metálica y metalogenia	26
6.2. Silicatos industriales: Bentonitas	28
6.3. Rocas industriales y canteras	28
6.4. Hidrogeología.	29
6.5. Recursos geotérmicos.	29
7. Bibliografía	30

0. INTRODUCCION

Geográficamente, la Hoja de Pozo de los Frailes se sitúa en el SE de Andalucía, abarcando parte de la costa oriental de Almería y quedando comprendida en su totalidad en esta provincia.

El clima es de características subdesérticas en cuanto al volumen anual de lluvias; sin embargo, la oscilación estacional de las temperaturas es, a causa de la proximidad del mar, poco marcada.

La actividad económica es de escasa importancia. Quizá la más fundamental se localiza en la costa, con algún pequeño núcleo turístico o pesquero. En la zona de la sierra subsiste una ganadería cabrera y la agricultura comienza a cobrar importancia en la depresión del NO de la Hoja.

Los núcleos urbanos de cierta importancia son casi inexistentes. El asentamiento humano suele verificarse de forma diseminada en "cortijos" muchos deshabitados hoy día y "caseríos", siempre con muy baja densidad de población. Modernamente están surgiendo modestas agrupaciones urbanas de origen turístico.

La red de comunicaciones es, asimismo, muy escasa, limitándose a la carretera local de Almería a San José y alguna derivación. En la actualidad se está construyendo una nueva carretera totalmente costera.

Desde el punto de vista morfológico, la Hoja comprende una cadena montañosa costera (la Sierra del Cabo de Gata) y una depresión más al interior (parte NO de la Hoja). La sierra ocupa la mayor parte de la extensión de

la Hoja y es de escasas altitudes (menos de 500 m.), aunque de abrupto relieve.

Geológicamente, la Hoja se ubica en la Zona Interna de las Cordilleras Béticas, caracterizada además por las particularidades paleogeográficas de las distintas series, por la existencia del Trías con metamorfismo alpino y por estar el zócalo pre-triásico plenamente involucrado en la tectónica de mantos de corrimiento. En la parte oriental de las Cordilleras Béticas, dicha Zona Interna se encuentra bastante recubierta por sedimentos post-mantos neógenos, además de presentar en exclusiva la existencia de un volcanismo —también post-mantos y neógeno— desarrollado fundamentalmente en el área costera comprendida entre el Cabo de Gata (Almería) y el de Palos (Murcia). La tectónica reciente a actual es asimismo, en estas áreas, muy notable así como, lógicamente, la sismicidad.

La geología de la Hoja de Pozo de los Frailes participa plenamente de las características descritas, aunque no afloran los materiales béticos. Por el contrario, los materiales volcánicos están muy bien representados, constituyendo la Sierra del Cabo de Gata. Los sedimentos terciarios y cuaternarios adquieren su máximo desarrollo en la depresión del ángulo NO de la Hoja.

1. ESTRATIGRAFIA

1.1. LAS ROCAS VOLCANICAS NEOGENAS

Como se ha indicado, constituyen la Sierra del Cabo de Gata. En este apartado se analizarán únicamente sus aspectos estratigráficos dejando para el apartado de Petrología la descripción detallada de los tipos rocosos. Como trabajos recientes sobre ellas destacan los, fundamentalmente cartográficos, de Leal y Sierra (1.970) y los, también petrográficos, de Fúster, Aguilar y García (1.965) y de Páez y Sánchez (1.965). Como más antiguos y genéricos los de Calderón (1.882) y Osann (1.889-1.891) de índole petrográfico.

1.1.1. Posición estratigráfica y edad del volcanismo

Las rocas volcánicas neógenas, en el ámbito de la Hoja, aparecen orladas y recubiertas por formaciones posteriores, sobre todo cuaternarias. Se desconocen los materiales sobre los que se ha efectuado la deposición de los materiales volcánicos. Por comparación con las vecinas Hojas puede haber sido sobre materiales tortonienses o directa y discordantemente encima del Bético. El techo de la formación volcánica viene nítidamente marcado, sobre todo en la Hoja de Carboneras, por la discordancia basal del Messiniense.

En cuanto a la edad del volcanismo, ya de antiguo las formaciones volcánicas del Cabo de Gata han sido referidas como postorogénicas, y neógenas por tanto, en el ámbito de las Cordilleras Béticas.

El principal intento de datación en base a argumentos micropaleontológicos corrió a cargo de Saavedra (1.966), quien trabajó sobre las intercalaciones sedimentarias en el volcánico, sobre todo del área de Pozo de los Frailes. Sus resultados indicaban edades comprendidas entre el Burdigaliense y Tortoniense. Posteriormente, nuevas dataciones de diferentes autores (Perconig, 1.969; Granados, documentación complementaria de esta Hoja) han contestado indirectamente aquéllas, indicando solo edades de Mioceno y Mioceno Superior.

Dataciones absolutas (método K-Ar) han sido efectuadas más recientemente (Bellon, 1.976; Bellon y Brousse, 1.977), sobre los materiales estrictamente calcoalcalinos del área. Estas indican edades comprendidas entre los 15,7 y 8,0 M.A., correspondiendo respectivamente (Vass y Bagdasarjan, 1.978) al Serravaliense y al límite Tortoniense-Messiniense.

1.1.2. Las sucesiones volcánicas

En la parte NE de la zona emergida de la Hoja, el trabajo de Fúster, Aguilar y García (1.965) —el primero de todos los efectuados contemporáneamente sobre el volcanismo de Cabo de Gata— establece la siguiente sucesión de ciclos volcánicos (de más antiguo a más moderno):

- 1º Aglomerados andesíticos piroxénico-anfibólicos (“aglomerados viejos” de dichos autores).
- 2º Materiales andesíticos anfibólicos (coladas masivas, aglomerados, aglomerados tobáceos, etc.).
- 3º Materiales andesíticos piroxénicos (coladas y rocas masivas, conglomerados volcánicos, tobas).
- 4º Materiales de composición dacítica (tobas y “piperno” blanquecinos basales y dacitas rojo-violáceas superiores), discordantes sobre ciclos inferiores.

Los citados autores presentan esta sucesión avalada por dataciones micropaleontológicas en delgadas intercalaciones sedimentarias presentes entre cada uno de los conjuntos definidos. Aunque dichas dataciones han sido posteriormente objetadas (Perconig, 1.969), la sucesión para los diversos conjuntos volcánicos, dispuestos subhorizontalmente, es, en líneas generales, indudable para el área considerada (cerro del Garbanzal-cerro de los Frailes).

Los autores de la presente Hoja únicamente discrepan en la posición estratigráfica de las tobas y “piperno” del conjunto 4º. Efectivamente, estos

materiales se encuentran bajo las dacitas rojo-violáceas pero más que como términos basales como discordadas por ellas pues en los alrededores de las Prasillas Bajas puede verse como —aparentemente de forma concordante— son recubiertas por andesitas anfibólicas (y aglomerados de idéntica composición) de este 2º ciclo.

En la parte meridional de la zona emergida de la Hoja, dominan potentes formaciones de materiales andesítico piroxénicos (con importantes alteraciones de las que se hablará más adelante), volcanoestratigráficamente perfectamente correlacionables con materiales de idéntica composición del área de los Frailes (ciclo 3º de Fúster et al., 1.965). Presentan intercalaciones de tobas claras dacíticas visibles sobre todo entre el Cabo de Gata y el cerro de Vela Blanca, y en el área del Morrón y playa de Los Genoveses, hecho ya notado por Páez y Sánchez Soria (1.965). Este conjunto se encuentra atravesado por pitones y diques de dacitas rojizas generalmente de dirección NNO y en el mismo Cabo de Gata por un pitón de dacitas anfibólico-biotíticas.

La presencia de intercalaciones de tobas (y "piperno") ácidas a la base del conjunto 2º (andesítico-anfibólico) y en el 3º (andesítico-piroxénico) quita carácter de exclusividad petrológico-temporal a estos ciclos; la individualización de los aglomerados viejos parecería incluso no necesaria, máxime teniendo en cuenta su composición petrográfica (aglomerados andesíticos piroxénico-anfibólicos). Cabría mejor agrupar los tres primeros ciclos —su relativa concordancia avalaría esta iniciativa— en un único conjunto volcánico inferior que sería volcanoestratigráfica y litológicamente correlacionable con el también inferior definido en la vecina Hoja de Carboneras.

Las dacitas rojo-violáceas del ciclo 4º de Fúster et al. (1.965), quedan perfectamente individualizadas, tanto por su composición como, sobre todo, por la discordancia con que se sitúan sobre diversos materiales del conjunto inferior. Pasan cartográficamente a la vecina Hoja de Carboneras donde presentan idénticos caracteres, si bien en Rodalquilar presentan una fuerte alteración, ausente en la Hoja de Pozo de los Frailes. En ésta, a diferencia de la de Carboneras son acompañadas por variedades biotíticas y tobas, materiales siempre de color rojizo.

Resumiendo, para la Hoja de Pozo de los Frailes la sucesiones volcánicas serían, de muro a techo, las siguientes:

1. Conjunto de andesitas anfibólicas, andesitas piroxénicas y tobas dacíticas, las dos primeras en facies variadas (masiva, "aglomerática" —brechas piroclásticas—, tobáceas, poligénicas, etc.) (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13).
2. Discordante sobre 1, o atravesándolo, dacitas rojo-violáceas, con formaciones tobáceas rojizas acompañantes (14, 15, 16, 17 y 18).

El conjunto volcánico 1 es equivalente al también definido como 1 en la vecina Hoja de Carboneras y sería íntegramente calcoalcalino (ver apartado de Geoquímica). El 2 pasa cartográficamente a la Hoja citada (donde fue denominado como 3), y no hay seguridades que sea alcalino dada la falta de análisis en él, así como su relativa semejanza petrográfica con materiales calcoalcalinos potásicos en la Hoja de Carboneras. El Pitón dacítico anfibólico-biotítico del Cabo de Gata, queda en posición estratigráfica imprecisa; puede representar un simple conducto de emisión del conjunto 1 o quizá un volcanismo, también calcoalcalino intermedio entre 1 y 2 (el carácter "biotítico" quizá avalaría esta segunda hipótesis), más o menos correlacionable entonces con el 2 definido en la Hoja de Carboneras.

En cuanto al ambiente deposicional de las formaciones volcánicas, el hecho de que tanto las intercalaciones sedimentarias con fósiles marinos como la presencia de microfauna en tobas se presenten en el conjunto volcánico 1, puede indicar que la deposición de éste ha podido ser en gran parte submarina. Para la formación dacítica posterior, la existencia de una discordancia a su base puede indicar un mayor predominio de ambiente deposicional subaéreo. Esta posible evolución podría ser debida bien a la acumulación relativamente rápida de material volcánico sobre el fondo marino, que culminaría rebasando el nivel del agua y creando relieves insulares, o bien a un movimiento epirogénico positivo concomitante con el desarrollo del volcanismo, y efecto quizá de la tectónica distensiva que parece imperar en esa época y en esta parte de las Cordilleras Béticas.

1.1.3. Intercalaciones sedimentarias en las formaciones volcánicas (20)

Se encuentran fundamentalmente en la parte NE de la zona emergida de la Hoja.

Han sido primeramente descritas y datadas —micropaleontológicamente— por Saavedra (1.966). Este autor cita, así, la presencia de un Burdigaliense, en la parte SO del Cerro de los Frailes, constituido por margas grises y calizas areniscosas; un Helveciense, orlando a media ladera el Cerro de los Frailes y también al N y NE de éste en los alrededores de Los Escullos, compuesto por calizas areniscosas; y un Tortoniense con calizas margosas brechoides en facies arrecifal, calizas blanquecinas y calizas oolíticas, en las laderas surorientales y en la cima del Cerro del Garbanzal (las de este último punto han sido consideradas en esta Hoja como mesinienses discordantes sobre el volcánico). Estas dataciones son las que han servido a Fúster, Aguilar y García (1.965) para fijar las edades de sus cuatro ciclos volcánicos.

Posteriormente, Perconig (1.969) realiza un nuevo estudio micropaleontológico de dichos niveles, indicando que la mala calidad y la escasez de los organismos conservados solo permite asignar una edad Mioceno medio-supe-

rior a las intercalaciones, salvo alguna de las más altas estratigráficamente que puede ser datada como Andaluciense. Leal y Sierra (1.970) dudan también de la exactitud de esas dataciones "que han precisado un Burdigaliense, un Helveciense y un Tortoniense, en un "aparato volcánico" de 400 m. de altura".

Estos niveles son siempre de potencia métrica, ricos en microfauna (pectínidos, briozoos, etc.) y muchas veces con una proporción de material piroclástico importante. De acuerdo con Leal y Sierra (1.970), muchos son, más que intercalaciones sedimentarias, auténticas tobas fosilíferas.

Los niveles puramente sedimentarios suelen ser de calcarenitas bioclásticas (lamelibranquios, briozoos, corales, rodoficeas) y lumaquelas de moluscos. Su potencia suele oscilar entre 1 y 8 m. Al microscopio presentan procesos de dolomitización y silicificación. Su edad más probable es Tortoniense.

En cuanto al significado paleogeográfico de estas intercalaciones, para Fúster et al. (1.965), representan depósitos marinos de carácter nerítico que se presentan en ciclos completos de transgresión-regresión en períodos de inactividad volcánica subaérea. Es posible, sin embargo, que representen únicamente meras intercalaciones de mayor o menor "pureza sedimentaria" (correlacionables ciertamente con épocas de menor actividad volcánica) en un volcanismo predominantemente submarino, o quizá ya modernamente insular.

1.2. LA COBERTERA SEDIMENTARIA NEOGENA

Aunque los afloramientos correspondientes a los depósitos terciarios son muy escasos en la presente Hoja, desde el punto de vista cartográfico se han distinguido las siguientes unidades:

- Mioceno: Messiniense?.
- Plioceno (Plioceno II).

1.2.1. Messiniense (21)

En la cima del Cerro del Garbanzal se sitúa discordantemente sobre las rocas volcánicas un tramo de calizas bioclásticas blancas con abundantes lamelibranquios, briozoos y algas rojas. Se presentan bien estratificadas y tienen una potencia de unos 4-5 m. Por su posición y semejanza de facies podrían corresponder a los niveles bioclásticos de facies de talud.

1.2.2. Plioceno II: Calcarenitas, conglomerados y arenas de cuarzo (22)

Tramo formado por calcarenitas bioclásticas con abundantes granos de cuarzo y con intercalaciones de areniscas y microconglomerados cuarzosos,

asimismo presentan cantos bien redondeados de fragmentos de roca. Son de colores pardoamarillentos pero adquieren tonos blancos cuando abundan los granos de cuarzo. Abundan ostreidos, grandes lamelibranquios, bivalvos, equínidos y rodolitos. Presentan abanicos de capas originados por progradación de estas facies a partir de áreas más elevadas topográficamente.

Los conglomerados y gravas de cuarzo, están bien redondeados y clasificados y presentan intercalaciones de areniscas gruesas bien clasificadas y cementadas. Los fragmentos de rocas no son muy abundantes reconociéndose la presencia de esquistos y rocas volcánicas. La fauna es claramente marina constituida por grandes ostreidos, lamelibranquios y grandes colonias de *Balanus* (10-15 cm. de largo) que se incrustan sobre los cantos de conglomerado. También se reconocen briozoos, equínidos, "bivalvos" y algas rojas. Presentan megaestratificación cruzada correspondiente a lóbulos deposicionales de abanicos deltaicos (?) que penetran en medios marinos someros. En esta unidad son observables varias discordancias producidas por la superposición de diferentes lóbulos.

Las diferentes litofacies que pertenecen a la unidad denominada Plioceno II son los depósitos pliocénicos más recientes.

En conjunto constituyen una secuencia "Coarsening upward" en la que de base a techo se reconocen los siguientes términos: limos y arenas verdes con ostreidos y *Amussium*; calcarenitas bioclásticas con granos de cuarzo y equínidos, ostreidos, lamelibranquios, rodolitos, areniscas y conglomerados silíceos con grandes ostreidos, lamelibranquios y *Balanus*. Esta secuencia, muy generalizada en las cuencas pliocenas del SE de la península ha sido interpretada por diversos autores como depósitos deltaicos, correspondiendo los términos inferiores a los sedimentos de plataforma marina somera y los superiores a depósitos de alta energía ligados a la emersión de las sierras marginales de la cuenca. Son muy abundantes los lóbulos de conglomerado que invaden la plataforma somera, observándose grandes megaestratificaciones cruzadas (30-40 m. de alto) originadas por la progradación de dichos lóbulos deltaicos hacia el centro de la cuenca. En general, el sentido de progradación es N-S aunque pueden reconocerse otros de sentido E-O en las cercanías de la Serrata y Carboneras, (en la vecina Hoja de Carboneras).

1.3. EL CUATERNARIO

1.3.1. Introducción

La regresión del Plioceno, al igual que en la mayor parte del área mediterránea, lleva consigo la deposición de materiales de lagoon y conglomerados marinos. En las zonas más litorales el mar cubre de nuevo estos depósitos y

deja sobre ellos arenas y conglomerados fosilíferos a los que hemos dado una edad Plio-cuaternaria.

Durante el Cuaternario los materiales que se depositan son de tipo continental y están representados por abanicos aluviales y glaciares, teniendo especial importancia los depósitos de gravedad y gravedad-vertiente que se extienden al pie de los grandes relieves de la Sierra del Cabo de Gata formando extensos pie de montes.

Los afloramientos de dunas eolíticas, que aparecen en el borde oriental de esta Hoja, constituyen los depósitos de este tipo más meridionales de la Península. Su importancia desde el punto de vista cronológico es relevante ya que al menos, en el Mediterráneo español, siempre van asociadas a las terrazas marinas del ciclo Tirreniense.

Las típicas dunas de arenas cuarzosas están bien representadas en el borde meridional de la Hoja, donde las arenas rampantes cubren las vertientes de relieves de cierta importancia.

1.3.2. Descripción de los materiales

El límite Plio-Pleistoceno dada la falta de criterios precisos, dataciones absolutas y fauna característica, es muy difícil de definir. Es por ello que existen unos materiales que hemos considerado de edad plio-cuaternaria, nos referimos en concreto a las arenas y conglomerados (23) fosilíferos que afloran en el ángulo nor-occidental de la Hoja y que muy próximo a esta zona, en el Barranquete, transgreden a los conglomerados y depósitos de Lagoon que deben representar los términos finales de la regresión del Plioceno Superior.

Claramente discordantes sobre el término anterior se instala el abanico aluvial de cantos volcánicos (24) que aquí se presenta en sus facies media y proximal completamente tectonizado por lo que su morfología actual no recuerda en absoluto a la forma original.

También durante el Pleistoceno inferior se deposita el glacis de cobertera (25) de limos rosados carbonatados que a techo presentan una "dalle" compacta de tipo edáfico, ya que es posible observar en algunos perfiles la secuencia gradacional de acumulaciones de carbonatos en horizontes de masas, nódulos, hojosa, y finalmente la "dalle". En el borde oriental de la Hoja se depositan, en este momento, el abanico aluvial (26) de limos rosados y cantos volcánicos con costra detrítica a techo, en relación con los cauces más importantes.

Durante el Pleistoceno medio, teniendo en cuenta que la cronología se ha establecido a base de secuencias y procesos regionales, se desarrollan de nuevo glaciares (27, 29), abanicos aluviales (28, 30), coluvión (31) y conos de deyección (32) que en general presentan unas costras que no suelen alcanzar el esta-

dio de "dalle" y cuando el área madre es un material volcánico el encostramiento suele ser menor.

Son las dunas oolíticas (33) el término que cronológicamente posee más importancia en la zona dado que, en todo el litoral mediterráneo español, aparecen asociadas con las terrazas marinas del ciclo Tirreniense (base del Pleistoceno superior). Se trata de cordones dunares con la típica estratificación cruzada cuneiforme constituidos casi en un 100 % de oolitos, generados en la zona infralitoral con aguas más cálidas que la actual y fuertes corrientes a poca profundidad. El núcleo de los ooides está constituido por fragmentos de rocas eruptivas, talos de algas, cuarzo y extradentes de pelmicrita, la cementación de los ooides es una franja calcítica microdúscica y esparita en mosaico. La puesta "in situ" de estos materiales debió realizarse durante una bajada del nivel del mar durante el ciclo tirreniense; los ooides de la plataforma serían llevados por el viento hacia tierra depositándolos en acumulaciones dunares.

Sobre estas dunas oolíticas se depositan unos materiales correspondientes a los pie de montes (34) en la zona de Los Genoveses y San José, en todos los casos estos depósitos se presentan parcialmente encostrados, y a su vez se desarrollan en otros puntos abanicos (35, 39, 40) todos ellos en disposición escalonada, y glacis (37, 38), coluviones (36) que presentan un enriquecimiento en carbonatos.

El desarrollo de dunas rampantes (41) debe coincidir con la retirada del mar anterior a la transgresión postglacial. Todas ellas están constituidas por arenas finas a medias en cuya composición entra el cuarzo como elemento dominante.

Ya durante el Holoceno tiene lugar, como unidad estratigráfica importante, el desarrollo de pequeñas terrazas a +5 m. (45) y +3 m. (49) depositadas por las ramblas de mayor recorrido y la acumulación de arenas finas dejadas por el viento en la base de acantilados vivos, que constituyen lo que hemos denominado dunas actuales (47). Playas (51) y cordones litorales (50) se forman en las zonas de bahías.

2. TECTONICA

Se tratarán aquí todos los aspectos posteriores al emplazamiento de los mantos béticos (ocurrido en el Oligoceno superior-Mioceno inferior). Estos indudablemente forman el sustrato de las formaciones volcánicas y sedimentarias presentes en la Hoja.

Parece evidente la existencia de un período de distensión en toda la parte E de las Cordilleras Béticas posterior a la fase compresiva post-Serravalliense y

que duraría hasta principios del Cuaternario. Esta tectónica distensiva, con importantes movimientos en la vertical afectando al edificio bético, sería la responsable de las acumulaciones de sedimentos neógenos —a veces muy importantes— en cuencas determinadas, y también de la salida de materiales volcánicos. Posteriormente, y desde finales del Cuaternario antiguo, parece que impera una tectónica compresiva que generaría ocasionalmente pliegues modestos y que, fundamentalmente, se resuelve en fallas de desgarre (y en menor medida inversas) al actuar, rejugando, sobre toda la fracturación anterior (Bousquet et al., 1.976).

La importante falla de desgarre sinistral conocida con el nombre de "accidente de Carboneras" pasa, en su dirección NE-SO, a unos 3 km. del ángulo NO de la Hoja y con ella está probablemente relacionada la fracturación que en esta zona presentan las formaciones neógenas y cuaternarias. Dicha fracturación muestra tres sistemas principales de fracturación: 1) N 20-40° E; 2) N 70° E y 3) N 130° E. Los dos primeros pueden ser conjugados de la acción de desgarre del "accidente de Carboneras", quizá alguno anterior y reactivado por éste; el último sí es posible que pueda representar más bien fallas antiguas reactivadas.

Estos mismos sistemas de fracturación vuelven a encontrarse, si bien más irregularmente repartidos, en la zona volcánica. El tercero de los definidos es particularmente notorio en el Cerro de los Frailes donde provoca saltos de 25-50 m., bien patentes en las intercalaciones sedimentarias de las formaciones volcánicas, hecho ya observado por Fúster et al. (1.965).

Un sistema característico de la zona volcánica es el NNO-SSE, a favor del cual se han emplazado en muchas ocasiones, diques dacíticos.

En el Cuaternario de esta Hoja solo se observan afectados por fallas los materiales más antiguos: los conglomerados marinos del Plio-cuaternario; el glacis con cantos volcánicos; y el glacis de limos rosados con cantos "dalle" ambos del Pleistoceno inferior, aunque exclusivamente en las proximidades de la gran fractura.

Se trata en general de fallas normales y las direcciones predominantes son las N 40-45°, N 150-160° (que serían paralelas a la red de fallas de El Alquian o Almería) y N 120°. A veces es posible observar micropliegues y fallas inversas afectando a la costra "dalle".

3. GEOMORFOLOGIA

La morfología de la Hoja presenta un relieve muy acusado debido a que la mayor parte de la misma está ocupada por los materiales volcánicos de la Sierra de Cabo de Gata que la recorren en sentido SO-NE. Al pie de estos

relieves se extienden los depósitos cuaternarios que en su mayor parte corresponden a coluviones y pie de montes, ocupando los materiales marinos tan solo la zona más deprimida que se sitúa en el ángulo Nor-occidental de la misma.

Dos son los dominios morfogenéticos que podemos distinguir: Dominio marino y Dominio continental, aunque con un predominio claro de este último, no sólo en cuanto a extensión sino también en cuanto a diversidad de unidades morfológicas. Todas las unidades morfológicas debido a que poseen una serie de atributos tales como geometría y depósito característico, son elementos cartografiables.

DOMINIO MARINO

Está constituido por las unidades morfológicas: Terrazas marinas, y playa-cordón litoral.

Terrazas marinas

Están representadas en este caso únicamente por las arenas y conglomerados fosilíferos del Plio-cuaternario, han perdido su forma original plana ya que están afectadas por una tectónica muy acusada.

Playa-cordón litoral

Son también poco abundantes ya que la mayor parte del frente costero está constituido por acantilados vivos muy abruptos donde el desarrollo de los mismos es prácticamente imposible. Tan solo en las amplias calas de Los Genoveses, San José y de las Escullas estas formas están representadas.

DOMINIO CONTINENTAL

Constituido por las siguientes unidades morfológicas: Abanicos-conos aluviales, glacis, coluviones, pie de montes, terrazas fluviales y dunas.

Abanicos-conos aluviales

Aunque no muy extensos existen en la Hoja seis generaciones de abanicos aluviales que se distribuyen desde el Pleistoceno inferior hasta el Holoceno; el más antiguo (abanico de cantos volcánicos) ha perdido la morfología original debido a la tectónica que le afecta, el resto conserva la forma triangular casi perfecta y su topografía típica, perfil longitudinal cóncavo y transversal convexo.

En el ángulo oriental de la Hoja, el sistema de abanicos se presenta en disposición escalonada, mientras que en la zona nor-occidental existen los dos tipos: escalonada y superpuesta.

Los conos aluviales o de deyección, están peor representados, aunque existen dos generaciones: una del Pleistoceno medio y otro del Holoceno, en ambos casos, su forma en planta y sus perfiles longitudinal y transversal se mantienen.

Glacis

Se trata en todos los casos de glacis de cobertera, con poco desarrollo, sobre todo los más recientes. El correspondiente al Pleistoceno inferior ha perdido su forma debido a la tectónica. En general se presentan en disposición escalonada.

Coluviones y pie de montes

Constituyen las unidades morfológicas más representativas de la Hoja. Las primeras presentan muy corto recorrido y fuerte pendiente, mientras que los segundos, con gran extensión, corresponden en realidad a coluviones en orla en los que no sólo su origen se debe a la gravedad sino en parte a una esorrentía difusa, no canalizada.

Terrazas fluviales

Al no existir ningún río importante el desarrollo de las terrazas es mínimo, tan solo en la Rambla de Mojada Redonda deja escasos retazos de dos niveles, ambos holocenos, que se presentan escalonados.

Dunas

Las acumulaciones eólicas tienen relativa importancia al S de la Hoja donde las formas más generalizadas son las correspondientes a dunas rampantes, que trepan por las vertientes de los relieves y cuyas arenas, a favor de vientos dominantes, se acumulan en zonas resguardadas quedando a veces aisladas del mar.

Gran importancia en la cronología tienen las dunas oolíticas, constituidas como su nombre indica por oolitos depositadas en el mar a poca profundidad y que, en el curso de una regresión, fueron llevadas a tierra por el viento. Su aspecto es el de crestas abultadas cerrando zonas deprimidas, tienen gran desarrollo en la zona de las Escullas, Genoveses y San José.

4. HISTORIA GEOLOGICA

Tras adquirir, en el Oligoceno superior-Mioceno inferior, el edificio bético su actual estructura de mantos de corrimiento y sufrir algún esfuerzo compresivo posterior, tiene lugar una importante tectónica distensiva que provoca importantes acumulaciones de sedimentos en cuencas determinadas (graben) y que probablemente en el ámbito de la Hoja, facilita la salida de los materiales volcánicos en el Mioceno medio-superior.

Estas emisiones, que probablemente se empezaron a acumular encima de sedimentos miocenos anteriores o directamente sobre el Bético, debieron ser inicialmente submarinas, extruyéndose materiales andesíticos anfibólicos y andesíticos piroxénicos, en facies aglomeráticas o tobáceas, y dacíticos en facies exclusivamente tobácea. La rapidez de la acumulación o un epirogenismo positivo probablemente originasen relieves volcánicos insulares; la extrusión, ahora solo dacítica, se realiza sobre discordancia y en un ambiente de mayor predominio subaéreo.

La historia geológica durante el resto del Neógeno no está muy bien expuesta en el ámbito de la Hoja, a causa de la falta de afloramientos. De todas formas debe ser similar a la descrita en la vecina Hoja de Carboneras (y a ella se remite al lector interesado en el tema). La sedimentación durante todo el Messiniense y hasta finales del Plioceno superior sería marina, destacando en el primero la instalación de aparatos arrecifales sobre paleorrelieves volcánicos.

Una vez que el mar se retira, durante la regresión del Plioceno superior, el paso Plio-Pleistoceno estaría marcado por unas arenas y conglomerados muy fosilíferos correspondientes a una nueva ingesión marina, mucho más restringida, y cuyo depósito sólo aflora en el ángulo nor-occidental de la Hoja por donde el mar pudo penetrar a través de la gran depresión que ya constituía la Rambla Morales.

Es probablemente, a partir de entonces cuando cambia el régimen tectónico en todas las Béticas pasándose de una etapa distensiva a una compresiva que motiva el funcionamiento en desgarre de accidentes anteriores normales, de los cuales el de la Serrata o Carboneras, de dirección N 40-45°, es el que se refleja en esta zona.

Durante todo el Cuaternario se desarrolla un sistema de abanicos, a la salida de los cauces más importantes; y próximos a los fuertes relieves son los pie de montes los que ocupan el lugar más destacado. Las huellas de una nueva ingesión marina durante el Pleistoceno superior, sólo puede detectarse por la presencia de las dunas oolíticas que serían las representantes regresivas de una oscilación marina muy próxima al nivel actual del mar.

5. PETROLOGIA

5.1. PETROGRAFIA DE LAS ROCAS VOLCANICAS

5.1.1. Rocas volcánicas calcoalcalinas

Los aspectos petrológicos y estructurales de las litologías volcánicas de la serie calcoalcalina han sido estudiados muy en detalle por diversos autores, en el conjunto del área volcánica del Cabo de Gata (Calderón, 1.882; Osann, 1.889-91; Lodder, 1.966; Fúster, Ibarrola y Martín, 1.967; León, 1.967; Sánchez Cela, 1.968; Coello y Castañón, 1.969; Leal y Sierra, 1.970; López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1.980; Páez Carrión y Sánchez Soria, 1.965; Fúster, Aguilar y Martín, 1.965). A estos estudios se remite, en líneas generales al lector interesado en el tema.

Los términos petrológicos de esta serie varían de andesitas (o dacitas), anfibólicas a andesitas (también llamadas últimamente basaltos andesíticos) piroxénicas, con gran variedad de facies (masiva-coladas o pitones-piroclástica grosera a fina, tobácea, etc.). Existen también términos más ácidos (dacítico-riolíticos) representados exclusivamente por determinados niveles tobáceos.

En esta Hoja, las denominaciones "aglomerado" y "conglomerado volcánico" utilizadas anteriormente por varios de los autores citados para materiales piroclásticos groseros, han sido sustituidas por la más genérica de "brecha piroclástica" siguiendo las recomendaciones últimamente publicadas por la IUGS (Schmid, 1.981).

5.1.1.1. *Andesitas anfibólicas* (1)

Se encuentran mejor representadas en la parte basal del Cerro de los Frailes, donde han sido descritas por Fúster, Aguilar y García (1.965). Son uno de los materiales más característicos del área del Cabo de Gata.

Presentan textura porfídica seriada, con matriz hipocristalina que en las facies piroclásticas pasa a ser vítrea e incluso perlítica. Los fenocristales son de plagioclasas, anfíboles y piroxenos. Como minerales accesorios se encuentran apatito y minerales opacos. En las facies alteradas aparece también calcita, cuarzo, serpentinas, cloritas, alunita y feldespato potásico reemplazando parcial o totalmente tanto a los fenocristales como a la pasta.

Las plagioclasas son idiomorfas, hipidiomorfas o fragmentarias. Tienen composición próxima o superior al 50 % de anortita y presenta diminutas inclusiones vítreas de forma rectangular que se disponen concéntricamente siguiendo la zonación de los cristales. También se encuentran las plagioclasas en forma de microlitos más o menos abundantes distribuidos por la matriz vítrea.

El anfíbol es una hornblenda de color verde intenso, prismática y casi siempre idiomorfa, si bien son muy frecuentes las corrosiones de los bordes o la transformación marginal a pequeños granos de clinopiroxeno. Las inclusiones más comunes son de pequeños minerales opacos, plagioclasas, ortopiroxeno o apatito. Cuando el anfíbol presenta alteración marginal a óxidos adopta una coloración pardo oscura del tipo de la hornblenda basáltica teniendo entonces un ángulo de extinción menor que las hornblendas verdes.

El orto y el clinopiroxeno forman cristales prismáticos idiomorfos o fragmentados. El primero es en general más abundante que el segundo y suele asociarse con el anfíbol y la plagioclasa dando pequeños agregados formados por numerosos cristales.

En las facies piroclásticas, tanto en los cantos como en la matriz tobácea, puede haber fenocristales de cuarzo, casi siempre fragmentarios y también láminas biotíticas.

5.1.1.2. *Brechas piroclásticas de andesita anfibólica (2)*

Su distribución en el ámbito de la Hoja es muy similar a la de los materiales anteriores, a los que siempre suelen ir asociadas tanto espacial como temporalmente. Constituyen los "aglomerados anfibólicos" definidos por Fúster et al. (1.965).

Componen afloramientos de aspecto caótico de bloques de andesita anfibólica (de idénticos caracteres petrológicos a los de los materiales anteriormente citados), generalmente angulosos y de tamaño decimétrico, empastados en una matriz de idéntica composición y de naturaleza lávica o tobácea. Los materiales en la que ésta última es dominante (3) se han cartografiado separadamente.

De acuerdo con los autores citados, la génesis de estos materiales podría estar en una brechificación, en los conductos de emisión, de materiales homogéneos debida a su propia viscosidad y alto contenido en volátiles.

5.1.1.3. *Andesitas piroxénicas (6)*

Son otro de los materiales más característicos, y los más básicos, del área del Cabo de Gata. Sus mejores afloramientos se encuentran en la parte superior del Cerro de los Frailes donde han sido descritos por Fúster et al. (1.965). Son rocas de color negro característico.

Presentan al microscopio textura porfídica o glomeroporfídica seriada con matriz dominante que generalmente es hialopilitica o vítrea, estando además salpicada de microlitos de plagioclasa o piroxeno y granos de minerales opacos. Los fenocristales son de plagioclasas, broncita-hiperstena y augita. En menor proporción se encuentran anfíboles, casi siempre pseudomorfosea-

dos, por minerales opacos. En las facies piroclásticas se puede ver que se trata de una hornblenda verde.

Las plagioclasas tienen una composición media de An_{85} , carácter idio o hipidiomorfo, maclas de albita, karlsbad o albita-karlsbad y zonación concéntrica muy neta siguiendo la cual se disponen las inclusiones vítreas tan características de las rocas de la región de Cabo de Gata.

Los piroxenos, en forma de prismas a veces rotos y débilmente coloreados se encuentran en proporciones muy variables uno respecto al otro. El clinopiroxeno está con frecuencia maclado y ocasionalmente zonado.

5.1.1.4. *Brechas piroclásticas de andesita piroxénica* (9)

Su distribución en el ámbito de la Hoja es parecida a la de los materiales anteriores, a las que se asocian temporal y espacialmente. Han sido descritas por los autores citados antes con el nombre de "conglomerados (a veces aglomerados) piroxénicos".

Forman afloramientos de aspecto caótico de bloques de andesita piroxénica, angulares, decimétricos, empastados en una matriz de idéntica composición y de naturaleza generalmente tobácea.

Al igual que para las brechas de andesita anfibólica, y también de acuerdo con los autores citados, su génesis podría estar en una brechificación, en los conductos de emisión, de materiales homogéneos debida a la propia viscosidad y alto contenido en volátiles del magma.

5.1.1.5. *Brechas piroclásticas poligénicas* (5)

Estos materiales ocupan un área relativamente restringida. Han sido descritos por Sánchez Cela (1.968) con el nombre de "conglomerados poligénicos" en la Hoja de Carboneras. Estructuralmente son similares a los otros dos tipos de brechas descritas si bien la composición de sus cantos y bloques es tanto de andesita piroxénica como de anfibólica. Esta variedad petrológica ha sido explicada como resultado de actividad explosiva que simultáneamente a la brechificación del magma ascendente fragmentaría otras formaciones volcánicas encajantes.

5.1.1.6. *Tobas finas y tobas de lapilli de andesita piroxénica* (11)

Estos materiales se encuentran en los alrededores del Cerro de los Frailes y los Escullos, donde han sido descritos por Fúster et al., con el nombre de tobas piroxénicas.

Son materiales muchas veces bien estratificados y de tonos gris-verdosos,

con composición andesítico-piroxénica pero de estructura tobácea dominante.

Mineralógicamente no presentan diferencias con las andesitas de facies masivas o brechoides. Es decir están constituidas por plagioclasa cálcica, orto y clinopiroxeno y algo de hornblenda verde más o menos alterada a minerales opacos. Todos estos minerales se encuentran generalmente más fragmentados, principalmente los piroxenos y la matriz es más vítrea disponiéndose en ella los microlitos plagioclásicos fluidalmente.

5.1.1.7. *Tobas dacítico-riolíticas* (4)

Son materiales tobáceos de color muy claro, formados por una matriz de ceniza y de lapilli de escasa densidad y compacidad. A veces, cuando son muy vítreas, muestran estructuras perlíticas. La silicificación secundaria es siempre importante.

Estos materiales han sido descritos por Sánchez Cela (1.968) en la vecina Hoja de Carboneras y en la que nos ocupa por Páez Carrión y Sánchez Soria (1.965) y Fúster, Aguilar y García (1.965). Siempre han sido descritos intercalados entre materiales típicamente calcoalcalinos (andesitas piroxénicas o anfibólicas) salvo por los últimos autores citados que las situaban en posición estratigráfica superior; en el apartado de Estratigrafía "Las sucesiones volcánicas" se ha argumentado su colocación en la serie volcánica calcoalcalina.

Tienen textura porfídica o piroclástica con matriz muy vítrea que puede haber sufrido procesos de desvitrificación de grado variable. Se observan en ellas cantidades variables de cuarzo, plagioclasas, piroxenos, anfíbol o biotita. Los accesorios menores son minerales opacos y apatito y como productos secundarios se desarrollan calcedonia, cloritas, serpentinas y óxidos opacos.

El cuarzo aparece tanto en fenocristales ameboides como redondeados, o fragmentarios, adoptando en este caso forma de esquirlas. La plagioclasa está zonada y maclada y lo mismo que los prismas de hornblenda verde y de los dos piroxenos está con frecuencia rota. La biotita se encuentra en forma de laminillas aisladas y a veces curvadas. Existen pequeños enclaves de andesita constituida por microfenocristales de plagioclasa englobados en una pasta muy vítrea.

En las facies que presentan silicificación los fenocristales de cuarzo sirven a veces de núcleo alrededor del cual se desarrolla este proceso.

5.1.1.8. *Dacitas y andesitas anfibólico-biotíticas* (13)

Estos materiales forman un único pitón conocido que en el mismo Cabo de Gata atraviesa materiales andesíticos piroxénicos. Presentan tonos de color crema y un diaclasado columnar notable.

Presentan textura porfídica seriada con matriz micro a criptocristalina y están generalmente bastante afectadas por procesos de alteración moderados a intensos. Mineralógicamente están formadas por plagioclasas, hornblenda verde, biotita, cuarzo, piroxenos, minerales opacos y apatito. Como minerales secundarios se desarrollan alunita, calcita, cloritas, serpentinas, cuarzo y feldespato potásico. Las plagioclasas son generalmente idiomorfas, macladas y presentan alteración parcial a alunita. El anfíbol, prismático y la biotita en láminas se encuentran repartidos desigualmente por la roca. El cuarzo, generalmente escaso, forma pequeños fenocristales redondeados o, a veces, con forma ameboide. Se observan pseudomorfosis serpentínicas o cloríticas que suelen conservar la forma octogonal de las secciones basales de piroxenos. Cuando la matriz es microcristalina está formada por un agregado irregular de todos los minerales secundarios mencionados observándose zonas donde predomina la silicificación, carbonatación o feldespatización.

5.1.1.9. *Rocas volcánicas calcoalcalinas con alteración endógena (7, 10, 12 y 8)*

Fundamentalmente en la parte meridional del área, y afectando exclusivamente a materiales andesíticos piroxénicos, se hallan una serie de fenómenos de alteración endógena descritos por Páez Carrión y Sánchez Soria (1.965) y que básicamente consisten en:

- Alunitización de plagioclasas
- Potasificación de feldespatos
- Cloritización y carbonatación de máficos, y
- Silicificación.

Las facies volcánicas afectadas son las andesitas piroxénicas (6, 7) y en menor medida (distribución espacial más marginal y volumen de material cuantitativamente muy inferior) las brechas piroclásticas de andesita piroxénica (10, 9) y las tobas de lapilli de idéntica composición (12, 11).

Espacialmente en el centro del área de alteraciones descritas se encuentra una de mayor intensidad (8) que afecta a andesitas piroxénicas masivas. Los procesos de alteración dan como resultado una alunitización y silicificación generalizadas de la roca, así como una importante neoformación de minerales de arcilla y similares (caolinita, calcita, pirofilita, etc.).

La situación coincidente de estas alternancias, su disposición concéntrica —en una facies de andesitas piroxénicas notablemente masivas y sin estructuras extrusivas visibles—, lleva a la interpretación de que estas zonas corresponden a zonas subvolcánicas, probablemente raíces de domos endógenos.

5.1.2. Rocas volcánicas calcoalcalinas (?) con alteración endógena

El conjunto que se describe a continuación se encuentra volcanoestratigráficamente superpuesto al calcoalcalino. Su carácter fundamental es la falta de rocas inalteradas, lo cual ha impedido la realización de análisis químicos y consecuentemente su atribución precisa al volcanismo calcoalcalino. Por otra parte, presentan una cierta analogía petrográfica, como se verá, con materiales calcoalcalinos potásicos de la vecina Hoja de Carboneras (El Hoyazo).

Las alteraciones que presentan son similares a las descritas para las andesitas piroxénicas, si bien no se alcanza nunca, en el ámbito de la Hoja, la facies de mayor intensidad.

5.1.2.1. *Dacitas biotítico-anfibólicas rojo-violáceas* (15)

Se encuentran en la parte noreste de la Hoja, pasando a la de Carboneras, donde al presentar una alteración extrema constituyen el encajante del célebre yacimiento aurífero de Rodalquilar.

Presentan una facies muy masiva y homogénea, destacando sus típicos grandes fenocristales de cuarzo y plagioclasa. Su color es rojo-violáceo, muy característico. Fueron descritas por Fúster, Aguilar y García (1.965), quienes las denominaron "Serie dacítica tortoniense", en el área Cerro de Los Frailes-Los Escullos.

Los datos de campo indican, de acuerdo con los autores citados, que estas rocas yacen en forma de potentes coladas sobre materiales calcoalcalinos. Para los autores de esta Hoja, probablemente en Rodalquilar estuvo su foco de emisión (ver Hoja de Carboneras).

La textura es porfídica vítrea en las rocas más frescas, pero lo más común es que se encuentren alteradas siendo entonces microcristalinas. Contienen fenocristales o microcristales de cuarzo redondeado o fuertemente corroído y ameboide. Las plagioclasas suelen ser algo más pequeñas que el cuarzo, hipidiomorfas y con alteración parcial o total a alunita. En otras ocasiones se observa una feldespatización potásica o carbonatación total de los cristales. Las láminas de biotita son xenomorfas, con frecuencia oxidadas y ocasionalmente contienen pequeñas plagioclasas o piroxenos. La hornblenda es de color pardo, con alteración periférica que puede llegar a ocupar todo el prisma, siendo reconocible por su típica sección basal.

Cuando la matriz es microcristalina, está constituida por un agregado de cuarzo, feldespato potásico y otros minerales micáceos no identificables por métodos ópticos normales.

5.1.2.2. *Tobas de lapilli dacítico (biotítico-anfibólico) (18)*

Forman unos pequeños afloramientos en la parte N de la Hoja. Pueden considerarse una variante tobácea de los materiales acabados de describir. Se componen de fragmentos centimétricos de dacitas rojizas y matriz fina no muy abundante. Los piroclastos se disponen "aplastadamente" y el grado de compactación es importante.

Las tobas presentan textura piroclástica y abundante matriz vítrea. Se observan en ellas numerosos fenocristales de cuarzo redondeado, hipidiomorfo o fragmentario y muy anguloso y cristales de plagioclasa redondeados o hipidiomorfos que están afectados por una alunitización y/o feldespatización potásica generalmente intensa. La biotita se encuentra en pequeñas y escasas láminas. Existen pseudomorfosis de ella o de otros máficos por minerales opacos. Sobre la matriz vítrea se desarrollan a veces silificaciones o feldespatizaciones.

5.1.2.3. *Tobas finas dacíticas (16)*

En este apartado se incluyen materiales tobáceos, muy finos, y bien estratificados de color rosado o gris-verdoso. Más que su composición, su distribución espacial y relaciones con los materiales dacíticos de este apartado, ha llevado a considerarlos facies tobáceas finas de ellos.

Tienen también textura piroclástica definida por la presencia de microfenocristales de cuarzo y plagioclasa casi siempre fragmentados. Cuando existe biotita, se encuentra intensamente oxidada o cloritizada. Son frecuentes también los reemplazamientos de secciones basales de anfíbol por cuarzo y carbonatos.

La matriz, principalmente vítrea, conserva restos de estructuras perlíticas, pero lo más común es que sea un agregado sericítico-clorítico-cuarcítico con estructura afieltrada. Ocasionalmente en las matrices vítreas, se encuentran microlitos piroxénicos.

5.1.2.4. *Dacitas biotíticas (17)*

Estos materiales constituyen una variante petrográfica de las dacitas biotítico-anfibólicas rojo-violáceas (15) caracterizada por su gran riqueza en biotita. Sin embargo forman afloramientos y consiguientemente, unidades cartográficas independientes. Su mayor afloramiento lo constituye el Cerro del Garbanzal, que probablemente forme en sí un domo endógeno.

El tipo de roca más común tiene textura porfídica hipocristalina y está constituida por fenocristales en biotita xenomorfa, de plagioclasas hipidiomorfas y de cuarzo redondeado. En proporción escasa o nula se encuentran

anfíboles y piroxenos y como accesorio común, el apatito.

Casi siempre este tipo de rocas está afectado por intensos fenómenos de silicificación, alunitización, carbonatización, oxidación y feldespaticización.

Existen también unas facies piroclásticas con matriz vítrea y perlítica en la que fenocristales de plagioclasas, hornblenda verde, biotita y cuarzo están rodeados por numerosos agregados radiales de feldespato potásico.

5.1.2.5. *Diques dacíticos* (14)

En la parte suroriental de la Hoja se han cartografiado separadamente, pero englobándolos en conjunto, diques dacíticos o andesíticos biotítico-anfibólicos o exclusivamente biotíticos, que deben representar, en parte, conductos de emisión de las formaciones dacíticas descritas (15 y 17), erosionadas en esta zona.

Atraviesan materiales calcoalcalinos y su potencia ha sido exagerada en la cartografía, siendo sólo de orden métrico a decamétrico.

5.2. GEOQUIMICA

El trabajo más reciente sobre el conjunto de la región volcánica neógena del SE de España (López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1.980), establece cuatro tipos de volcanismos de edad progresivamente decreciente: 1) calcoalcalino; 2) calcoalcalino potásico y shoshonítico; 3) ultrapotásico y 4) basáltico alcalino. En la Hoja del Pozo de los Frailes se encuentra representado únicamente el primero de ellos.

Desde el punto de vista geoquímico, el volcanismo calcoalcalino s.s. presenta un rango de variación en SiO_2 relativamente amplio (53,3-70,6 ‰), muestra contenidos relativamente altos de Al_2O_3 , MgO y CaO, moderados de FeO, K_2O y Na_2O y bajos de TiO_2 y P_2O_5 . La relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ está comprendida entre 0,42 y 1,06 ‰ y la relación Fe total/MgO varía entre 1,1 y 2,0 (media 1,4). Sus tendencias de variación son también típicas: progresiva disminución de Al_2O_3 , Fe total, MgO, MnO, CaO y TiO_2 , aumento de SiO_2 y K_2O y constancia en Na_2O y P_2O_5 al pasar de las andesitas piroxénicas a las riolitas. En cuanto a la distribución de los elementos traza, las abundancias de Rb, Pb, Th y Zr son relativamente altas, las de Ba y Sr algo más bajas y las de Cu, Co, Ni, V y Cr bajas o muy bajas (López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1.980).

5.3. PETROGENESIS

El origen del volcanismo neógeno del sureste de España ha sido objeto de varias hipótesis e investigaciones recientes.

Con el desarrollo de la moderna teoría de la tectónica de placas, se le ha supuesto relacionado con procesos de subducción.

Araña y Vegas (1.974) proponen una subducción de edad miocena (la del volcanismo) según un plano de Benioff buzante al N y que hundiría la placa africana bajo la europea.

Bellón (1.976) propone una subducción similar, de Africa bajo España, buzante al NO de edad miocena inferior, resultado de un desplazamiento de Africa al N en el Oligoceno Superior, previo a la colisión continental.

López Ruiz y Rodríguez Badiola (1.980) han propuesto recientemente una subducción de la corteza oceánica generada en el mar de Alborán a finales del Oligoceno, bajo la continental. Como consecuencia se produjeron líquidos de composición andesítico-basáltica y andesítica a unos 100 km y más potásicos a los 150 km. que en su ascenso debieron sufrir contaminaciones de la corteza continental, originando respectivamente los magmas calcoalcalinos y calcoalcalinos potásicos (y shoshoníticos).

Ultimamente, Puga (1.980) ha objetado la posibilidad de una subducción miocena en base a datos geocronométricos obtenidos para el último metamorfismo alpino y que indicarían una edad eoceno-oligocena para aquélla. Propone un modelo genético a partir de fusiones parciales de un manto anormal, hidratado (sobre el que parece existir interpretaciones geofísicas). Los magmas habrían ascendido hasta la superficie a favor de la fase de distensión tectónica mio-pliocena. El origen de dicho manto anómalo estaría en una subducción más antigua.

Otras hipótesis han relacionado este volcanismo con el aporte de energía térmica que representaría el proceso de oceanización cenozoica del Mediterráneo occidental (provocado por diapirismo del manto) (Van Bemmelen, 1.969, 1.972; Loomis, 1.975).

6. GEOLOGIA ECONOMICA

6.1. MINERIA METALICA Y METALOGENIA

Excepción hecha de algunas explotaciones, la minería metálica no ha sido muy importante en la Hoja de Pozo de los Frailes. No obstante, las labores son muy numerosas y se localizan exclusivamente en el complejo volcánico. Las sustancias explotadas han sido fundamentalmente dos: 1) plomo, con cinc y cobre minoritarios y oro-plata a veces como subproductos de alto interés y 2) manganeso.

Las primeras se localizan, con una alta densidad de manifestaciones, en la parte meridional del área abarcada por la Hoja: Se enclavan en las andesitas

piroxénicas de facies subvolcánica o profunda de domo endógeno, generalmente en las zonas de más intensa alteración sílico-alunítica aunque no faltan representantes en facies con alteración menor. Las mineralizaciones son, por lo común, filonianas con estructura muy zonada o más raramente brechoide; las dimensiones de estos filones oscilan desde decimétrica a 4-6 m. de potencia, su longitud es hectométrica y la dirección norteada. Sobre alguna, las explotaciones han llegado a los 260 m. de profundidad. La paragénesis es galena-blanda clara-calcopirita, con pirita accesoria, en una ganga de, sobre todo, cuarzo, con cantidades subordinadas de baritina y dolomita-siderita. En filones enclavados en zonas de menor alteración del encajante, óxidos y carbonatos de manganeso se agregan a esta paragénesis. Las leyes explotadas han sido muy variables pero pueden cifrarse en 5-10 ‰ Pb; 1-5 ‰ Zn; 0,4-1 ‰ Cu; 20-30 gr/T Ag y 0,5-2 gr/T Au, de promedio.

En la parte más meridional de la zona de alteración silíceo-alunítica se ha citado un tipo de mineralización Pb-Zn-Cu aparentemente no filoniana y atribuida a una estructura tipo "breccia-pipe". En las muestras observadas, los sulfuros (galena, blanda clara y calcopirita por orden de importancia cuantitativa) asociadas a un cuarzo de grano fino, cementan fragmentos decímetros de andesita, muy o totalmente silicificada. Las leyes promedios estimadas (probablemente selectivas en zonas más ricas) son del orden de 6,10 ‰ Pb; 3,53 ‰ Zn; 1,32 ‰ Cu; 60 gr/T Ag y 1,2 gr/T de Au.

Las mineralizaciones de manganeso se presentan en dos áreas: 1) en el mismo entorno geológico que las filonianas descritas de Pb-Zn-Cu, pero enclavadas preferentemente en las partes de menor alteración y 2) en el cerro del Garbanzal (N de la Hoja), encajando con dacitas biotíticas y sin asociación espacial (conocida al menos) con Pb-Zn-Cu. En ambos casos el encajante muestra una moderada alteración hipógena consistente en cloritización de máficos, potasificación de plagioclasas y carbonatación, con silicificación y alunitización. Las rocas muestran un color rojizo característico.

En la primera de las áreas, la disposición de estas mineralizaciones de Mn queda por tanto marginal y concéntrica respecto de las de Pb-Zn-Cu. Son también filonianas, con estructura zonada o más raramente brechoide, y cuarzo como ganga fundamental. Muy accesoriamente pueden contener galena y blanda. La potencia de los filones es métrica y la dirección generalmente norteada.

En el área del Garbanzal, las explotaciones para Mn es donde han sido más importantes, pero siempre modestas. Son también filonianas, con potencia métrica y dirección norteada. La mineralización muestra estructura zonada con los óxidos de manganeso (criptomelana, romanechita, pirolusita, etc.) alternando con salbandas arcillosas, con calcita-dolomita o, más raramente, con cuarzo. También hay estructuras tipo brechoides en la que los óxidos de manganeso rodean y cementan parcialmente —acompañados de

calcita, a veces— fragmentos centi a decimétricos dacíticos bastante redondeados. La edad de formación de esta mineralización epigenética de Mn debe estar bastante separada en el tiempo de la de las dacitas puesto que en la parte alta del cerro del Garbanzal, un filón encajante en ellas contiene fragmentos de calcarenita messiniense, similar a la que en las cercanías recubre discordantemente las dacitas. Este hecho también plantea las posibles relaciones genéticas existentes entre las mineralizaciones consideradas y las que en la vecina Hoja de Carboneras se disponen estratigráficamente tanto en el Messiniense como en la discordancia entre éste y el volcánico.

6.2. SILICATOS INDUSTRIALES: BENTONITAS

La actividad extractiva de estos materiales mantiene aún hoy día relevancia económica al encontrarse en plena expansión su explotación.

Los depósitos de esta sustancia se localizan exclusivamente en la serie volcánica 1 (andesítica-anfibólica-piroxénica), generalmente en niveles de naturaleza piroclástica de cuya alteración resultan. Se explotan con cierta intermitencia y siempre a cielo abierto.

Los aspectos mineralógicos y geoquímicos de las bentonitas del área del Cabo de Gata han sido tratados primeramente por Martín Vivaldi et al. (1.968-69-75) y después por Reyes, Huertas y Linares (1.978-79-80). Son de naturaleza cálcico-sódico-magnesiana y el componente mayoritario (95-75 %) es una esmectita montmorillonítica, siendo el resto cuarzo, plagioclasa, calcita, anfíboles, micas, zeolita, tridimita, etc., la mayoría de ellos residuales del proceso de bentonitización. Este —dentro de los procesos tradicionalmente admitidos— más que como una alteración submarina de dichos niveles durante la transgresión messiniense, es invocado como hidrotermal por dichos autores.

La morfología de los depósitos es variable: estratiforme o "filoniana", masiva a veces. Para el caso de algunos depósitos "filonianos" es flagrante su paralelismo con la fracturación reciente, según se cita, con ejemplo, en la memoria de la vecina Hoja de Carboneras. Este hecho plantea la posibilidad de que varios de ellos sean producto de un emplazamiento diapírico a través de fracturas, en encajantes superpuestos a los niveles bentoníticos originales, y no producto de alteración lateral hidrotermal progresiva a partir de una fisura original.

6.3. ROCAS INDUSTRIALES Y CANTERAS

Apenas ha habido extracciones de este tipo de materiales en el ámbito de la Hoja. Destacan las explotaciones para adoquines en el pitón de dacitas biotítico-anfibólicas del mismo Cabo de Gata. En este caso, el espesor relativa-

mente delgado de la disyunción columnar ha facilitado su extracción. También ha habido alguna modesta explotación para áridos en las andesitas piroxénicas alteradas de la parte oriental de la Hoja.

6.4. HIDROGEOLOGIA

En la comarca Níjar-Carboneras la característica hidrogeológica más sobresaliente es la escasez de recursos, impuestos lógicamente por unos factores climáticos en este sentido adversos. Por otra parte, y en la hidrogeología del área, el control que ejercen los factores geológicos, (predominio de materiales impermeables o semipermeables, estructura, ocurrencia de etapas erosivas en la secuencia sedimentaria, cambios frecuentes de facies, etc.) da lugar a que destaquen, por su extensión, las áreas con ausencia de acuíferos de entidad que pudiera hacer posible un aprovechamiento óptimo de las escasas aportaciones pluviométricas de esta comarca.

Aunque están representados en la zona niveles litoestratigráficos que, como en el caso de las caliza/dolomías alpujárrides, constituyen en otras áreas acuíferos de gran extensión, los conocimientos hidrogeológicos sobre estas comarcas parecen negar aquí la presencia de tales acuíferos. Por el contrario, los sistemas acuíferos presentes en la zona, aparecen con una notable dispersión y su importancia, en general, es muy limitada. Sus características geológicas e hidráulicas son muy heterogéneas (pliocenos, más corrientemente) y forman acuíferos superficiales de carácter libre.

De toda la comarca cabe destacar el sistema acuífero del Campo de Níjar, cuyos recursos medios anuales han sido evaluados en unos 15-16 hm³. Siguen después otros acuíferos de menor entidad, como las cubetas de Fernán Pérez, El Hornillo-Cabo de Gata, el litoral de El Alquián-Cabo de Gata, los pequeños compartimentos dolomíticos alpujárrides de la falda de Sierra Alhamilla, el reducido sistema de la Robla de Palmerosa, etc., cuyos recursos propios son de menor importancia (pueden oscilar entre uno y varios hm³/año). Naturalmente, existen aún acuíferos más insignificantes, cuya capacidad de regulación es inferior a 1 hm³/año.

Como fuente de información sobre este tema, se recomienda la consulta del "Estudio Hidrogeológico de la Comarca del Campo de Níjar" (1.982) realizado por el IGME, el cual consta de 11 volúmenes, en los que se hace una síntesis de datos y su correspondiente interpretación sobre el acuífero de la comarca, así como de los sistemas o acuíferos marginales más significativos de la misma.

6.5. RECURSOS GEOTERMICOS

La zona, con un gradiente geotérmico probablemente superior al normal

dadas sus características de área aún activa y orogénica reciente, se presta a investigaciones de este tipo, que ya se están iniciando.

La investigación de acuíferos profundos (geoterma de baja entalpía) dada la relativamente escasa potencia (menos de 600 m.) de materiales terciarios con buenas condiciones hidrogeológicas, no debe olvidar las posibilidades en los materiales béticos, a pesar de que la tectónica dificulte un mejor control de aquéllas.

La existencia de fracturas importantes, muy recientes y probablemente de escala cortical, revela también atractivas posibilidades en el campo de la geoterma de alta entalpía.

Por el contrario, en relación directa con el volcanismo calcoalcalino aflorante no deben esperarse buenos resultados dada la antigüedad (Mioceno medio-superior) de éste. Sí, en cambio, y más bien avalando posibilidades para el caso de la fracturación profunda, puede ser factible en el área un volcanismo alcalino no aflorante como el que se manifiesta en superficie en la cercana zona de Cartagena y que llega a tener edad Cuaternaria.

7. BIBLIOGRAFIA

- ADDICOTT, W.O.; SNAVELY, P.D. (Jr) (1.976).— Reconnaissance of mollusk bearing Neogene rocks. Almería Province Eastern Andalusia. Spain. Western Soc. Malacologist Ann. Rept. 9, 49-50.
- ADDICOTT, W.O.; SNAVELY, P.D. (Jr); POORE, R.Z. y BURKY, D. (1.979).— La secuencia Neógena marina en los Campos de Dalías y de Níjar (Almería). Estudios Geol. 35, 609-631.
- ALDAYA, F. y GARCIA DUEÑAS, V. (1.971).— Almería-Garrucha, Mapa Geológico de España (escala 1:200.000), síntesis de la cartografía existente, 23.1.
- ANGELIER, J.; CADET, J.P.; DELIBRIAS, G.; FOURNIQUET, J.; GIGOUT, M.; GUILLEMIN, M.; HOGREL, M.TI.; LALOU, A.; PIERRE, G. (1.976).— "Les deformations du Quaternaire marin, indicateurs neotectoniques quelques exemples méditerranéens". Rev. Geol. Phys et Géol. Dynam (2) v. XVIII, fasc. 5, pp. 427-448.
- ARAÑA, V. y VEGAS, R. (1.974).— Plate tectonics and volcanism in the Gibraltar. Arc. Tectonophysics, vol. 24; pp. 197-212.
- ARMIGO, R.; BEUKHELIL, J.; BOUSQUET, J.C.; ESTEVEZ, A.; GIRAUD, R.; MONTENAT, CH.; PAVILLON, M.J.; PHILIP, M.; SANZ DE GALDEANO, C.; VIGUIER, CL. (1.977).— Les resultats de l'analyse structurale en Espagne. Bull. Soc. Geol. Fr. (7) t. XIX nº 3, pp. 591-605.

- ARMSTRONG, A.K.; SNAVELY, P.D. (Jr) y ADDICOTT, W.O. (1.979).— Porosity evolution of late Miocene reefs. Almería Province, Southern Spain: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., 6.1, pp. 188-208.
- BAENA, J.; GARCIA RODRIGUEZ, J.; FERNANDEZ VARGAS, E.; GREENE, G. ().— "Archive faulting in the coasts of Almería" (En prensa).
- BAENA, J.; GOY, J.L.; ZAZO, C. (1.981).— "Libro Guía. Excursión mesa Redonda sobre el Tirreniense del litoral mediterráneo español. Litoral de Almería". Libro-Guía Sous. Com. Med. et Mer. Noire INQUA (Madrid-Lyon) pp. 25-43.
- BAENA, J.; VOERSMANS, F. (En prensa).— "Mapa geológico de España 1/50.000 (2ª serie). Hoja Almería, 1.045". IGME.
- BAENA, J.; ZAZO, C.; GOY, J.L. (1.980).— "Implicación del Episodio con "Strombus" en las neotectónicas de la Bahía de Almería (España). Colloque "Niveaux marins et tectonique quaternaires dans l'aire méditerranéenne". París, 24 Nov.
- BELLON, H. (1.976).— Series migmatiques néogènes et quaternaires du pourtours de la Méditerranée occidentale, comparées dans leur cadre géochronométrique. Implications géodynamiques. Thèses d'Etat. París 367 págs.
- BELLON, R.; BORDET, P.; BOUSQUET, J.C. y MONTENAT, C. (1.976).— Principaux résultats d'une étude géochronométrique du volcanisme néogène des Cordillères Bétiques. Gieme reun. ann. Sc. Terre. París 43 págs.
- BELLON, H. y BROUSSE, R. (1.977).— Le magmatisme périméditerranéen occidentale. Essai de systhèse. Bull. Soc. Géol. France, 1.977, (7), t. XIX n° 3, pp. 469-480.
- BERNAT, M.; BOUSQUET, J.C.; DARS, R. (1.978).— "lo-U dating of the ouljian stage from Torre García (Southern Spain). Nature V. 275, pp. 302-303.
- BOUSQUET, J.C.; CADET, J.P.; MONTENAT, CH. (1.975).— "Quelques observations sur le jeu quaternaire de l'accident de Carboneras". Reun. Ann. Sciences de la Terre. Montpellier, pp. 73.
- BOUSQUET, J.C.; MONTENAT, CH. (1.974).— La néotectonique dans les Cordillères Bétiques orientales (Espagne). 2eme Réun. Ann. Sc. de la Terre. Nancy, Résumé des communications, pp. 81.
- BOUSQUET, J.C.; MONTENAT, CH. (1.974).— Presence de décrochements NE-SW plio-quaternaires dans les Cordilleres Bétiques orientales (Espagne). Extension et signification générale. C. R. Ac. Sc. París. t. 278, pp. 2.617-2.620.
- BOUSQUET, J.C.; MONTENAT, CH. y PHILIP, H. (1.976).— La evolución tectónica reciente de la Cordillera Bética oriental. Reunión sobre la Geo-

- dinámica de la Cordillera Bética y Mar de Alborán. Univ. de Granada.
- BOUSQUET, J.C.; PHILIP, H. (1.976).— Observations microtectoniques sur la compression nord-sud quaternaire des Cordillères Bétiques orientales (Espagne méridionale-Arc de Gibraltar). Bull. Soc. Géol. France (7). t. XVIII n° 3, pp. 711-724.
- BOUSQUET, J.C.; PHILIP, H. (1.976).— "Observations tectoniques et microtectoniques sur la distension Plio-Pleistocene ancien dans l'est des Cordillères Bétiques (Espagne Meridionale). Cuad. Géol. Universite Granada, 7, pp. 57-67.
- BURRI, C. y NIGGLI, P. (1.945).— Die jungen Eruptivgesteine des Mediterranean Orogens. Publik. Vulkaninstitut I. Frindl n° 3 y 4. Zurich.
- BURRI, C. y PARGA-PONDAL, I. (1.935).— Beitrage zur Kenntnis einiger jung vulkanische Gesteine Spanie —Schweiz. Min. Petr. Mitt. 15, pp. 266-287.
- BURRI, C. y PARGA-PONDAL, I. (1.945-49).— Die jungen Eruptivgesteine des Mediterranean Orogens —I. (1.945), II (1.949). Vulkaninstitut I. Friedlander. Nr. 1.949.
- CADET, J.P.; FOURNIQUET, J.; GIGOUT, M.; GUILLEMIN, M.; PIERRE, G. (1.977).— "La néotectonique des littoraux".
- CADET, J.P.; FOURNIQUET, J.; GIGOUT, M.; GUILLEMIN, M.; PIERRE, G. (1.978).— " La néotectonique des littoraux de l'area de Gibraltar et des partours de la mer d'Alborán". Quaternaria, XX, pp. 185-202.
- CALDERON, S. (1.882).— Estudio petrográfico sobre las rocas volcánicas del Cabo de Gata e Isla de Alborán. Geol. Mapa Geol. 9; pp. 34-414.
- DABRIO, J.C.; ESTEBAN, M. y MARTIN, J.M. (1.981).— The coral reef of Níjar, Messinian (Uppermost Miocene), Almería province, S.E. Spain, Jour. Sed. Petrology, v. 5, pp. 521-539.
- DABRIO, J.C. y MARTIN, J.M. (1.977).— Los arrecifes messinienses de Almería (SE de España). Cuadernos de Geología. Univ. de Granada. 8, pp. 83-104.
- DUMAS, B.; GUEREMY, P.; LENAFF, R.; RAFFY, J. (1.978).— "Geomorphologie Neotectonique dans la region d'Almería (Espagne du Sud-Est)". Travaux R.C.P. 461, París pp. 123-170.
- ENADIMSA (1.972).— Investigación de los yacimientos de bentonita en la provincia de Almería. Inédito.
- ESTEBAN, M. (1.978).— Significance of the Upper Miocene reefs in the western Mediterranean (abs): Messinian Seminar 4. Rome. Oct. 9-14.
- ESTEBAN, M. (1.979).— Significance of the Upper Miocene coral reefs of the Western Mediterranean: Paleogeography, Paleoclimatology and Paleoecology. v. 29, pp. 169-182.
- ESTEBAN, M.; CALVET, F.; DABRIO, C.J.; BARON, A.; GINER, J.; POMAR, L.; SALAS, R. (1.977) a.— Messinian (Uppermost Miocene) reefs

- in Spain: morphology, composition and depositional environments. 3rd. Int. Coral Reef Symp. Abstracts. Miami, Fla.
- ESTEBAN, M.; CALVET, F.; DABRIO, C.J.; BARON, A.; GINER, J.; POMAR, L.; SALAS, R. (1977) b.— Aberrant features of the Messinian coral reefs, Spain. Messinian Seminar, 3 Abstracts, 5 pp. (Málaga).
- ESTEBAN, M.; GINER, J. (1981).— Messinian coral reefs and erosion surface in Cabo de Gata (Almería, SE Spain). Acta Geol. Hisp. v. 15, pp. 95-109.
- FUSTER, J.M.; AGUILAR, M.J. y GARCIA, A. (1965).— Las sucesiones volcánicas en la zona del Pozo de los Frailes dentro del volcanismo cenozoico del Cabo de Gata (Almería). Est. Géol. 21; pp. 199-222.
- GIGOUT, M.; CADET, J.P.; PIERRE, G. (1974).— "Sur le comportement de l'Arc de Gibraltar au quaternaire récent, d'après les formations littorales". 2^e Reun. Ann. de Sciences de la Terre. Nancy.
- LEAL, G. y SIERRA, J. (1970).— Mapa geológico nacional a escala 1/50.000 (1^a serie). Hoja 1.060. (El Pozo de los Frailes). Publicada sin memoria. IGME. de España.
- LOOMIS, T.P. (1975).— Tertiary mantle diapirism, orogeny and plate tectonics east of the Strait of Gibraltar. Amer J. Sci., 275 pp. 1-30.
- LOPEZ RUIZ, J. y RODRIGUEZ BADIOLA, E. (1980).— La región volcánica neógena del sureste de España. Est. Géol. 36, pp. 5-63.
- MARTIN-VIVALDI, J.L. (1963).— The bentonites of Cabo de Gata (South-east Spain) and of Guelaya volcanic province (North Morocco). Clay and Clay Min. proc. 9 th conf. pp. 327-357.
- MARTIN-VIVALDI, J.L. y LINARES GONZALEZ, J. (1969).— Las bentonitas de Cabo de Gata. Consideraciones sobre la mineralogía y génesis de los yacimientos estudiados. Bol. Géol. Min. t. LXXX-I.
- MELENDEZ, B.; AGUIRRE, E. y BAUTISTO, D. (1964).— Estudio paleontológico del Mioceno del Cabo de Gata (Almería). Estudios Géol. 20, pp. 229-234.
- MELENDEZ, B.; AGUIRRE, E. y BAUTISTO, C. (1966).— El Mioceno del Cabo de Gata (provincia de Almería, España). Comm. Mediterranean Neogene Stratigraphy, Third Session, Berne Proc. 267-269.
- MOLIN, D. (1974).— Les caracteres du volcanisme néogène des provinces de Murcia et d'Almería (Espagne). Implications pour l'évolution de la Méditerranée Occidentale. R^o Ann Sciencs de la Terre. Nancy.
- MONTENAT, C. (1973).— Les formations Néogènes et Quaternaires du Levant espagnol (Thesis): Osay. Univ. Arsay. 1.170 p.
- MONTENAT, C. (1975).— Le Néogène des Cordillères Bétiques. Essay de synthèse stratigraphique et paléogéographique C.N.R.S. (Internal Report). París. 187 p. (unpublished).
- MONTENAT, C. (1977).— Les bassins néogènes de Levant d'Alicante et de Murcia (Cordillères Bétiques orientales-Espagne). Stratigraphie, paléogéo-

- graphie et evolution dynamique: Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon. v. 69, 345 p.
- MONTENAT, C. y BIZON, G. (1.976).— A propos de l'évolution géodynamique mio-pliocène en Méditerranée occidentale. L'exemple du bassin de Vera (Cordillères Bétiques. Espagne méridionale).
- MONTENAT, C.; BIZON, G. y BIZON, J.J. (1.976).— Continuité ou discontinuité de sédimentation marine mio-pliocène en Méditerranée occidentale. L'exemple du bassin de Vera (Espagne méridionale): Rev. Inst. Fr. du Pétrole, v. 31, pp. 613-663.
- OSANN, A. (1.889).— Beitrage zur kenntnis der Eruptivgesteine der Cabo de Gata. Zeitsch. d. Geol. Ges. Bol. 41, I, pp. 297-312.
- OSANN, A. (1.891).— Uber des geologische Bau des Cabo de Gata. Zeitsch. dd. Géol. Ges. But. 43, I, pp. 323-346.
- OVEJERO, G.; ZAZO, C. (1.971).— "Niveles marinos pleistocenos en Almería (S.E. de España)". Cuaternaria XV, pp. 141-158.
- PAEZ, A. y SANCHEZ, P. (1.965).— Vulcanología del Cabo de Gata entre San José y Vela Blanca. Est. Geol. 21; pp. 223-246.
- PAGNIER, H. (1.977).— Excursion to Messinian reef deposits in the northern part of the Sorbas basin: an introduction, in: Messinian Seminar n. 3. Field Trip n. 2, pp. 44-54.
- PHILIP, H.; BOUSQUET, J.C. (1.975).— "Resultats de l'étude microtectonique sur la compression quaternaire dans les Cordillères Bétiques orientales (Espagne)". Reun. Ann. Sciences de la Terre. Montpellier. Abril.
- POORE, R.Z.; STONE, S.M. (1.981).— Biostigraphy and Paleoecology of the Upper Miocene (Messinian) and Lower Pliocene (?) Cerro de Almendral Section, Almería Basin, Southern Spain. Geol. Sur. Prof. Paper. 774-F, 11 p.
- PUGA, E. (1.980).— Hypothèses sur la genèse des magmatismes calcoalcalins, intra-orogénique et postorogénique alpins dans les Cordillères Bétiques. Bull. Soc. Geol. France (7), t. XXII, n° 2, pp. 243-250.
- ROEP, Th. B.; and BEETS, D.J. (1.977).— An excursion to coastal and fluvial sediments of Messinian-Pliocene age (Sorbas Member and Zorreras Member) in the Sorbas basin SE Spain, in Messinian Seminar 3, Field trip 2, pp. 22-36.
- ROEP, Th. B.; BEETS, D. J.; DRONKERT, H.; PAGNIER, H. (1.979).— A prograding coastal sequence of wave-built structures of Messinian age, Sorbas Almería, Spain: Se. Géol. V. 22, pp. 135-163.
- SAAVEDRA, J. L. (1.966).— Microfacies de los sedimentos intercalados en las formaciones volcánicas del Cabo de Gata (Almería). Not. Com. IGME n° 86, pp. 41-74.
- SCHMID, R. (1.981).— Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments. Recommendations of the IUGS Sub-

commission on the systematics of igneous rocks. Geol. Rindschau, 70; 2 pp. 794-799. Stuttgart.

VASS, D. y BAGDASARJAN (1.978).— A radiometric time scale for the Neogene of the Parathethys region in G.V.Cohee. M.F. Glaessner & H.D. Hedberg (eds): Contributions to the geologic time scale Amer. Ass Petr. Geol. Studies Geol-6, pp. 179-203.

ZAZO, C. (1.969).— "Niveles marinos Pleistocenos entre El Alquián y Cabo de Gata". Tesis de licenciatura. Univ. Complutense de Madrid.