Estudios geol., 44: 31-46 (1988)

MINERALOGIA Y GENESIS DE LAS ARCILLAS DE LAS UNIDADES DEL CAMPO DE GIBRALTAR. I. ARENISCAS DEL ALJIBE

P. Rodríguez Jiménez* y M. D. Ruiz Cruz*

RESUMEN

Las «areniscas del Aljibe» son materiales bimodales constituidos en su mayor parte por cuarzos eólicos con «coating» ferruginoso o arcilloso y cemento de cuarzo sintaxial. Tanto la composición mineralógica de la muestra total como la de la fracción $<2\ \mu$ es muy homogénea en las secuencias estudiadas. La fracción fina está constituida por caolinita, ilita e interestratificados I-E. En el desarrollo de estos minerales ha intervenido tanto la herencia (a partir de un área fuente homogénea) como los procesos diagenéticos. De este modo, es frecuente encontrar desde caolinitas pM, heredadas, hasta caolinitas autigénicas de alta cristalinidad, incluso dentro de una misma muestra. De igual manera, además de láminas de ilita heredadas, son frecuentes las ilitas fibrosas neoformadas. Además, las características y composición de los interestratificados I-E han permitido deducir un diferente grado de diagénesis, así como una situación paleogeográfica diferente, para las dos columnas estudiadas, a pesar de su proximidad actual.

Palabras clave: *Caolinita, ilita, interestratificados, diagénesis. Unidad del Aljibe. Flysch. Campo de Gibraltar.*

ABSTRACT

The «areniscas del Aljibe» are bimodal materials formed by eolic quartz with either clay or ferrous coatings and quartz sintaxial cement. The total mineralogical composition of the rocks and the fine fraction is very homogeneous in the sequences studied. The clay fraction is formed by kaolinite, illite and interstratified illite-smectite. These minerals have variable origins, Thus, detrital kaolinite pM and authigenic kaolinite with high crystalinity are common, together with detrital illite and fibrous neoformed illite. The smectite content of the mixed-layerd minerals suggests a different degree of diagenesis and a diverse paleogeographic situation for these sequences.

Key words: *Kaolinite, illite, interstratified mineral, diagenesis, Aljibe unit, flysch, Campo de Gibraltar.*

Introducción

El conocimiento geológico del flysch del Campo de Gibraltar, las diferentes unidades que lo constituyen, su aloctonía y cartografía se deben, principalmente, a los trabajos de los discípulos de Durand-Delga: Chauve (1967), Didon (1969) y Peyre (1974). Por otra parte, la homología entre las series litoestratigráficas y estructura en ambas orillas del estrecho, fueron puestas de manifiesto por Didon, Durand-Delga y Kornprobst (1973). Bourgois (1978) realizó un estudio al este del Campo de Gibraltar, estableció nuevas unidades y sugirió un mecanismo diferente en cuanto a génesis, edad y emplazamiento de dichas unidades. Los aspectos sedimentológicos y ambientes de depósito de las diferentes unidades fueron establecidos por Pendón (1978).

Un gran auge en los estudios geológicos de esta región tiene lugar con los trabajos realizados por la Sociedad Española para la Comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar (S.E.C.E.G.) a partir de 1980.

En esta zona son escasos los trabajos mineralógicos existentes. Se puede citar la clasificación de los sedimentos en base a la composición mineralógica, realizada por Pendón (1978), el estudio de la fracción detrítica realizado por Pendón y Polo (1975) en algunas de estas unidades y, por último, el trabajo realizado por Ortega *et al.* (1983) acerca de la

* Dpto. de Química Inorgánica, Cristalografía y Mineralogía. Fac. de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071-Málaga.

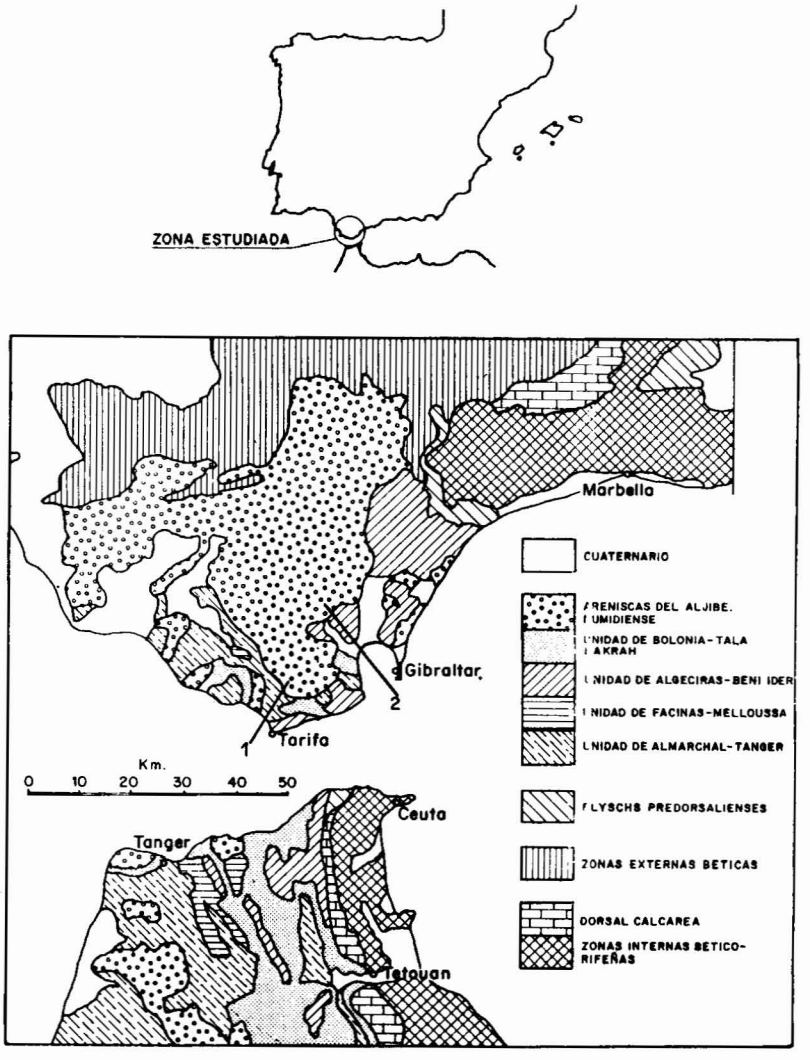


Fig. 1.—Mapa de situación general, esquema geológico simplificado de las orillas del Estrecho de Gibraltar (Didon, Durand-Delga y Kornprobst, 1973) y posición de las columnas estudiadas. 1. Sierra de Ojén.—2. Presa de Palmones.

mineralogía de la fracción menor de 20 micras en las unidades de Algeciras y El Aljibe(*).

El presente trabajo constituye una parte de los datos obtenidos por P. Rodríguez Jiménez en su Tesis Doctoral (1987).

Encuadre geológico

Las unidades del Campo de Gibraltar están constituidas por diversos mantos de corrimiento superpuestos que comprenden materiales que se extienden desde el Cretácico Inferior al Mioceno Inferior (Didon, 1969) con características turbidíticas en su mayor parte. Estas unidades forman un conjunto denominado frecuentemente «flysch del Campo de Gibraltar». Afloran en su mayor extensión en esta zona aunque constituyen una banda de casi 200 km. de longitud que llega hasta la depresión de Guadix formando una orla en el borde de las zonas internas. Por otra parte, existe una continuidad entre las unidades del Campo de Gibraltar y las unidades similares que afloran en el norte de Africa, a través del arco de Gibraltar (figura 1).

Existen numerosas hipótesis y opiniones en cuanto a la procedencia de estas formaciones flyschoides. Actualmente, Esteras (1984) considera que la cuenca se situaría entre las zonas internas Bético-Rifeña y las zonas externas de las Mogrébides.

(*) Los datos recogidos por estos autores coinciden en cierta medida con los expuestos aquí. Las diferencias (en porcentaje de minerales de la arcilla, características y composición de los mismos), pueden deberse fundamentalmente a que la fracción estudiada por nosotros es la $<2\ \mu$

Las características estratigráficas de las unidades del Campo de Gibraltar y sus equivalentes en la cordillera mogrébide, permiten establecer seis grupos diferentes (S.E.C.E.G., 1982 y Esteras, 1984).

— Unidades predorsales.
— Cordillera Taríquide.
— Unidades mauritanienses.
— Unidades masilienses.
— Elementos numídicos.
— Unidades merínides.

De todas ellas, el conjunto numidiense ocupa la posición tectónica más alta y se caracteriza por los potentes bancos de areniscas denominadas por Gavala (1924) «areniscas del Aljibe».

Las areniscas del Aljibe constituyen un flysch en el que alternan arcillas de tonos ocres con potentes paquetes de areniscas cuarcíticas de grano grueso. El porcentaje de tramos arcillosos y areniscosos es variable y puede llegar al 50%, aunque en los afloramientos parecen dominar las areniscas. No se ha encontrado fauna pero, por dataciones a techo y muro, se les atribuye una edad Aquitaniense (Esteras, 1982). Su potencia se evalúa en unos 1.000 m. y es difícil establecer la secuencia completa debido a las repeticiones tectónicas.

Debajo de las areniscas del Aljibe existen diferentes materiales que se han denominado en conjunto, «serie base» del Aljibe. El estudio de estas series será objeto de una próxima publicación.

Se han estudiado dos columnas correspondientes a la formación de areniscas s.s., la columna de Sierra de Ojén y la columna de la Presa de Palmones, cuya situación se ha recogido en la figura 1.

Descripción de las columnas y muestras estudiadas

1. *Columna de Sierra de Ojén*

Se ha establecido en la falda sur de la Sierra de Ojén, en el talud de una pista forestal que se inicia en el km. 91 de la carretera general nº 340 (hoja topográfica nº 1077). Afloran unos 100 m. de areniscas alternando con arcillas, en posición normal. No existen referencias para poder situar esta columna dentro de la serie general de la unidad.

Las areniscas presentan un aspecto masivo, en ocasiones con granoclasificación y generalmente en bancos gruesos. En el seno de los bancos de areniscas existen cantos blandos y en su muro se observan estructuras sedimentarias «flute cats» y «groove cats».

Alternando con las areniscas se encuentran arcillas grises y pardas, con una estratificación mucho más delgada. Presentan nódulos ferruginosos de 30 cm. de diámetro y diques clásticos de areniscas de escaso espesor que atraviesan perpendicularmente a las arcillas.

A continuación se realiza una descripción somera de las muestras estudiadas (fig. 2).

CR-301. Arcillas oscuras, muy compactas, con concentraciones locales de óxidos de hierro.

CR-302. Areniscas muy deleznables con un visible bandeando en tonos pardos y amarillentos.

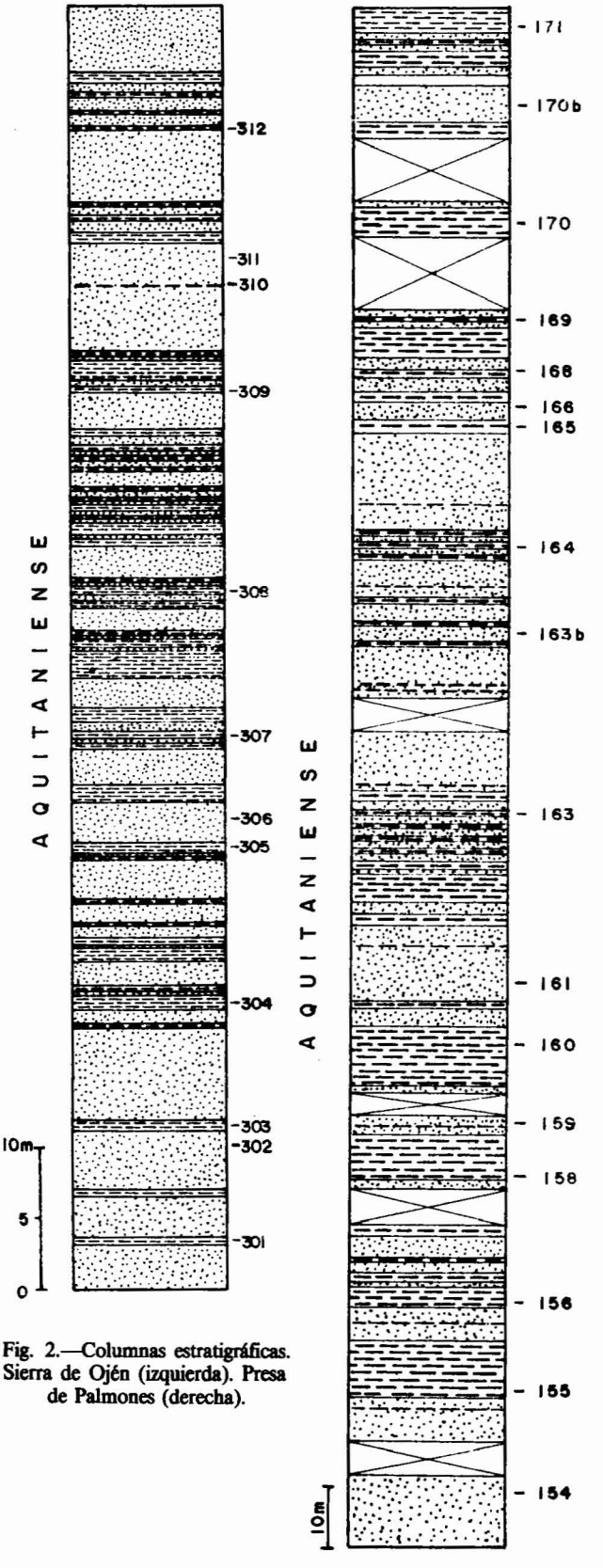


Fig. 2.—Columnas estratigráficas. Sierra de Ojén (izquierda). Presa de Palmones (derecha).

CR-303. Arcillas oscuras muy poco compactas. A la lupa se observa una pequeña proporción de laminillas de mica blanca. En superficies no frescas se observan concentraciones amarillentas de jarosita.
CR-304. Arcillas pardas con concentraciones locales de óxidos de hierro. Presentan pequeños niveles de granulometría mayor donde son abundantes los granos de cuarzo y las láminas de mica blanca.
CR-305. Arcillas oscuras, muy deleznables. En esta muestra las láminas de mica blanca, muy abundantes, son visibles a simple vista.
CR-306. Arenisca clara, deleznable, con manchas amarillas de óxidos y geles de hierro, más intensas en las zonas próximas a fracturas.
CR-307. Arcillas marrón-rojizas con manchas ocres de óxidos de hierro.
CR-308. Arcillas gris claro con fractura astillosa y granulometría muy fina y homogénea. Son abundantes las concentraciones de óxidos de hierro y el desarrollo, en superficie, de jarosita.
CR-309. Arcilla pardo-rojiza en la que son observables gruesos granos de cuarzo redondeado y láminas de mica blanca.
CR-310. Arcillas gris oscuro de granulometría fina y homogénea. Existen concentraciones superficiales de jarosita, yeso y caolinita.
CR-311. Arenisca con características similares a las descritas anteriormente.
CR-312. Arcilla pizarrosa muy compacta. A la lupa son visibles las laminillas de mica blanca y en menor proporción de micas oscuras.

2. *Columna de la presa de Palmones*

Se ha levantado en la estribación oriental de la sierra del Niño (hoja topográfica nº 1074), en el talud de la carretera que parte del km. 94 de la carretera de los Barrios a Jerez, y conduce a la presa del río Palmones.

La columna se sitúa en el tramo final de la carretera, en las inmediaciones de la presa, la cual se ha construido sobre estos mismos materiales.

La serie es casi vertical, siendo difícil observar la polaridad. El sentido de la serie se ha considerado el mismo al tomado por el Servicio Geológico del Ministerio de Obras Públicas (1976) y por los equipos de campo del Plan Magna (I.G.M.E., inédito).

La potencia total de serie muestreada es de unos 250 m.

La litología de los materiales y sus características principales son iguales a las definidas para el corte anterior.

Unos 500 m. al sur de la columna afloran materiales pertenecientes a la «serie de base» por lo que podría pensarse que los materiales del corte pertenecen a la parte baja de la serie, aunque el contacto no es visible y pudiera ser de tipo mecánico.

Las muestras estudiadas en esta secuencia (fig. 2) son las siguientes:

CR-151. Arcillas verdes, de brillo satinado y pequeñas concentraciones rojizas de óxidos de hierro.
CR-152. Arcillas rojas con abundantes laminillas de mica blanca y concentraciones muy locales de oligisto micáceo. Presentan cristalizaciones secundarias de dolomita.
CR-153. Arcillas verdosas, muy oscuras, con crecimientos secundarios de calcita.

Estas tres muestras no se recogen en la figura anterior, ya que su muestreo, realizado en la parte inferior de la columna, no está en continuidad clara con las muestras siguientes:

CR-154. Arenisca del Aljibe, de colores claros, correspondiente a un banco bastante potente.
CR-155. Arcillas gris rosáceas muy compactas. A la lupa son visibles pequeñas laminillas de moscovita y biotita.
CR-156. Arcillas pardas y grises con concentraciones locales de óxidos de hierro. Presentan pequeñas fracturas rellenas de óxidos de Fe, cuarzo y caolinita, en las que se desarrollan cristales tabulares de baritina.
CR-158. Arcillas gris-azuladas, de fractura astillosa, en niveles delgados. Presentan, como todas las arcillas, concentraciones o recubrimientos de óxidos de hierro.
CR-159. Arenisca del Aljibe, similar a la CR-154.
CR-160. Arcilla marrón oscura, muy compacta, con los característicos recubrimientos de óxidos de hierro y presencia de micas visibles a la lupa.
CR-161. Arenisca del Aljibe.
CR-163. Arcillas marrones, muy deleznables. También en estos niveles son visibles las laminillas de micas detríticas.
CR-164. Arcillas verdes, con brillo satinado. Correspondiente a delgadas intercalaciones arcillosas en un banco grueso de areniscas.
CR-165. Arcillas grises muy compactas en niveles del orden del centímetro, alternando con areniscas de grano muy fino.
CR-166. Areniscas del Aljibe.
CR-168. Arcilla pardo-verdosa con abundantes laminillas de micas detríticas.
CR-169. Arenisca arcillosa pardo-rojiza. Presenta características texturales semejantes a las areniscas del Aljibe, pero con tamaño de grano muy inferior y un porcentaje muy superior de matriz lutítica.
CR-170. Arenisca verdosa de grano fino con manchas pardas de minerales y probablemente geles de hierro. En superficies poco frescas aparecen concentraciones de menas metálicas.
CR-171. Arcillas arenosas con una alternancia fina de colores claros y pardos-rosáceos. Son frecuentes también las concentraciones de óxidos de hierro.

Composición mineralógica de las muestras totales

Las muestras totales han sido estudiadas al microscopio petrográfico, cuando el tamaño de grano lo permitía; por difracción de rayos X y al microscopio electrónico de barrido. Los resultados obtenidos mediante esta última técnica se exponen más adelante.

Estudio al microscopio petrográfico

En la columna de Sierra de Ojén las muestras estudiadas, areniscas, están constituidas fundamentalmente por cuarzo (95-98%). Son muestras claramente bimodales, con los granos de cuarzo distribuidos en dos tamaños.

Los granos de cuarzo más grandes son, generalmente, monocristalinos, presentando «coating» ferruginoso y cemento de cuarzo sintaxial, están muy redondeados y sus características corresponden a cuarzos eólicos.

Los granos de cuarzo de pequeño tamaño, son por el contrario, angulosos, revelando un origen diferente.

Aparece también cuarzo policristalino aunque en proporción muy inferior. Los granos son también redondeados y suelen estar constituidos por pocos cristales con contacto de tipo suturado y en otros casos por un gran número de cristalitos, orientados preferentemente de forma paralela. Al cuarzo policris-

talino puede atribuirsele un origen «primero» metamórfico, posiblemente de bajo grado.

Los feldespatos están mal representados, tratándose de una plagioclasa sódica (oligoclasa) prácticamente sin alterar y marcada según la ley de la albita. Como minerales accesorios aparece mica blanca, en laminillas alargadas que se acomodan a la forma de los granos de cuarzo, biotita decolorada, epidota y turmalina. Existen además una cierta cantidad de opacos (óxidos de hierro).

Las muestras estudiadas corresponden a las siguientes denominaciones:

1. Arenisca (Vatan, 1967).
   Ortocuarcita (Pettijohn, 1957).
2. Arenisca (Vatan, 1967).
   Arenisca arcósica (Subarcosa) (Pettijohn, 1957).

En la columna de la Presa de Palmones las muestras son muy similares a las anteriores. En este caso se han determinado al microscopio dos tipos de feldespatos: microclina y plagioclasa sódica. La microclina ha sido detectada también en rayos X, pero no la plagioclasa, dada su escasa proporción. Este mineral presenta granos redondeados prácticamente sin alterar y las características maclas en enrejado. Las plagioclasas, macladas según la ley de la albita, están bien conservadas.

La matriz de la roca está constituida fundamentalmente por filosilicatos de pequeño tamaño, y óxidos, hidróxidos y geles de hierro. Como accesorios aparecen también turmalina y epidota.

Las rocas estudiadas de este corte pueden clasificarse como sigue:

1. Arenisca (Vatan, 1967).
   Arenisca arcósica-subarcosa (Pettijohn, 1957).
2. Arenisca (Vatan, 1967).
   Grauwaca feldespática (Pettijohn, 1957).

Estudio por difracción de rayos X

En la figura 3 se ha representado la composición mineralógica a lo largo de las columnas (no se ha dibujado una línea continua debido a las grandes variaciones cuantitativas que se dan entre niveles de arcillas y de areniscas).

Tal como puede verse, la composición mineralógica es bastante homogénea cualitativamente en la columna de Sierra de Ojén. El cuarzo es el constituyente detrítico fundamental en las areniscas (76-98%), en tanto que en los niveles arcillosos el porcentaje de cuarzo desciende hasta el 15% siendo los filosilicatos, fundamentalmente caolinita, los componentes más importantes. Los feldespatos se reparten de forma irregular y, aunque en las areniscas se han observado feldespatos al microscopio petrográfico, no han sido detectados por difracción de rayos X. En cambio, aparecen en ciertos niveles arcillosos. Se trata, en unos casos de plagioclasa (3-4%) y en otros de microclina (6-12%), no coexistiendo ambos en la misma muestra.

Una característica importante de este corte es que, mientras en los niveles arcillosos la caolinita es el filosilicato dominante, en los niveles de areniscas no aparece en la muestra total, siendo la mica el único filosilicato detectado (estas micas se han observado también al microscopio petrográfico). Como veremos a continuación, estas diferencias observables en las muestras totales en lo que a naturaleza de los filosilicatos se refiere, se acentúan cuando el estudio se realiza sobre la fracción menor de 2 micras.

En el diagrama triangular de composición representado en la figura 4 se observa una concentración importante de puntos en el campo de las arcillas y otra, inferior, próxima al vértice del cuarzo, correspondiente a las muestras de areniscas.

En la columna de la Presa de Palmones, por el contrario, las muestras presentan una composición muy variable, no solo en lo que se refiere a niveles de areniscas y de arcillas sino, incluso, dentro de estos niveles. En las areniscas s.s. el porcentaje de cuarzo oscila entre 68 y 92% y el feldespato entre 0 y 8%. Como en todas las areniscas del Aljibe, no existe cemento químico y el porcentaje de filosilicatos varía de 2 a 33%. Puede observarse que las variaciones son notables de unas muestras a otras; por ello, la situación de estas muestras en el diagrama triangular de composición (fig. 4) ocupa un amplio margen en la línea Q+Fd—F.

En lo que a los niveles arcillosos se refiere, la variación cuantitativa es aún mayor. Así, el porcentaje de cuarzo oscila de 8 a 50%. Estas últimas muestras deben ser clasificadas como areniscas lutíticas, abundando también las lutitas arenosas. En los niveles arcillosos predomina, en general, la plagioclasa sobre la microclina y el porcentaje de laminares oscila entre 60 y 81%. En las rocas intermedias este porcentaje es del orden del 40%.

Por último, hay que hacer notar la presencia en ambos cortes de menas de hierro (fundamentalmente magnetita y hematites) y, en algunos casos de manganeso (hausmanita), que no se han tabulado, dada su escasa proporción. No obstante, estas menas resultan muy visibles simplemente en el examen visual de las muestras.

Composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras

La fracción menor de 2 micras se ha estudiado por difracción de rayox X y técnicas térmicas. También se ha realizado el estudio de los minerales de la arcilla al microscopio electrónico de barrido.

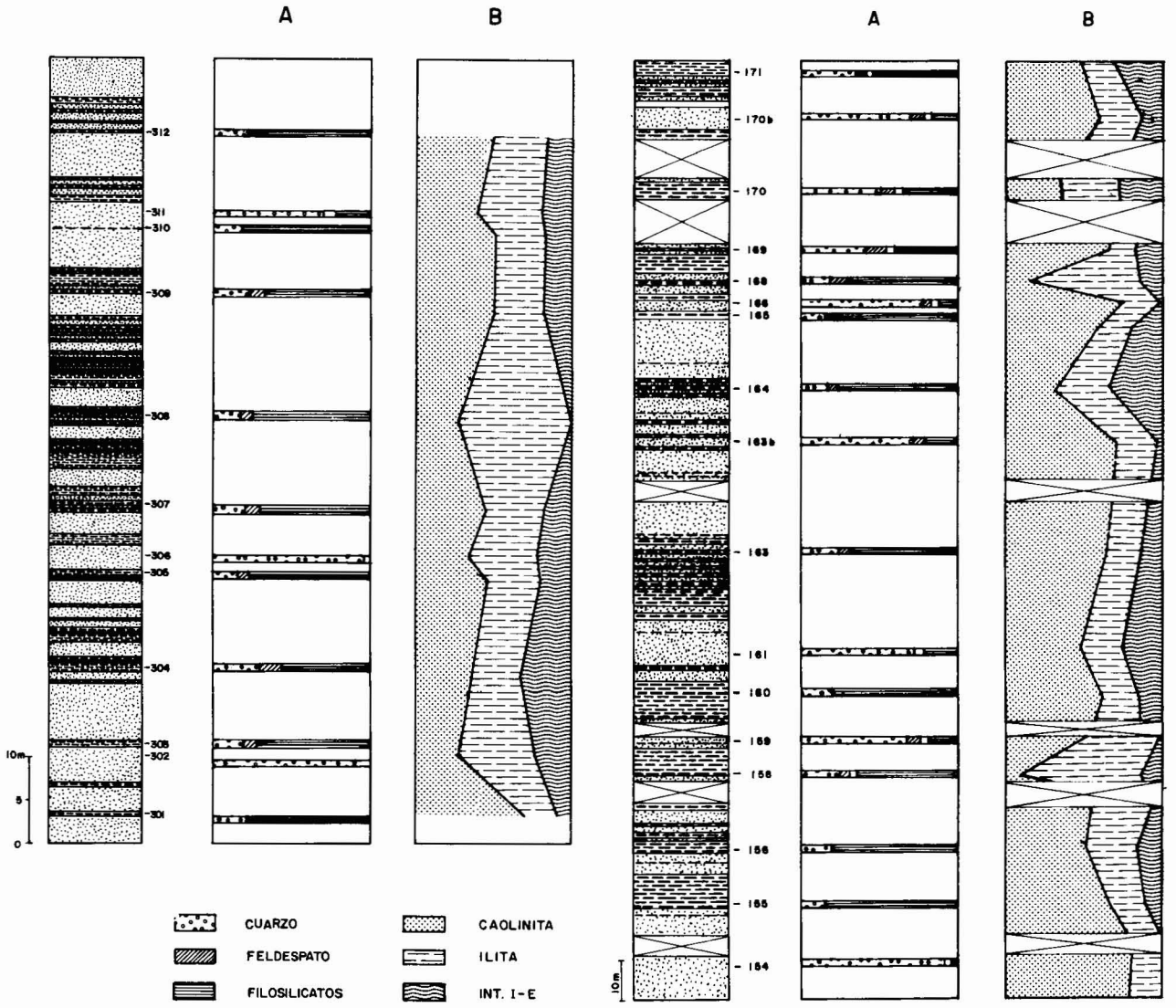


Fig. 3.—Variación de la composición mineralógica de la muestra total (A) y de la fracción menor de 2 micras (B). Sierra de Ojén (izquierda). Presa de Palmones (derecha).

Estudio por difracción de rayos X

La mineralogía de la fracción menor de 2 micras deducida de los diagramas de difracción de rayos X es sumamente homogénea en estos materiales (tablas 1 y 2). Los constituyentes de esta fracción son caolinita+ilita+interestratificados I-E. Aunque estos minerales aparecen de forma continua en toda la columna, los porcentajes varían ampliamente de unas muestras a otras.

En el diagrama triangular (fig. 5) correspondiente a las muestras de Sierra de Ojén, los puntos aparecen bastante agrupados, mostrando las pequeñas variaciones cuantitativas que ya hemos señalado. Unicamente dos muestras (301 y 308) se sitúan en la línea caolinita-ilita, dada la ausencia de interestratificados en las mismas. En el corte de Presa de Palmones, por el contrario (fig. 5) las muestras presentan una variación mineralógica cuantitativa mucho más notable.

Las características más destacables de los minerales de la arcilla se exponen a continuación:

La caolinita, mineral que caracteriza a estas series, se ha determinado siguiendo el esquema de Hinckley (1963) y los de Brindley y Robinson (1946) y Galán (1974) en diagramas de polvo desorientado realizado a 0,5°/min. Este mineral muestra características diversas, en la columna de sierra de Ojén se han podido clasificar en dos grupos:

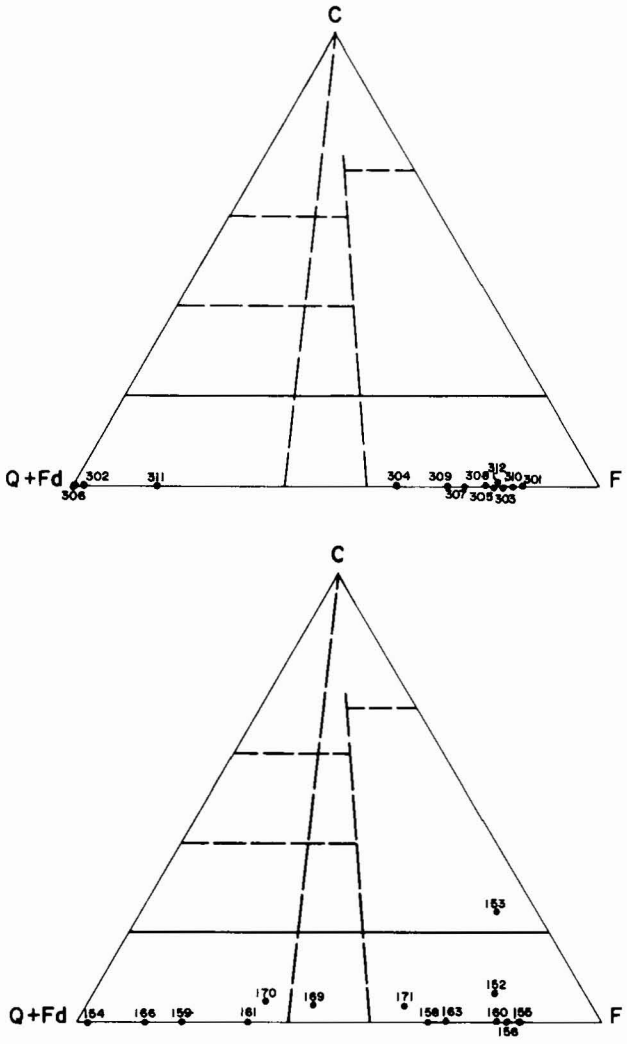


Fig. 4.—Diagramas triangulares de composición de la muestra total. Sierra de Ojén (superior). Presa de Palmones (inferior).

1. Caolinitas desordenadas (Brindley y Robinson, 1946).
   Caolinitas parcialmente ordenadas (pMpO) (Galán, 1974).
   Caolinitas desordenadas (pM) (Galán, 1974).
2. Caolinitas medianamente ordenadas (Brindley y Robinson, 1946).
   Caolinitas parcialmente desordenadas (Tpd) (Galán, 1974).

Los índices de cristalinidad de Hinckley son menores de 0,47 (0,12-0,47) para las arcillas y mayores de 0,43 (0,43-0,87) para las areniscas.

En la secuencia de Presa de Palmones la clasificación es la siguiente:

1. Caolinitas desordenadas (Brindley y Robinson, 1946).
   Caolinitas desordenadas (pM) (Galán, 1974).
   Caolinitas parcialmente ordenadas (pMpO) (Galán, 1974).
   Caolinitas intermedias (T-pM) (Galán, 1974).

Los valores del índice de Hinckley (0,10-0,90) son bastante más variables que en el corte anterior.

La ilita constituye también en estas columnas un componente detrítico importante. El estudio cristaloquímico de este mineral es prácticamente imposible dada la presencia constante de interestratificados I-E, cuyo pico, ancho en general, engloba en gran parte la reflexión de la ilita. Unicamente se ha determinado la relación de intensidades I(002)/I(001), obteniéndose los valores siguientes:

Tabla 1.—**Composición mineralógica. Fracción menor de 2 micras. Sierra de Ojén.**

	K	I	I-E
CR-301	75	25	Tr
CR-302	36	42	22
CR-303	25	50	25
CR-304	37	30	33
CR-305	47	35	18
CR-306	34	43	23
CR-307	46	35	19
CR-308	26	74	Tr
CR-309	51	31	18
CR-310	52	32	16
CR-311	38	40	22
CR-312	49	34	17

K = caolinita.
I = Ilita.
I-E = Interestratificados ilita-esmectita.

Tabla 2.—**Composición mineralógica. Fracción menor de 2 micras. Presa de Palmones.**

	K	I	I-E
CR-152	26	58	16
CR-153	38	42	20
CR-154	53	47	—
CR-155	65	23	12
CR-156	51	32	17
CR-158	10	77	13
CR-160	60	23	17
CR-161	48	25	27
CR-163	62	26	12
CR-164	29	36	35
CR-165	57	22	21
CR-166	65	35	—
CR-168	16	68	16
CR-169	65	16	19
CR-170	36	35	29
CR-171	51	18	31

K = caolinita.
I = Ilita.
I-E = Interestratificados ilita-esmectita.

A) Columna de Sierra de Ojén.

	I(002)/I(001)
CR-301	0,18
CR-302	0,24
CR-303	0,25
CR-304	0,19
CR-305	0,13
CR-306	0,25
CR-307	0,17
CR-308	0,26
CR-309	0,17
CR-310	0,40
CR-311	0,30
CR-312	0,18

B) Columna de Presa de Palmones.

	I(002)/I(001)
CR-151	0,18
CR-153	0,21
CR-154	0,40
CR-155	0,28
CR-156	0,31
CR-158	0,41
CR-160	0,36
CR-161	—
CR-163	0,28
CR-164	0,34
CR-165	0,26
CR-166	0,28
CR-168	0,32
CR-169	—
CR-170	0,33
CR-171	0,30

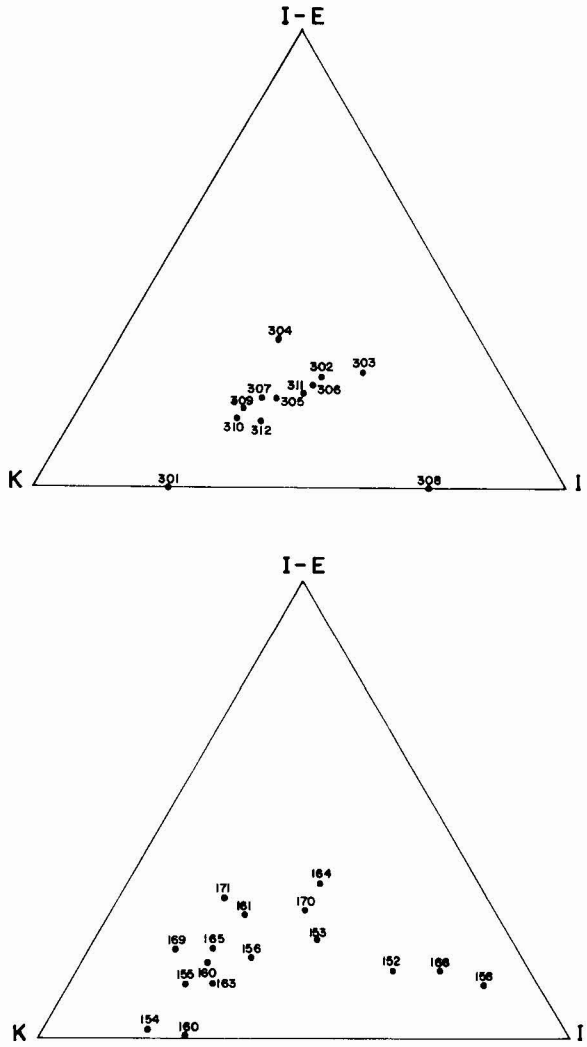


Fig. 5.—Diagramas triangulares de composición de la fracción menor de 2 micras. Sierra de Ojén (superior). Presa de Palmones (inferior).

En la columna de Sierra de Ojén los valores son muy constantes en los niveles de areniscas (0,24-0,30), oscilando entre límites más amplios (0,17-0,40) en los niveles arcillosos. En la columna de la Presa de Palmones los valores oscilan entre límites bastante amplios (0,18-0,41), no observándose ninguna relación clara con la litología ni con la posición de las muestras en la columna.

Los interestratificados I-E presentan características similares en todas las muestras estudiadas. En la columna de Sierra de Ojén, la primera reflexión del interestratificado, bien definida, se sitúa alrededor de 10,5 Å, lo que, en teoría permite calcular el porcentaje de cada componente del interestratificado. No ocurre igual tras el tratamiento con etilenglicol (EG) donde las líneas se abren y es difícil observar un máximo de difracción.

El calentamiento a 550°C hace colapsar esta reflexión a 10 Å. El comportamiento de estos minerales tras el tratamiento con EG indica que se trata de minerales interestratificados con composición variable que, en la mayoría de las muestras oscila entre 100% de láminas de ilita a 85% de láminas de este componente.

En la columna de Presa de Palmones, el tanto por ciento y la composición de los interestratificados I-E es, en cambio, muy variable de unas muestras a otras e incluso dentro de una misma muestra (ver fig. 6).

Estudio por ATD y TG

Las curvas representadas en la figura 7 corresponden a muestras de estas columnas constituidas por caolinita, ilita e interestratificados I-E. La diferencia entre ellas radica fundamentalmente en el contenido en caolinita. Así, las curvas 301 y 308 se diferencian

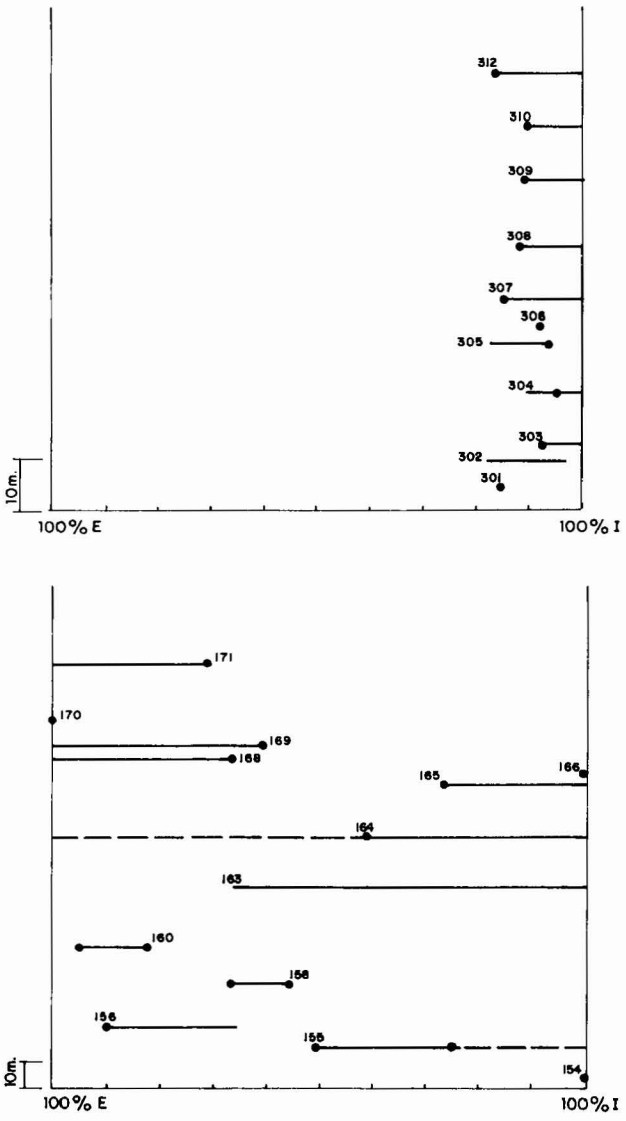


Fig. 6.—Gama de composición para los interestratificados I-E en los materiales de Sierra de Ojén (superior) y Presa de Palmones (inferior).

cuantitativamente en el porcentaje de caolinita. La diferencia entre éstas y la curva 303 radica en cambio en el contenido de interestratificados. Las curvas 311 y 154 muestra unas características diferentes.

La mayor parte de las curvas presentan un endotérmico alrededor de 110°C, abierto y no muy agudo, seguido por otro efecto endotérmico mucho más marcado, alrededor de 530°C y un sistema endo-exotérmico a 915-960°C. El primer endotérmico es debido en estas muestras a los interestratificados más la ilita y el segundo a la caolinita. La asimetría de este último endotérmico nos da valores (0,87-1,06) que corresponden a los atribuidos por Robertson et al. (1954) a caolinitas Tc, aunque este criterio no nos parezca demasiado válido, ya que la baja temperatura de este endotérmico indica más bien la presencia de caolinitas desordenadas.

Las curvas 311 y 154 (areniscas), como ya se ha señalado, se diferencian de las anteriores y estas diferencias se deben, no tanto a la proporción en que aparecen los diferentes minerales de la arcilla, como a la presencia de materia coloidal. En efecto, estas muestras presentan también endotérmico a 530°C propio de la caolinita más otra serie de endotérmicos (50°, 83° y 280°C). Estos endotérmicos, especialmente el de 83°C es muy intenso y correspondería a geles de aluminio. Las curvas son bastantes similares a las presentadas por Mackenzie (1957) y Mackenzie et al. (1962) para estos materiales.

Estudio al microscopio electrónico de barrido

Se han estudiado por MEB una serie de muestras, fundamentalmente areniscas (litología dominante en estas series) y niveles arcillosos intercalados en aquellas. Los resultados más significativos se exponen a continuación.

Areniscas

A continuación se describen someramente las características morfológicas de los minerales fundamentales que forman el esqueleto de las areniscas, así como de los minerales de la arcilla que forman la matriz intersticial y los procesos diagenéticos observados que han podido dar lugar al desarrollo de dichos minerales.

El cuarzo, mineral claramente mayoritario (80-90%, aproximadamente) en este tipo de rocas, se encuentra con morfologías diferentes. En principio podemos distinguir dos grandes grupos:

— Cuarzos detríticos.
— Cuarzos autigénicos.

Dentro de los cuarzos detríticos se pueden distinguir a su vez cuarzos con caracteres eólicos y otros con marcas de transporte por agua. Los cuarzos eólicos dominan claramente en este tipo de areniscas y son fácilmente caracterizables por su superficie «escamosa» («upturned plates» de Margolis y Krinsley, 1971) Cuarzos de este tipo pueden observase en las fotos 1 y 7 (láminas I y II), por ejemplo. Existen, además, otros granos de cuarzo con huellas de choque y fractura concoidea que indican un transporte acuático en un medio de alta energía (fluvial o costero). Cuarzos de este tipo pueden apreciarse en la foto 2 (lámina I). Los cuarzos detríticos han sufrido además un proceso de disolución y ofrecen morfologías de detalle muy caractertísticas (foto 3, lámina I).

Los cuarzos autigénicos son idiomorfos y constituyen un cemento sintaxial que, a veces envuelve a los

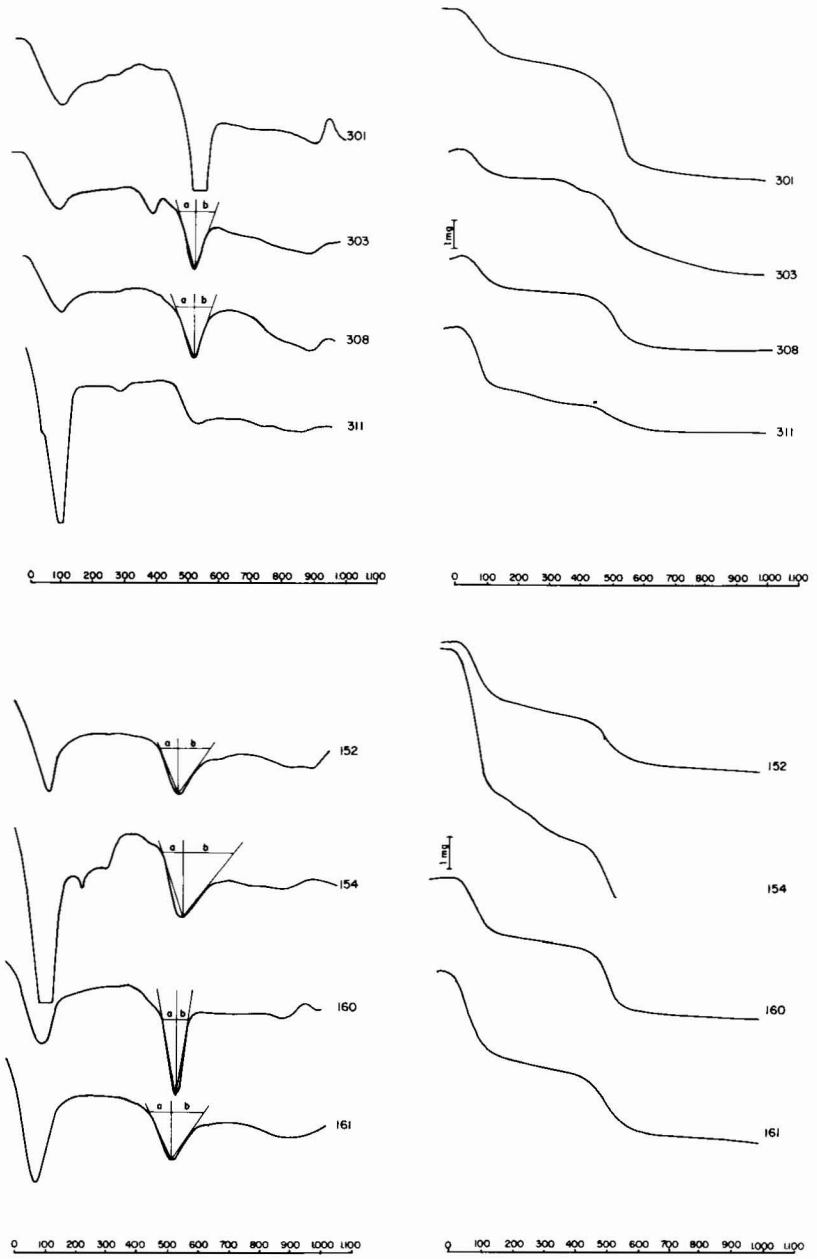


Fig. 7.—Diagramas de ATD y TG realizados a la fracción menor de 2 micras. Sierra de Ojén (superior). Presa de Palmones (inferior).

minerales arcillosos interestratificados (I-E) tal como se observa en la foto 6 (lámina II). Dado su origen aparecen relacionados íntimamente con otros minerales arcillosos diagenéticos (ilitas fibrosas y caolinitas) (fotos 4 y 5, láminas I y II) y en otras ocasiones con geles y óxidos de hierro (foto 14, lámina IV).

Los feldespatos cuando están presentes, muestran frecuentemente morfologías subidiomorfas y en ocasiones hábito de adularia. El análisis realizado a estos feldespatos indica siempre la presencia de poco potasio y amplio grado de silicificación. Es también posible observar como se está produciendo la disolución frecuente de los feldespatos siguiendo las líneas de exfoliación (foto 12, lámina IV).

Las micas e ilitas aparecen uniformemente repartidas en todas las muestras de estas series. Las morfologías encontradas son de dos tipos: laminares y fibrosas. Las micas e ilitas laminares se han interpretado, por su irregularidad y orientación, como minerales heredados, a partir de los cuales se desarrollan las ilitas

fibrosas, como las descritas por McHardy et al. (1982) y Huggett (1984). Los ejemplos de este tipo de transformaciones son numerosas (fotos 2, 4 y 5; láminas I y II, por ejemplo). Aparecen naturalmente relacionadas con otros minerales diagenéticos y, en algunos casos (foto 5, lámina II) la ilita parece ser el último mineral en formarse.

Los interestratificados I-E son también minerales muy frecuentes como matriz intersticial de estas rocas aunque aparecen en pequeña proporción en relación con otras unidades estudiadas. Los que han podido determinarse al MEB son en algún caso autigénicos. Como se ha indicado antes, englobando estos interestratificados se ha desarrollado cemento silíceo (foto 6, lámina II). En otros casos los interestratificados I-E están desarrollándose a partir de micas detríticas, lo que nos hace pensar que en su mayoría han sido heredados como tales.

La caolinita es el mineral arcilloso más abundante en las rocas de estas series, donde llega a alcanzar más del 75% de la fracción menor de 2 micras. En las areniscas se han identificado fácilmente las caolinitas diagenéticas con morfología «en acordeón» («face to face»), constituyendo generalmente un «pore filling» (fotos 7, 4 y 8; láminas I y II). En la foto 7 la caolinita aparece relacionada con interestratificados I-E, siendo claramente posterior a éstos, lo que indicaría un origen telodiagenético (Choquette y Pray, 1970). En la foto 4 aparece en relación con cuarzos secundarios, los poros están rellenos por ilitas fibrosas y caolinitas. La foto 8 muestra en detalle este tipo de caolinita. En todos los casos estos minerales parecen rellenar el último poro, indicando probablemente un avivamiento en la entrada de aguas meteóricas y su formación en la telodiagénesis.

Los minerales de hierro que tiñen las areniscas de estas series de un típico color amarillo (al microscopio petrográfico se observa «coating» ferruginoso en torno a los cuarzos detríticos), se han podido observar también el MEB, donde aparecen formando esferulitos (foto 14, lámina IV).

Lutitas arcillosas

Las rocas típicamente arcillosas en general se observan mal al MEB debido a un recubrimiento «amorfo» de óxidos de hierro y manganeso (foto 9, lámina III). Se ha podido observar, no obstante, las transformaciones de micas detríticas de morfología laminar en interestratificados I-E (láminas con bordes rizados), tal como se muestra en las fotos 10 y 11 (lámina III).

Las caolinitas, dado que no presentan morfologías características de neoformación, suponemos que son en su gran mayoría heredadas.

En este tipo de muestras se han puesto de manifiesto, no obstante, otros tipos de estructuras. Son frecuentes, por ejemplo, los esferulitos, generalmente de minerales de hierro. así, las fotos 12 y 13 (lámina IV) muestran esferulitos de jarosita.También son frecuentes las piritas autigénicas formando agregados constituidos por numerosos cristales idiomorfos de pirita de morfologías cúbicas (foto 15, lámina IV).

Discusión y conclusiones

Las dos secuencias estudiadas presentan una serie de características comunes que se resumen a continuación:

Las muestras de areniscas son claramente bimodales, con cuarzos eólicos de gran tamaño y cuarzos acuáticos mucho menores.

Ausencia de carbonatos tanto detríticos como químicos.

Los minerales de la arcilla heredados presentan características similares en ambas series.

Los minerales diagenéticos son de forma general comunes también para ambas series.

Por otra parte, se han podido poner de manifiesto algunas diferencias entre ambas series que resumimos en el cuadro siguiente:

Corte de Sierra de Ojén (A)	Corte de Presa de Palmones (B)
1. Características de las muestras totales	
— Existencia de dos tipos de rocas: Areniscas y arcillas.	— Presencia de rocas intermedias: areniscas lutíticas y lutitas arenosas.
— Composición total de las areniscas muy homogénea.	— Composición total de las areniscas muy variable.
— Ausencia de feldespatos en los niveles de areniscas.	— Presencia constante de feldespatos en los niveles de areniscas.
— Matriz muy escasa en las areniscas.	— Tanto por ciento de matriz muy variable en las areniscas.
2. Fracción menor de 2 micras	
— Porcentaje de caolinita bajo y constante en las areniscas (30%).	— Porcentaje de caolinita muy elevado en las areniscas (48-60%).
— Composición de la ilita I(002)/I(001) constante en las areniscas.	— Valores muy variabales de I(002)/I(001) en las ilitas de los niveles de areniscas.
— Interestratificado I—E muy rico en láminas de ilita.	— Interestratificado I-E de composición muy variable, llegando a esmectita s.e.

Teniendo en cuenta estos datos se pueden hacer una serie de apreciaciones generales:

1. El conjunto de características similares para los materiales estudiados indica un área fuente común. Nos basamos especialmente en las características de los minerales heredados: cuarzos eólicos y no eólicos, feldespatos, micas, caolinitas e interestratificados I-E.

2. Los minerales transformados o neoformados (cuarzos sintaxiales, caolinitas diagenéticas, ilitas fibrosas, interestratificados I-E) indican asimismo que el ambiente químico durante el depósito y la diagénesis fue similar en ambas series.

3. La gran variedad litológica en la serie de Presa de Palmones, así como la mayor heterogeneidad mineralógica (especialmente el contenido muy superior en caolinita), indican aportes menos seleccionados para esta serie, en relación muy probablemente con una situación paleogeográfica más proximal.

4. Los valores de I(002)/I(001) en las ilitas de las areniscas de la serie de Sierra de Ojén son muy constantes y pueden relacionarse con transformaciones químicas sufridas por este mineral durante la diagénesis. Por el contrario, en el corte de la Presa de Palmones este efecto no es observable. Más claro aún es el efecto de la diagénesis sobre la composición de los minerales interestratificados I-E (Velde, 1985). Así, comparando los diagramas de la figura 6 pueden deducirse una diagénesis avanzada para la serie de Sierra de Ojén, en tanto que en los materiales de Presa de Palmones, la diagénesis parece no haber afectado a estos minerales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Carrasco y a D. M. Esteras su inestimable ayuda en la localización, interpretación estratigráfica, datación y muestreo de los cortes estudiados. Asimismo agradecen a la Dra. Marfil, y al Dr. Soriano su ayuda en la interpretación de los datos del M.E.B.

Referencias

Bourgois, J. (1978). La tranversale de Ronda, Cordilleres Bétiques, Espagne. Données geologiques pour un modèle d'évolution de l'arc de Gibraltar. *Extrait des Ann. Sci. de la Univ. de Bensacon Geologie,* 445 pp.

Brindley, G. W. y Robinson, K. (1946). The structure of kaolinite.d *Mineralog. Mag.,* 27, 242-253.

Chauve, P. (1967). Etude géologique du Nord de la province de Cádiz (Espagne meridionale). *Mem. I.G.M.E.,* 69, 377 pp .

Choquette, P. W. y Pray, Ll. C. (1970). Geologic nomenclature under classification of porosity in sedimentary carbonate. *Bull. Am. A.A.P.G.,* 54-2, 207-250.

Didon, J. (1969). *Etude gélogique du campo de Gibraltar (Espagne meridionale).* Thése. Fac. Sc. París, 539 pp.

Didon, J.; Durand-Delga, M. et Kornprobst, J. (1973). Homologies géologiques entre les deux rives du Détroit de Gibraltar. *Bull. Soc. Geol. Fr.,* 15, 77-105.

Esteras, M. (1982). Geología de la orilla europea del Estrecho de Gibraltar. Col. Inter. sobre la factibilidad de una comunicacióan fija a través del Estrecho de Gibraltar. *SECEGSA.* Madrid I, 305-324.

Esteras, M. (1984). Geología del Estrecho de Gibraltar. *Rev. Obras Públicas,* 3227, 505-527.

Galán, E. (1974). Caolines españoles, geología, mineralogía y génesis. *Soc. Esp. Cerám. Vidrio.* Madrid, 159 pp.

Gavala, J. (1924). Mapa geológico de la provincia de Cádiz. *I.G.M.E.*

Hinckley, D. N. (1963). Variability in crystallinity values among the kaolin deposits of the Coastal Plain of Georgia and South Carolina. Clays Clay Miner. 11th Conf., 229-235.

Huggett, J. M. (1984). Controls on mineral autigenesis in coal measure sandstone of the east Mittlants, United Kingdom. *Clay minerals,* 19, 343-357.

Mackenzie, R. C. (1957). Oxides and Hydroxides of Higher-Valency Elements. In: *The Differential Thermal Analysis.* Vol. 1 (R. C. Mackenzie, ed.) Academic Press. London. 285.

Mackenzie, R. C.; Meldau, R. y Gard, J. A. (1962). Oxides and Hydroxides of Higher-Valency Elements. In: *Differential Thermal Analysis.* Vol. 1 (R. C. Mackenzie, ed.) Academic Press. London, 285.

McHardy, W. J.; Wilson, M. J. and Tait, J. M. (1982). Electron microscope and X-rays diffraction studies of filamentous illite clay from sandstones of the Magnus field. *Clay Minerals,* 16, 23-41.

Margolis, S. V. y Krinsley, D. (1971). Submicroscopic frosting on eolian and subaqueous sands. *Geol. Soc. Am. Bull.,* 82, 3395-3406.

Ortega Huertas, M.; Sebastián Pardo, E.; Rodríguez Gallego, M. y López Aguayo, F. (1983). Mineralogía de las arcillas en sedimentos turbidíticos de las unidades del Campo de Gibraltar (Cádiz). *Tecniterrae,* 51, 43-48.

Pendon, J. G. (1978). *Sedimentación turbidítica en las Unidades del Campo de Gibraltar.* Tesis Doctoral. Univ. Granada, 261 pp.

Pendon, J. G. y Polo, M. D. (1975). Estudio mineralógico de las areniscas de la serie de Punta Carnero (unidad de Algeciras) y de las areniscas del Aljibe (unidad del Aljibe). Campo de Gibraltar. *Acta Geol. Hisp.,* 10, 146-149.

Pettijohn, F. J. (1957). Sedimentary rocks. Ed. Harper, New York, 718 pp.

Peyre, Y. (1974). *Geologie d'Antequera et de sa region (cordilleres Bétiques Espagne).* Thèse Univ. París, 528 pp.

Robertson, R. H. S.; Brindley, G. W. y Mackenzie, R. C. (1954). Simple Phyllosilicates. In: *The Differential Thermal Investigation.* (R. C. Mackenzie ed.). Academic Press. London, 526 pp.

Rodríguez Jiménez, P. (1987). *Mineralogía y génesis de las arcillas del Campo de Gibraltar.* Tesis Doctoral Univ. Málaga, 374 pp.

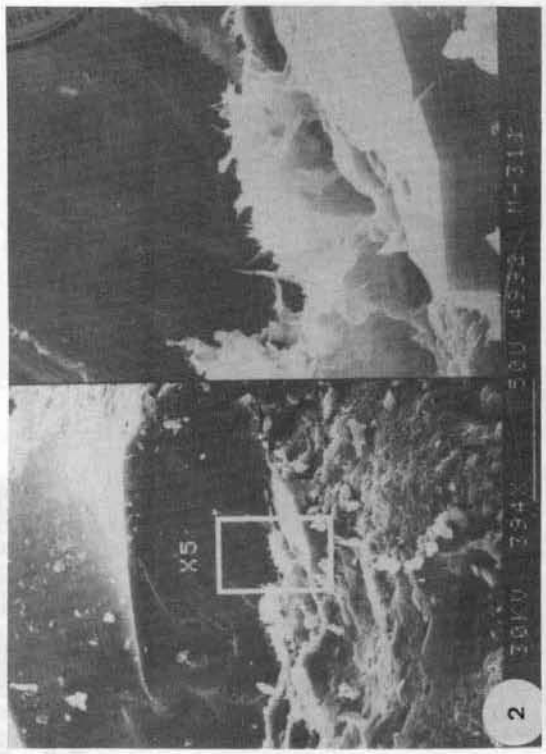
Seceg (1982). Estudio monográfico sobre la geología del Estrecho de Gibraltar. 261 pp.

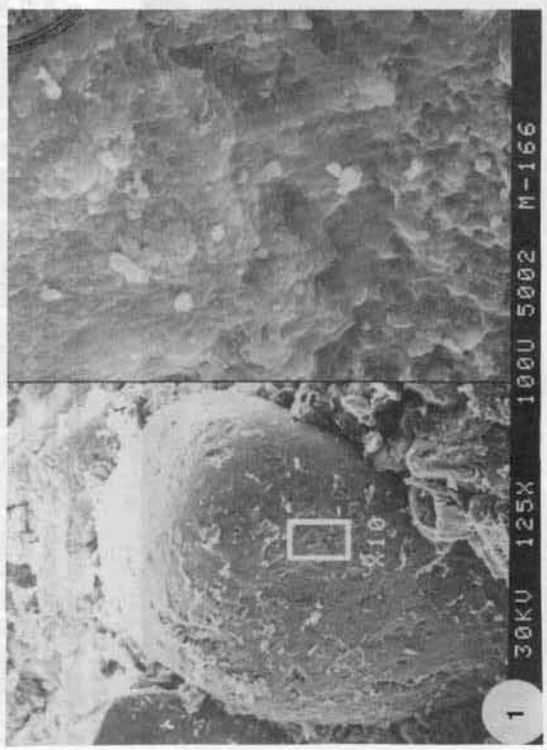
Servicio Geológico MOPU (1976). Sondeos de reconocimiento en la Presa de Charco Redondo (Ed. reducida).

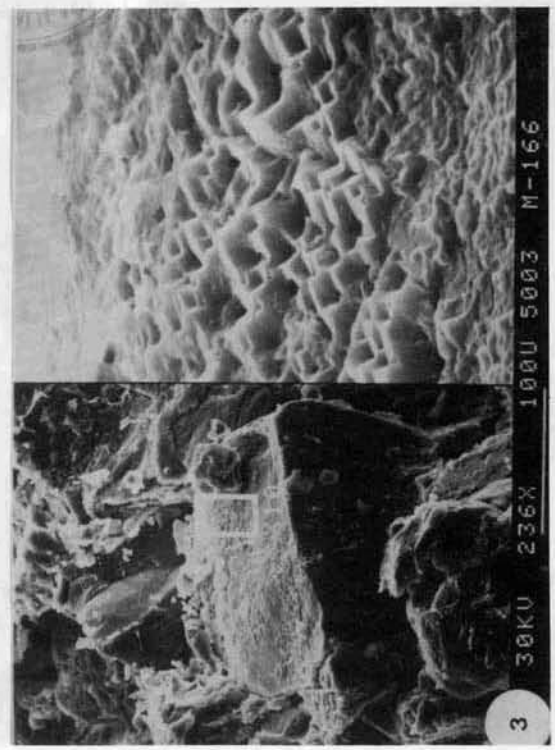
Vatan, V. M. (1967). *Manual de sedimentología.* Ed. Technip. París, 397 pp.

Velde, B. (1985). Possible chemical controls of illite/smectite composition during diagenesis. *Mineral Mag.,* 49-3, 387-392.

Recibido el 4 de noviembre de 1987
Aceptado el 22 de febrero de 1988







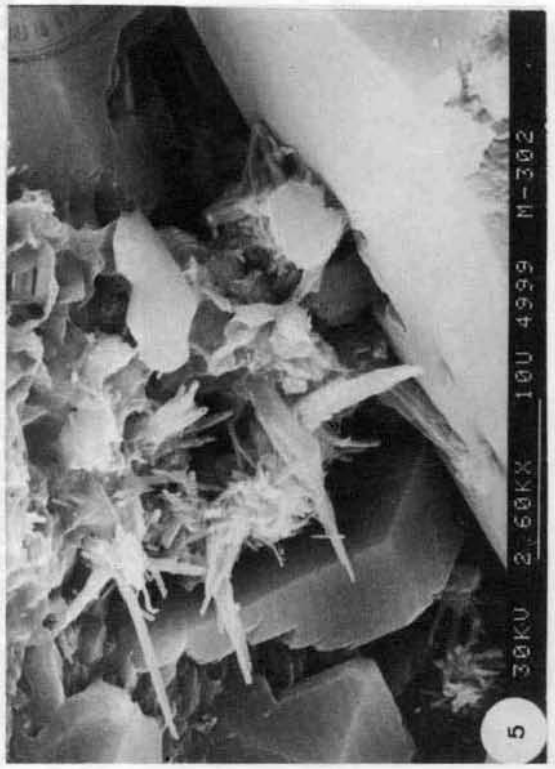
LAMINA I

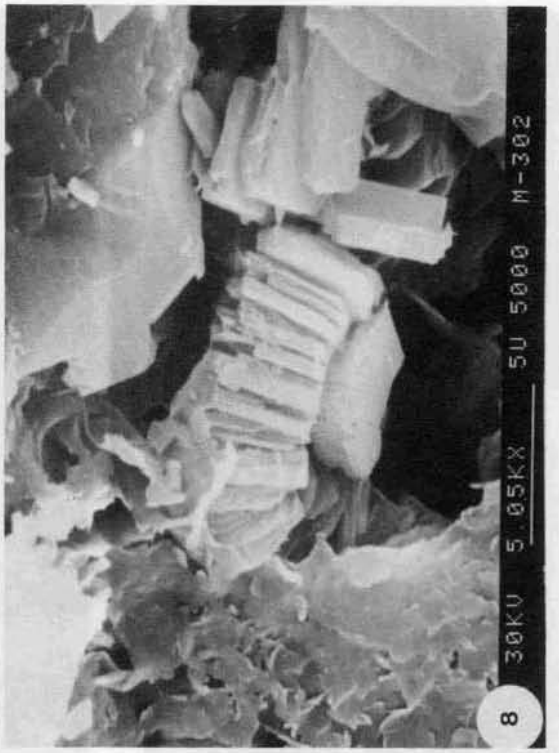
1.—Izquierda: Cuarzo eólico con superficie escamosa. Derecha: Detalle de la superficie (x10).

2.—Izquierda: Grano de cuarzo con fractura concoidea, «pore lining» de ilita fibrosa y cemento siliceo sintaxial. Derecha: Detalle de la foto anterior (x5) donde se muestra el desarrollo de las ilitas fibrosas.

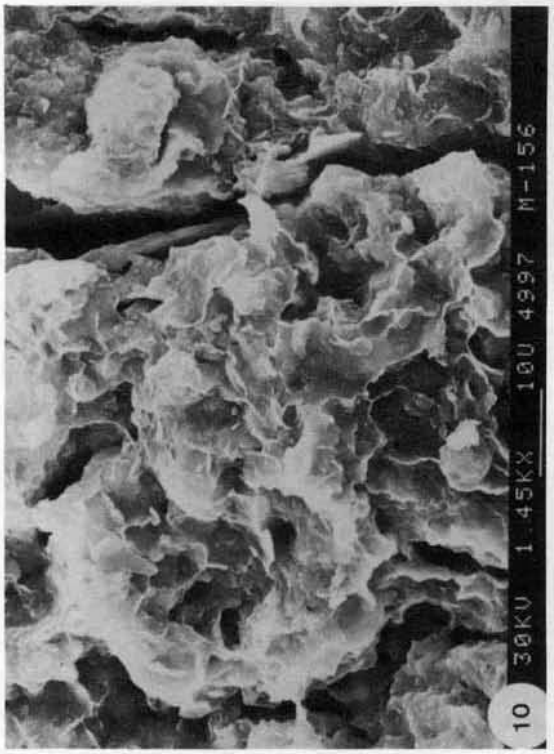
3.—Izquierda: Grano de cuarzo con superficies de disolución. Derecha: Detalle de la foto anterior (x10). Morfología de la superficie.

4.—Cemento sintaxial de cuarzo y posterior «pore lining» de ilitas fibrosas y «pore filing» de caolinitas dispuestas en acordeón.





LAMINA II.
5.—Ilitas fibrosas, desarrolladas a partir de ilitas laminares, rellenando poros dejados por el cemento sintaxial de cuarzo.
6.—1. Anatasa antigénica.—2. Interestratificados laminares, presumiblemente autigénicos, envueltos por cuarzo sintaxial.
7.—«Pore filling» de caolinitas vermiculares, interestratificados de tipo I-E y superficies de cuarzo eólico en el ángulo inferior derecho.
8.—Detalle de los gruesos paquetes de caolinitas, rellenando parte de la porosidad dejada por el cemento siliceo al crecer.

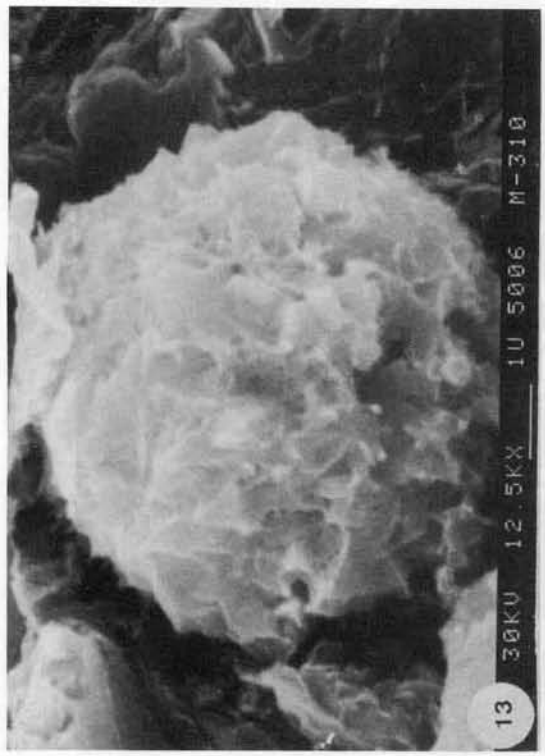


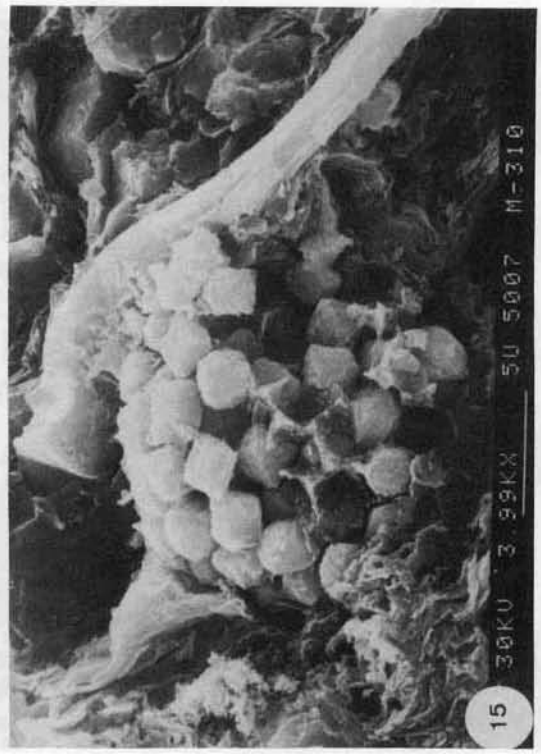
LAMINA III.

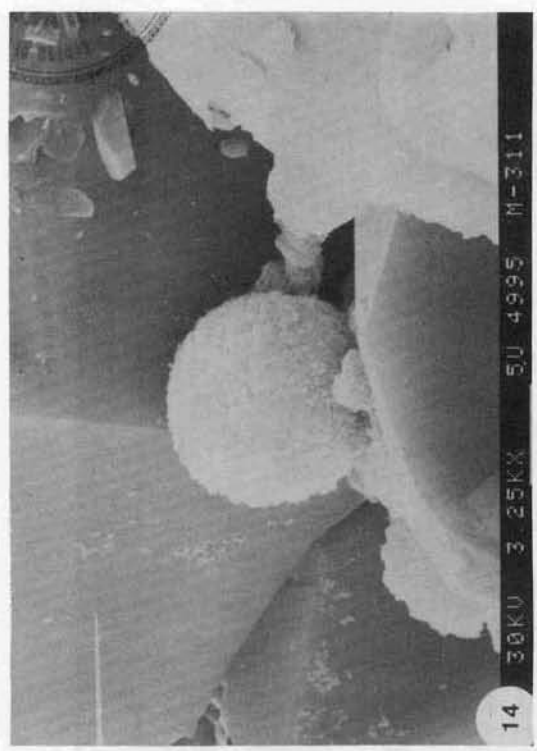
9.—Recubrimiento amorfo de óxidos de Fe y Mn.

10.—Láminas con bordes rizados de interestratificados irregulares I-E.

11.—Láminas de mica detrítica e interestratificados desarrollándose a partir de aquella.







LAMINA IV.
12.—1. Feldespato potásico con disolución avanzada.—2. Concreción esférica de jarosita.
13. Detalle de la concreción de la foto anterior.
14. Cristales autigénicos de cuarzo y concreción de geles de hierro.
15.—Agregado esférico de cristales de pirita con morfologías cúbicas.