

## Bauxitas kàrsticas juràsicas en la zona subbètica (Zaradilla de Totana, prov. de Murcia, sureste de España): Interpretaci3n paleogeogràfica

J.A. VERA<sup>(1)</sup>, J.M. MOLINA<sup>(1,3)</sup>, A. MOLINA-DÍAZ<sup>(2,3)</sup> y P.A. RUIZ-ORTIZ<sup>(1,3)</sup>

(1) Departamento de Estratigrafía y Paleontología. Facultad de Ciencias. Universidad. 18071 Granada

(2) Departamento de Química Analítica. Universidad de Granada.

(3) Colegio Universitario de Jaén

### RESUMEN

Los yacimientos de bauxitas de Zaradilla de Totana (Murcia) se localizan en materiales juràsicos del Subbètico interno. Las bauxitas se emplazan rellenando cavidades kàrsticas en el seno de calizas del Lias infradomerense indicando claramente una etapa de emersi3n de un umbral pelàgico que pudo durar parte del Lias superior y del Dogger.

*Palabras claves:* Bauxitas. Paleokarst. Juràsico. Subbètico. Discontinuidad estratigràfica.

### ABSTRACT

The bauxite orebody of Zaradilla de Totana (Murcia, SE of Spain), is hosted in jurassic materials of the Internal Subbetic. This palaeogeographic realm was during the Middle and Upper Jurassic a little subsident sedimentary swell in which emersion and karstification periods occurred.

The bauxites fill karstic caves eroded in the limestones of the Infradomerian Lias, below a main disconformity over which Upper Jurassic pelagic limestones and ammonitic Ross facies are disposed. The bauxites and the overlying unconformity were generated during an emersion stage. The studied bauxites make up an orebody analog to those described in others alpine mediterranean realms (Apennines, Dinarides, Alps) which are also in relation with a disconformity generated in a continental margin.

*Key words:* Bauxites. Paleokarst. Jurassic. Subbetic. Paraconformity. Disconformity.

### INTRODUCCI3N

Al norte de Zaradilla de Totana (provincia de Murcia) se localiza un peque1no yacimiento de bauxitas, que ha sido objeto de explotaci3n comercial. El 1nico trabajo publicado sobre la composici3n y gènesis de estas bauxitas es el de Alias *et al.* (1972); esta cita bibliogràfica

ha sido recogida en numerosos trabajos posteriores, entre ellos en la monografìa de bauxitas kàrsticas de Bardossy (1982) donde se cita como el 1nico yacimiento de bauxitas de las Cordilleras Bèticas. En la memoria del mapa geol3gico (Paquet *et al.* 1974) se trata muy brevemente sobre este yacimiento y se estima de escaso interès econ3mico. Seyfried (1978) describe la serie estratigràfica de los materiales juràsicos donde se encajan las bauxitas y valora el significado paleogeogràfico de las mismas como indicadores de una emersi3n, durante el Juràsico. Vera (1984a) tipifica las discontinuidades estratigràficas en materiales pelàgicos y basàndose en este ejemplo establece un tipo relacionado con emersiones locales de umbrales pelàgicos.

En el presente trabajo se hace un estudio monogràfico de los materiales bauxìticos, con determinaciones de abundancia de los 3xidos de aluminio y de hierro mediante la tècnica seguida por el U.S. Geological Survey, basada en Shapiro y Brannock (1962), modificada por nosotros (Molina-Diaz *et al.* 1986). Al mismo tiempo se ha realizado un estudio exhaustivo en el terreno y se ha levantado un mapa detallado del afloramiento. Se ha prestado especial atenci3n a la morfologìa de los contactos, con el fin de determinar la existencia de superficies de paleokarst y de diques neptùnicos, y establecer su relaci3n con los materiales bauxìticos.

### LOCALIZACI3N GEOGRÀFICA Y GEOL3GICA

El yacimiento que ha sido objeto de explotaci3n se localiza en la Hoja 923 (Coy) del Mapa Topogràfico (E.1:50.000) del Servicio Geogràfico del Ejèrcito, en el

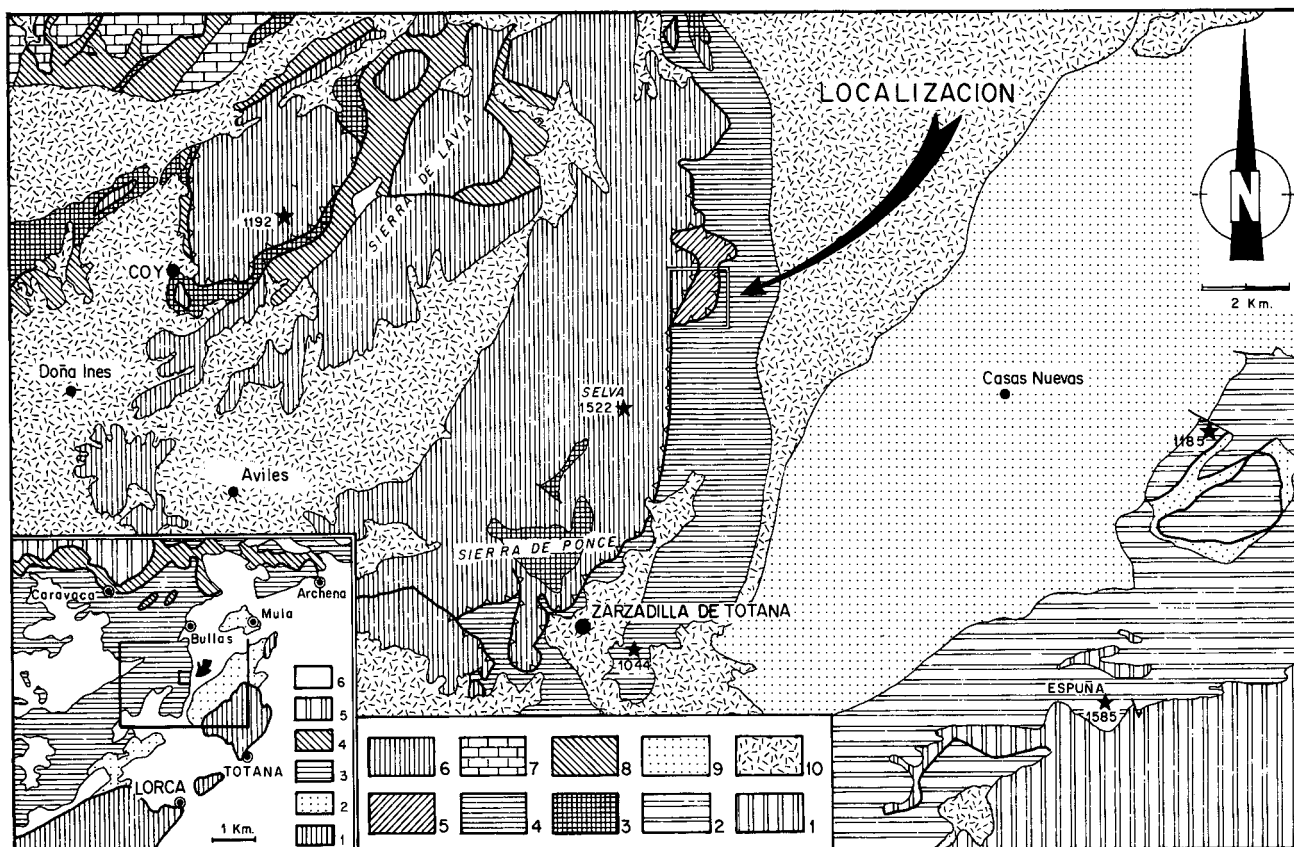


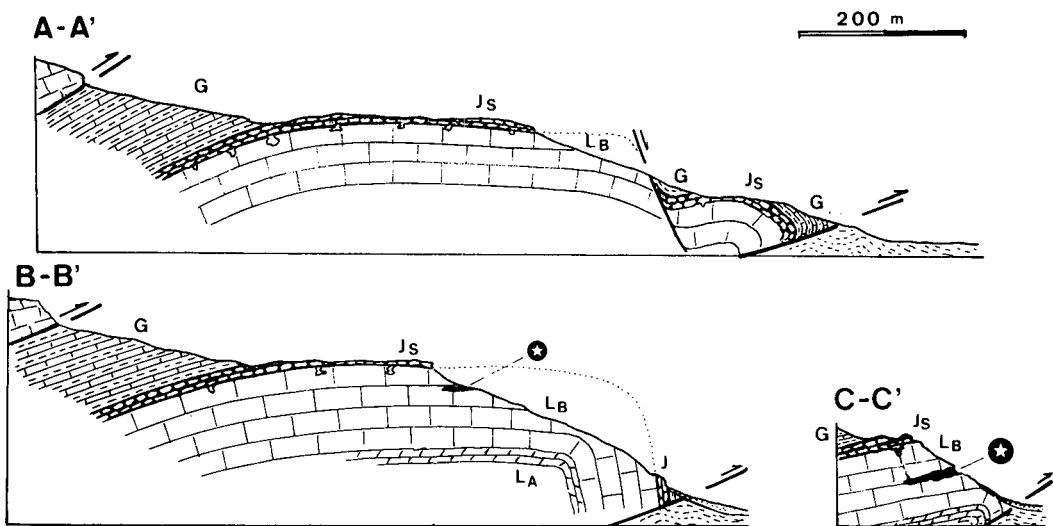
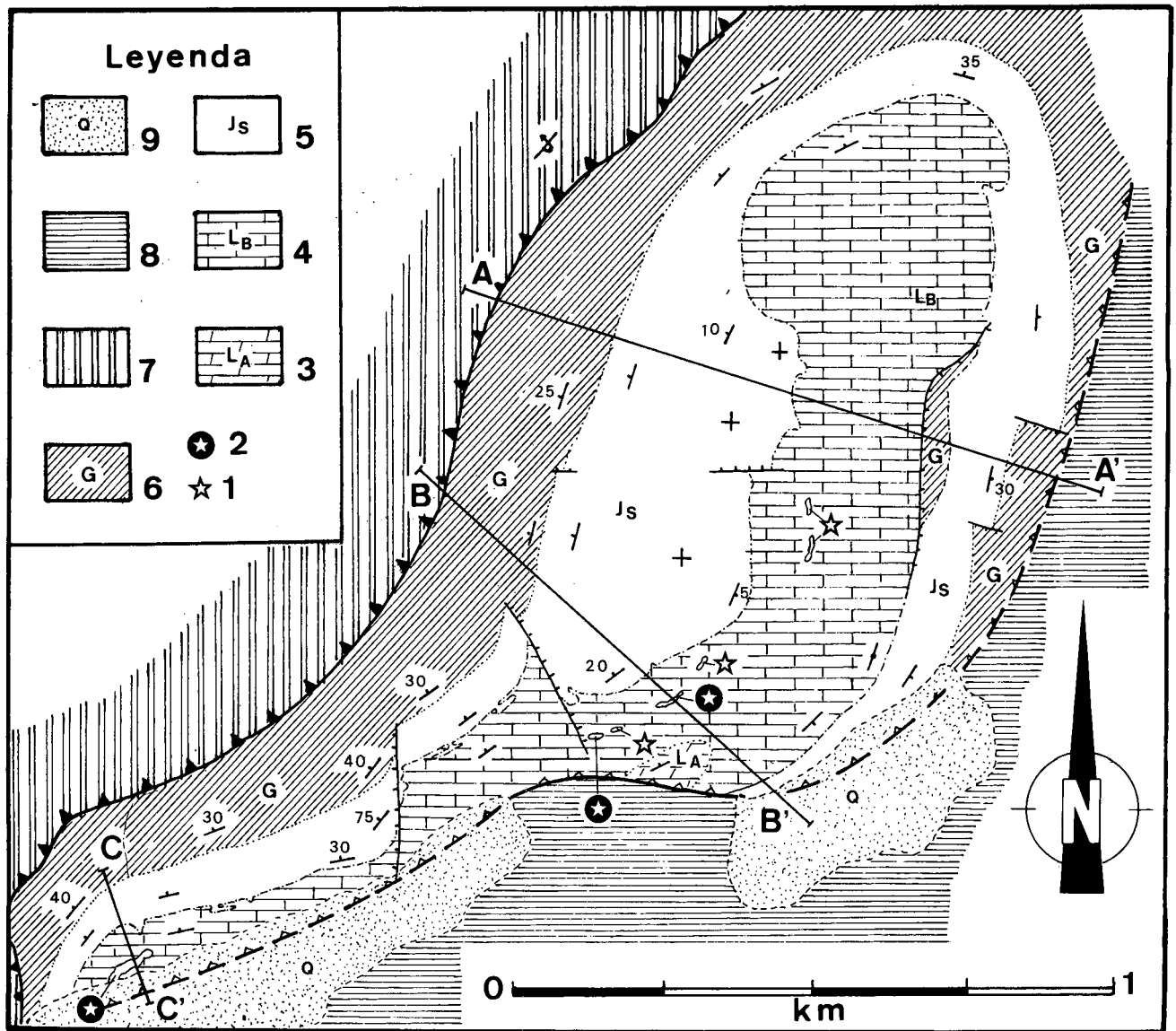
Figura 1. — Localización del yacimiento de bauxitas en un esquema geológico de la hoja 932 (Coy) elaborado a partir de Paquet *et al.* (1974); en el extremo inferior izquierdo gráfico de localización elaborado a partir de López-Garrido y Vera (in Azema *et al.*, 1979). Leyenda: 1. — Materiales paleozóicos y triásicos del complejo Maláguide de Sierra Espuña. 2.— Materiales jurásicos y cretácicos del Complejo Maláguide. 3.— Triásico de las unidades subbéticas. 4.— Materiales del Cretácico y Terciario (posible Subbético Interno). 5.— Jurásico y Cretácico inferior de la Unidad de las Canteras (Subbético interno). 6.— Jurásico del Subbético medio. 7.— Jurásico del Subbético externo. 8.— Cretácico del Subbético medio y externo. 9.— Terciario (Eoceno-Aquitaniense) de Espuña-Rio Pliego, relacionado con los materiales maláguides. 10.— Neógeno y Cuaternario postorogénicos. Leyenda del esquema de localización: 1.— Materiales de las Zonas Internas. 2.— Terciario relacionado con el Maláguide. 3.— Subbético. 4.— Unidades intermedias. 5.— Prebético. 6.— Materiales postorogénicos.

Figure 1. — Geological setting of the Zarzadilla de Totana bauxite orebody; geologic map after Paquet *et al.* (1974). Lower-left corner, geographic and geologic position of the area after Lopez-Garrido & Vera (in: Azema *et al.* 1979).

Key: 1.— Paleozoic and Triassic materials of the Sierra Espuña (Malaguide complex). 2.— Jurassic and Cretaceous materials of the Malaguide complex. 3.— Triassic of the Subbetic units. 4.— Cretaceous and Tertiary materials (probably Internal Subbetic). 5.— Jurassic and Lower Cretaceous of the Canteras tectonic unit (Internal Subbetic). 6.— Middle Subbetic Jurassic. 7.— External Subbetic Jurassic. 8.— Cretaceous of the Middle and External Subbetic. 9.— Tertiary (Eocene-Aquitanian) of the Espuña-Rio Pliego, related to the Malaguide complex. Key to the position sketch: 1.— Materials of the Internal Zones. 2.— Tertiary materials related to the Malaguide complex. 3.— Subbetic. 4.— Intermediate Units. 5.— Prebetic. 6.— Postorogenic materials.

Figura 2.— Esquema geológico de la Unidad de las Canteras (parte meridional) elaborado a partir de la fotografía aérea 932 C 12 (de escala original 1:18.000) ampliada. Obsérvese el contacto entre los términos 4 y 5 que muestra irregularidades kársticas en la parte más occidental. Leyenda: 1.— Brechas bauxíticas rellenas cavidades en las calizas liásicas. 2.— Bauxitas y óxidos de hierro rellenas cavidades kársticas. 3.— Dolomías del Lias inferior. 4.— Calizas blancas liásicas (predomerense). 5.— Calizas nodulosas rosadas del Oxfordense-Tithónico. 6.— Ritmita calizas-margas del Cretácico inferior. 7.— Jurásico del Subbético medio cabalgante. 8.— Materiales cretácicos y terciarios subbéticos (posible subbético interno). 9.— Derrubios de ladera y depósitos recientes.

Figure 2. — Geologic sketch of the southern part of the Canteras tectonic unit, made from an enlarged copy of the 932C-12 serial photograph (original scale 1:18.000). Note the contact between the 4 and 5 materials, showing karstic irregularities in its western part. Key: 1.— Bauxite breccia filling in cavities in the Liassic limestones. 2.— Bauxite and iron oxides filling in karstic cavities. 3.— Lower Lias dolostones. 4.— Liassic (predomerian) white limestones. 5.— Pink nodular limestones of the Oxfordian-Kimmeridgian age. 6.— Limestone-marl rhythmite of the Lower Cretaceous and Tertiary subbetic materials (probably Internal Subbetic). 9.— Recent age deposits.



punto de coordenadas XG156999 y altitud 1.100 m. Corresponde al yacimiento denominado del "Cejo de la Grieta" por Alias *et al.* (1972); se accede a él en automóvil por un camino que parte de la carretera de Bullas a Zarzadilla de Totana, 100 m al norte de la Casa de Francés (coordenadas WG 162993). Desde el sur de esta casa (viajando desde Zarzadilla de Totana hacia el norte) se observa desde lejos la escombrera de la mina, en el extremo suroccidental de un paredón vertical de calizas. Alias *et al.* (1972) además de este yacimiento describen otros tres más pequeños, uno de ellos tiene una pequeña calicata y los otros no muestran indicios de que se haya intentado su explotación; todos ellos se encuentran en un área reducida (ver fig. 2).

Desde el punto de vista geológico se enclava en la Zona Subbética, en una área peculiar por su proximidad con las Zonas Internas (Sierra Espuña). El afloramiento en el que se encuentran las bauxitas (ver fig. 1) constituye una unidad tectónica local (Unidad de las Canteras, Paquet 1969; Paquet *et al.* 1974) que es cabalgada por otra de mayor amplitud (Sierra de Ponce) con características estratigráficas, en su serie jurásica, muy diferentes. La atribución de la Sierra de Ponce a uno de los dominios paleogeográficos no presenta dificultad ya que equivale claramente al Subbético Medio (sensu Azema *et al.* 1979; García-Hernández *et al.* 1980) con una serie jurásica en la que abundan los materiales (margas, calizas, etc.) de facies pelágicas y las intercalaciones de rocas volcánicas submarinas. Por su parte, la denominada Unidad de las Canteras presenta una gran laguna estratigráfica que afecta al Lias medio-superior y el Dogger, mientras que el Malm se presenta bajo facies de calizas nodulosas (ammonitico rosso), rasgos propios de un umbral pelágico (Vera 1981, 1984b) lo que unido a su posición permite atribuirla al Subbético Interno. Esta unidad muestra una estructura interna de un anticlinal vergente al SE, y cabalga en el mismo sentido, a un conjunto de materiales cretácicos y terciarios (4 de la figura 1) que pueden ser considerados igualmente, por su posición, como del Subbético Interno. No obstante, en este caso la atribución es más problemática, al no aflorar los materiales jurásicos, que son en los que se basa la subdivisión de dominios.

## BAUXITAS Y BRECHAS BAUXÍTICAS

Se pueden diferenciar dos tipos de materiales ricos en óxido, óxidos e hidróxidos de aluminio (gibbsita y boehmita). El primero son verdaderas bauxitas y arcillas bauxíticas que rellenan cavidades y están relacionadas con óxidos de hierro. El segundo tipo son brechas de cantos

calizos y matriz roja bauxítica, que rellenan fisuras, grietas y cavidades irregulares en el seno de las calizas blancas liásicas.

Las bauxitas y arcillas bauxíticas se encuentran rellorando bolsadas kársticas en el seno de las calizas y están asociadas a óxidos de hierro. Las bauxitas presentan colores y texturas muy diversas. Dominan los colores rojos, rosáceos y violáceos, pero hay también pardos, amarillos y anaranjados. Las texturas son muy diferentes; dominan las formadas por una matriz homogénea; en lámina delgada no se diferencian los cristales por lo que puede ser considerada una matriz "pelitomórfica" en el sentido de Bardossy (1982, pág. 125). Otro tipo frecuente es aquel que presenta aspecto "trufado", con moteados de color en una matriz anaranjada y cantos de hasta un centímetro de color violáceo. Igualmente son abundantes las bauxitas pisolíticas, en las que los pisolitos tiene un color más rojo que la matriz. Otras presentan aspecto granudo con granos muy redondeados de color violáceo en el seno de una matriz rosácea o anaranjada. En cuando a estructuras sedimentarias la única presente y muy eventualmente es la laminación paralela.

La composición mineralógica fue estudiada por Alias *et al.* (1972) quienes reconocen Gibbsita y Boehmita; en el yacimiento principal domina la Boehmita sobre la Gibbsita, mientras que en los otros están en proporciones equivalentes o domina la Boehmita. En relación con estos minerales hay siempre Caolinita y Hematites, y probablemente Anatasa; con frecuencia se observan concreciones centimétricas arriñonadas de Goetita.

El estudio de composición química realizado por nosotros aporta los datos reflejados en la tabla 1; en ella para un total de 24 muestras se dan los porcentajes de  $Al_2O_3$  y  $Fe_2O_3$ . Llama la atención la variabilidad tanto en los valores absolutos como relativos. En las muestras correspondientes al Yacimiento del Cejo de la Grieta (muestras C-1 a C-14) y las de la escombrera del Cortijo del Francés el porcentaje de  $Al_2O_3$  varía desde el 10 al 67%, con valores más frecuentes comprendidos entre el 40 y 60%. La relación entre  $Al_2O_3$  y  $Fe_2O_3$  en la mayoría de los casos es muy alta, o sea, domina claramente el  $Al_2O_3$ ; sin embargo hay muestras donde los valores de ambos se acercan, e incluso algunas donde el  $Fe_2O_3$  es más abundante que el  $Al_2O_3$ . En el yacimiento de la mina de hierro las muestras A-1 y A-5 corresponden a menas de hierro, con porcentaje de  $Fe_2O_3$  del orden del 73%, mientras que el  $Al_2O_3$  se limita a 2-10%. Las otras muestras son claramente de bauxitas con contenido de  $Al_2O_3$  del 20 al 50%.

Las brechas bauxíticas se encuentran igualmente rellorando cavidades en el seno de las calizas liásicas; se trata de brechas de cantos de calizas del Lias muy angu-

TABLA 1. — Contenido en  $Al_2O_3$  y  $Fe_2O_3$  de las muestras estudiadas.

TABLE 2. —  $Al_2O_3$   $Fe_2O_3$  content in the studied samples.

Muestra	Localidad	Color y textura	% $Al_2O_3$	% $Fe_2O_3$
A-1	Y.M.J.	Mena de hierro	2,04	72,90
A-2	Y.M.H.	Amarillo; microcristal	18,54	3,36
A-3	Y.M.H.	Rosáeco	39,00	5,40
A-4	Y.M.H.	Verdoso	47,48	2,32
A-5	Y.M.H.	Pisolítico; rosado	10,42	73,09
A-6	Y.M.H.	Matriz de brecha	1,37	6,59
B-1	E.C.F.	Violácea	57,29	15,15
B-2	E.C.F.	Violácea; pisolítica	57,63	22,89
B-3	E.C.F.	Rosada; microcristal	63,47	11,63
B-4	E.C.F.	Violácea; pisolítica	59,38	15,52
C-1	Y.C.G.	Roja; microcristal	66,85	2,94
C-2	Y.C.G.	Roja; microcristal	61,06	2,30
C-3A1	Y.C.G.	Roja; microcristal	43,20	33,12
C-3A2	Y.C.G.	Roja; microcristal	65,51	2,31
C-4	Y.C.G.	Oolítica roja	38,90	32,79
C-5	Y.C.G.	Granate rojo brillante	48,78	20,64
C-6	Y.C.G.	Blanca, pasadas rojas	63,18	2,75
C-7A	Y.C.G.	Roja; microcrist.	24,97	18,15
C-7B	Y.C.G.	Blana; microcrist.	9,89	3,55
C-8	Y.C.G.	Aspecto "trufado"	66,11	5,89
C-14A	Y.C.G.	Microconglomerático	25,11	29,48
C-14B	Y.C.G.	Pisolítica; ferruginosa	23,81	54,83
ZT-54	Can...	Violáceo; microcrist.	44,404	16,57

Y.M.H.— Localidad denominada Mina de Hierro en el trabajo de Alias *et al.* (1972).

Y.C.G.— Yacimiento del Cejo de la Grieta.

E.C.F.— Escombrera junto al Cortijo del Francés.

Can... Cantera de calizas con yacimiento moderno (neógeno o cuaternario).

losos y matriz bauxítica de color rojo-violáceo. Presentan una fuerte heterometría de los cantos y una marcada angulosidad, lo que unido al hecho de rellenar cavidades y antiguas fracturas permite atribuir las a brechas de colapso.

#### ENCUADRE ESTRATIGRÁFICO DEL YACIMIENTO DE BAUXITAS

En la fig. 2 se representa un esquema cartográfico de detalle del área donde se enclava el yacimiento. La serie estratigráfica se puede ver en los cortes de la citada figura y consta de los siguientes términos:

a.— Dolomias basales. Afloran en el núcleo del anticlinal y son brechoides de color gris. Se explotan masivamente en canteras como piedra ornamental en la parte más septentrional del afloramiento de la Unidad (fuera

del área cartografiada en el mapa de la fig. 2). Su edad es Lias inferior por correlación.

b.— Calizas blancas. Tienen algo más de 100 metros de espesor y muestran una facies muy semejantes a las de las calizas hettangiense-sinemurienses de la Zona Subbética (García-Hernández *et al.* 1979). Muestran abundantes niveles oolíticos y oncolíticos que indican un depósito en plataformas marinas someras.

c.— Ammonítico rosso (Js de la fig. 2). Calizas nodulosas de 25-30 metros de espesor y con fauna de ammonites del Oxfordense medio y superior en la base (Seyfried, 1978), y Kimmeridgiense y Tithonico. Presentan gran similitud con las facies de la misma edad de otras áreas de umbral dentro de la Zona Subbética.

d.— Ritmita calizas-margas. Facies muy característica del Cretácico inferior subbético. En este afloramiento según Paquet *et al.* (1974) son de edad neocomiense.

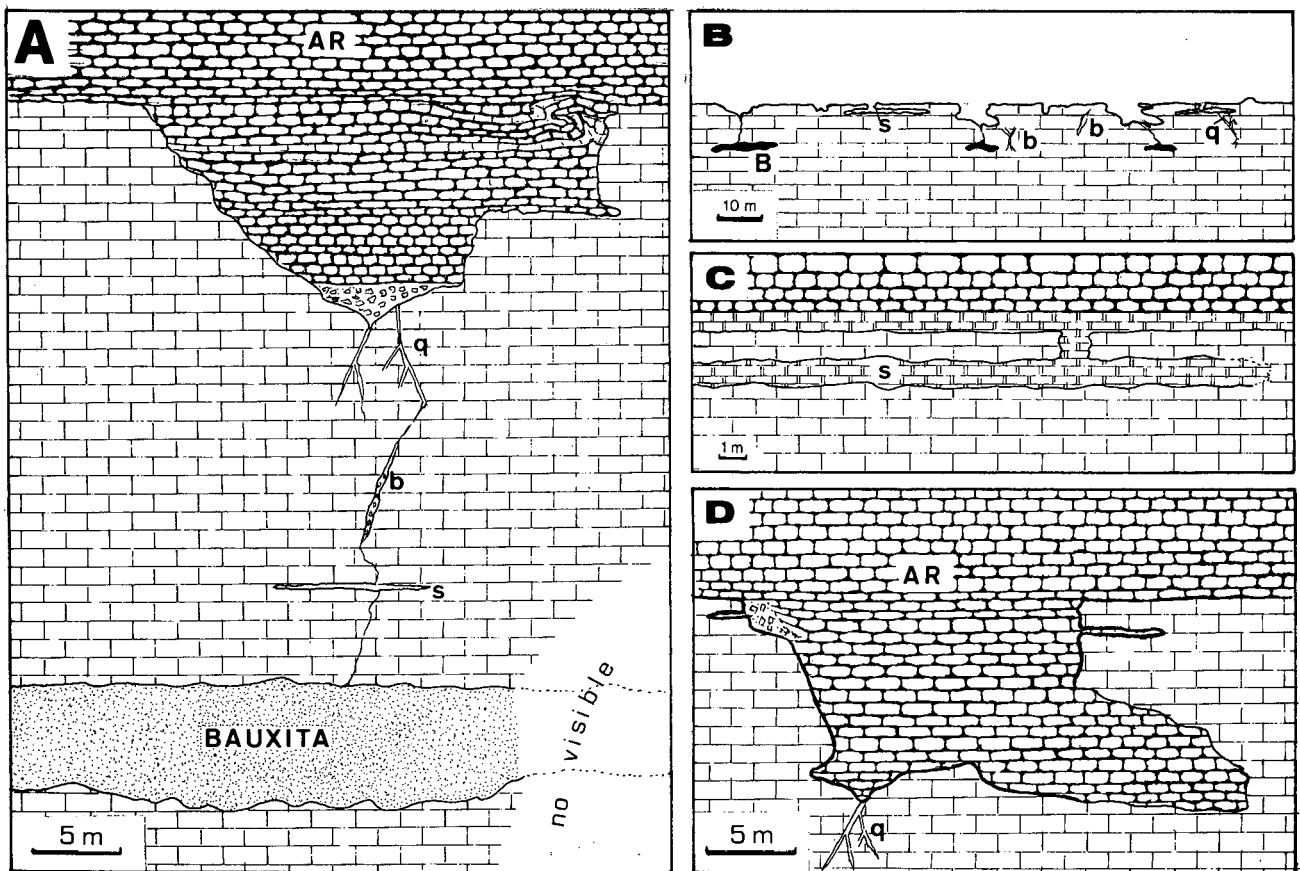


Figura 3. — Morfología del contacto entre las calizas blancas liásicas y los materiales pelágicos (oxfordenses). Explicación en el texto.

Figure 3. — Morphology of the contact between the Liassic white limestones and the Oxfordian pelagic materials. For explanation see text.

Las bauxitas se encuentran en el seno de las calizas blancas liásicas relleno de cavidades de morfología kárstica pero nunca por debajo de los 35 metros, medidos a partir del techo de las mismas.

Especial interés tiene el estudio de la morfología del contacto entre las calizas blancas liásicas y los materiales del ammonítico rosso suprayacente. Se ha recorrido este contacto con el afloramiento incluido en la Fig. 2 y se han observado los rasgos morfológicos más característicos del mismo marcándose en la figura citada las irregularidades mayores observadas. El contacto corresponde a una discontinuidad estratigráfica de orden mayor, ya que falta desde el Domerense al Oxfordense inferior (más de 30 millones de años). En la mayoría de los cortes se muestra como una superficie de paraconformidad; en otros por el contrario es una disconformidad, con una superficie con irregularidades decamétricas.

Se han reconocido varias cavidades y se han levantado gráficos a escala (fig. 3) con el fin de mostrar su mor-

fología kárstica, de antiguas dolinas. En la Fig. 3A se muestra la posición del yacimiento principal; las bauxitas rellenan una cavidad kárstica, de geometría irregular, pero alargada según la estratificación. Esta cavidad tiene más de 5 m de anchura, medida perpendicularmente a la estratificación de las calizas y más de 35 metros de longitud, medida desde el fondo de la galería hasta el borde meridional del afloramiento donde quedan cubiertas por materiales recientes. Haciendo un recorrido hasta el techo de las calizas liásicas se puede observar que en la misma vertical existe una gran cavidad paleokárstica en dicha superficie, rellena de materiales de facies ammonítico rosso; la cavidad penetra desde el techo de las calizas 12 m y tiene una anchura en la parte superior de más de 30 m. En el relleno se observan algunas estructuras de *slumps* vergentes hacia el centro de la cavidad, lo que unido a la presencia de brechas de colapso en la parte más baja de la cavidad y a la propia morfología, permiten interpretarla como una antigua dolina. Desde el punto inferior de esta cavidad hasta el yacimiento

de bauxitas hay 20 metros y en ellos se observan redes de fisuras rellenas de material pelágico (q de la fig. 3A), brechas de matriz bauxítica rellenas cavidades (b de la fig. 3A) y algunos diques neptúnicos de tipo S (paralelos a la estratificación), pruebas de la existencia de una comunicación entre la cavidad del paleokarst (antigua dolina) y la cavidad principal de las bauxitas.

En la fig. 3B se muestra, en un esquema, la geometría general del contacto entre las calizas del Lias y los materiales de facies ammonitico rosso. Se puede observar que son muchas y muy diversas las cavidades que se excavan en ellas con geometrías muy peculiares de dolinas, propias de un relieve kárstico, pudiendo hablar claramente de una superficie de paleokarst. Los depósitos de bauxitas (B) se localizan en cavidades aparentemente aisladas en el seno de las calizas liásicas, pero su relación en la vertical con las cavidades del paleokarst hace pensar que se trataría de cuevas comunicadas con dichas cavidades superficiales. Otro rasgo que destaca es la presencia, cerca del techo de las calizas, de diques neptúnicos de tipo S, rellenos de una caliza pelágica roja con crinoides (ver detalle en fig. 3C). Igualmente se puede destacar la presencia de brechas bauxíticas rellenas grietas o cavidades en las calizas liásicas (b de la fig. 3B) y redes de fisuras rellenas de material pelágico (q de la fig. 3B).

Las morfología de algunas cavidades (Fig. 3D) con fondo muy plano y presencia de fisuras por debajo de los puntos más bajos muestran el carácter kárstico de las mismas. De acuerdo con la magnitud de las cavidades y siguiendo a Bardossy (1982, p. 52) se pueda hablar de una karstificación de moderada a fuerte. El área comprendida entre la superficie de paleokarst y la base de las cavidades (cuevas) en el seno de las calizas, correspondería a la zona de percolación por gravedad de James y Choquette (1984); dicho autores indican que en climas cálidos los procesos de meteorización alcanzan su máxima actividad en esta zona.

## GENESIS DE LAS BAUXITAS

Las bauxitas kársticas se presentan mayoritariamente (en un 92% según Bardossy 1979a) en áreas orogénicas, en contraste con las bauxitas lateríticas que se presentan predominantemente (96,5%) en áreas continentales estables. En todos los casos están formadas en condiciones de emersión y en relación con procesos edáficos, a veces con pequeño transporte posterior.

Las condiciones genéticas óptimas para su formación (Valeton, 1972; Bardossy 1979b; Nicols y Bildgen, 1979) son:

a.— En relación con superficies kársticas en relieves peneplanizados, próximos al nivel del mar. En el caso que nos ocupa serían islas donde afloraban los materiales calizas liásicas, sobre los cuales se formaron los suelos que posteriormente dieron lugar a las bauxitas. Las cavidades penetran solamente 35 metros por debajo del techo de las calizas mostrando la base plana, no existiendo rellenos más bajos; ello hace pensar que a esa profundidad estaría la "water table" en el sentido de James y Choquette (1984), que sería la superficie enrasada con el nivel del mar.

b.— Condiciones climáticas propias de regiones tropicales monzónicas, con sólo 1 o 2 meses secos al año, más de 1.200 mm de precipitación anual y temperaturas medias del orden de 26 °C. De acuerdo con las reconstrucciones palinospásticas y paleoclimáticas de los dominios alpinos mediterráneos, la región estudiada estaría durante el Jurásico medio en una zona de clima con estas características (Nicolas y Bildgen, 1979); por otra parte la presencia de colonias de corales en sedimentos marinos del Dogger (Molina *et al.* 1985) en el Subbético externo es un argumento que apoya esta interpretación.

c.— El proceso de meteorización de las calizas es muy lento; la interrupción sedimentaria mínima para la formación de las bauxitas se valora en 1-5 millones de años; en nuestro caso la interrupción medida supera los 30 m.a. aunque no necesariamente todo este intervalo de tiempo tuviese que estar emergida la región.

En estas condiciones se producen los procesos que permiten la formación de las bauxitas. En todos los casos se trata de materiales procedentes de los productos primarios de la meteorización de las calizas blancas liásicas tras uno o más procesos de alteración. Numerosos autores (p.ej. Maric, 1969) relacionan genéticamente la "terra rossa" (residuo de meteorización de las calizas) y las bauxitas, considerando que la bauxita proviene de la "terra rossa" formada en las dolinas de relieves kársticos, por una transformación "in situ" o con muy escaso transporte por percolación.

Se han planteado teorías alternativas a la de la "terra rossa" para la génesis de bauxitas kársticas (ver Bardossy 1982. cap. 8); las principales objeciones que se plantean es el escaso contenido en alúmina de las calizas (0,25% en las estudiadas por Clarke, 1966; o porcentajes menores) lo que implicaría la meteorización de volúmenes muy grandes de calizas para dar yacimientos importantes. En nuestro caso el volumen de bauxitas es muy reducido y en el contexto paleogeográfico en el que se formaron se descartan otras procedencias (de rocas aluminosilicatadas) por estimar que en este período dentro del Subbético los únicos relieves emergidos serían umbrales pelágicos

individualizados por efecto de fallas lístricas y/o bajadas del nivel del mar (Vera 1984b) donde aflorarían rocas carbonatadas. Las áreas verdaderamente continentales estarían muy alejadas (más de 150 km). No se descarta, sin embargo, al menos teóricamente, la posibilidad planteada por otros autores (p.ej. Comer 1974), para otros yacimientos, de que en parte hayan contribuido a la formación de las bauxitas cenizas volcánicas llevadas por el viento o materiales de alteración de rocas volcánicas como propone Maric (1966) para algunas bauxitas yugoslavas. En la unidad geológica tectónicamente superpuesta y paleogeográficamente adyacente hay rocas volcánicas submarinas de edad Dogger, lo que podría ser un argumento a favor.

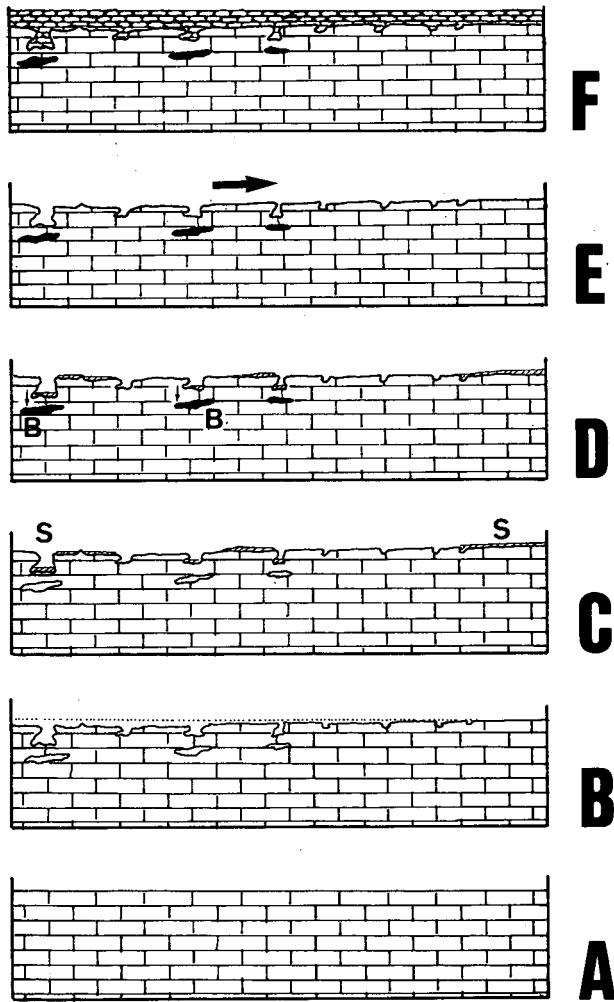


Figura 4. — Esquema genético de la formación de las bauxitas. Explicación en el texto.

Figure 4. — Genetic sketch of the bauxite formation. For explanation see text.

En cuanto a la autoctonía o aloctonía del yacimiento se plantea una alternativa de paraautoctonía, basada en la cercanía del paleorelieve kárstico a las cavidades rellenas de bauxitas y se piensa que la percolación desde las dolinas hasta estas cavidades fue el único agente de transporte, y que durante él se dió la transformación del suelo que habría sobre el paleokarst (en su caso, de la "terra rossa") consistente en la reducción en el contenido en  $\text{SiO}_2$  y enriquecimiento en alúmina.

En la fig. 4 se esquematiza el proceso genético; se parte de una fase inicial de depósito de calizas en medio marino somero (4A) que dura hasta el Carixiense. La falta de registro hasta el Oxfordense medio hace que podamos ordenar solo los procesos que acacieron en el intervalo de tiempo indicado sin poder precisar en que momento ocurrieron. Lo primero que ocurrió fue la emersión y karstificación (4B) de las calizas; se trataría de una isla o conjunto de islas que se individualizaron por efectos de fallas lístricas, con superficies curvas, que permitieron que una parte de los bloques quedase emergida (Vera 1984b). Una vez formado el relieve kárstico se inicia el proceso de edafización por la meteorización de las calizas (4C) por agua de lluvia que lleva parte de los materiales a las cavidades (cuevas) inferiores produciendo un enriquecimiento en alúmina y eliminación de sílice, con lo que se forman las bauxitas. En una etapa posterior de sumersión seguida o acompañada de erosión (4E) se destruyen los suelos y los depósitos superficiales, incluso los de las dolinas. La fosilización (4F) por sedimentos pelágicos se inicia rellenando cavidades en el seno de las calizas (diques neptúnicos), sigue con el relleno de las dolinas y termina con el recubrimiento de toda la superficie de discontinuidad.

Un aspecto difícil de precisar es la edad exacta de la formación de las bauxitas. Sin duda está comprendida entre el Carixiense (195 m.a.) y el Oxfordense medio (156 m.a.); sin embargo es posible que no durase todo este tiempo la emersión y edafización del relieve. De acuerdo con la curva de fluctuaciones del nivel del mar propuesta por las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas (Vera 1984b), los momentos de más bajo nivel del mar serían el Domerense inferior, la base del Aalenense y el Bathonense terminal-Calloviense inferior, que posiblemente fuesen tres intervalos de tiempo donde la edafización pudiese ser máxima. La karstificación se producirá especialmente en la primera de las fases de bajo nivel del mar (Domerense inferior), que corresponde a la inmediatamente posterior a la etapa de ruptura de la gran plataforma carbonatada de Lias, la cual marca el inicio de la sedimentación pelágica en amplios sectores de la Zona Subbética. La edafización pudo acacer de manera continuada durante el Lias superior y Dogger, con un



máximo desarrollo en los momentos indicados, pero sin que posiblemente mediasen intervalos de sumersión, que de otro modo habrían dejado algún material como relleno de los diques.

## SIGNIFICADO PALEOGEOGRÁFICO

Se conocen numerosos yacimientos de bauxitas con características semejantes al estudiado. Bardossy (1982, apéndice 1) recopila un total de 130 yacimientos en geosinclinales, distribuidos en muy diversas cadenas (Alpinas mediterráneas, Urales, Iránidos, Jamaica, Vietnam, etc.), entre los que se incluye el estudiado. Si nos limitamos a las cadenas alpinas mediterráneas y a yacimientos en materiales mesozoicos el número se reduce, pero sigue siendo importante. Hay yacimientos, muchos de ellos en explotación, en Grecia en la cadena de los Hellénidos (Aubouin, 1964; Robert, 1971; Bardossy *et al.*, 1973; Guernet y Robert, 1973); en Albania en la misma cadena (Aubouin y Ndojaj, 1964); en Yugoslavia en diversos distritos de los Alpes Dináridos (Maric, 1969; Grubic, 1964; entre otros); en Turquía en la cadena del Taurus (Ozlu, 1977); en Italia en los Apeninos (Bardossy y Boni, 1976; Bardossy *et al.*, 1977); así como otros en los Alpes y Cárpatos (ver relación en Bardossy, 1982).

Las edades de la roca infrayacente, del período de formación de las bauxitas y de la roca suprayacente son muy variables de unos yacimientos a otros. Siempre se trata de materiales bauxíticos que jalonan discontinuidades, relacionadas con fases de emersión. Los más frecuentes y los de mayor volumen de bauxitas se localizan en áreas marginales de geosinclinales en relación con las discontinuidades del Aptense-Albense y del Cretácico superior.

Los yacimientos localizados en áreas marginales de los geosinclinales se ligan a cambios relativos del nivel del mar, bien debidos al eustatismo o a factores tectónicos locales. Más dificultad implica la explicación de los yacimientos relacionados con sedimentos pelágicos y localizados en áreas relativamente internas del margen continental, como sería el caso del yacimiento que nos ocupa; se trata de depósitos en umbrales pelágicos en los que se han producido emersiones locales. Estas han sido puestas de manifiesto, con otros argumentos, en el ámbito de las Cordilleras Béticas por Vera (1981; 1984b); Martín-Algarra *et al.* (1983) y Seyfried (1979). Emersiones locales en umbrales del Subbético interno o Subbético externo durante el Bathonense terminal y Calloviense (pro parte) han sido puestas de manifiesto por Vera *et al.* (1984), Molina *et al.* (1985) y García Hernández *et al.* (1986). En otros dominios alpinos se han planteado modelos de sedimentación en los que los umbrales pelági-

cos pueden emerger localmente y formarse en ellos bauxitas como para los Apeninos proponen D'Argenio (1974) y Farinacci *et al.* (1981).

## CONCLUSIONES

El yacimiento de bauxitas de Zarzadilla de Totana se formó en relación con una discontinuidad estratigráfica de orden mayor. En efecto, en la discontinuidad entre las calizas liásicas (infradomerenses) y el Orfordense se tienen, reunidas en una, tres de las rupturas estratigráficas generales reconocidas en la Zona Subbética (Vera 1984b), la del Carixiense superior-Domerense inferior, la de final del Toarcense y la del final del Dogger, que en otras regiones queda bien diferenciadas. La interrupción sedimentaria en este sector es por tanto de gran amplitud, y en relación con ella se formaron las bauxitas. Se plantea la necesidad de investigar prioritariamente en otras áreas donde la discontinuidad sedimentaria sea igualmente de gran amplitud con el fin de detectar (si fuese posible) nuevos yacimientos de bauxitas en el ámbito de la Zona Subbética. Igualmente se plantea la necesidad de investigar las discontinuidades de orden mayor en la Zona Prebética e intentar detectar yacimientos de bauxitas en el ámbito de las Cordilleras Béticas, donde pueden existir en un orden de abundancia semejante al de otras cordilleras alpinas mediterráneas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto de investigación 1224/84 de la C.A.I.C.Y.T., organismo a quien se agradece la ayuda concedida.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALIAS, L.J., ORTIZ-SILLA, R. y RODRIGUEZ-GALLEGO, M., 1972: Mineralogía de un yacimiento de bauxita situado al norte de Zarzadilla de Totana (Prov. de Murcia). *Estudios geológicos*, 28: 209-215.
- AUBOUIN, J., 1964: Réflexions sur le facies "ammonitico rosso". *Bull. Soc. Geol. France*, (7), 6: 475-501.
- AUBOUIN, J. y NDOJAJ, I., 1964: Regard sur la géologie de l'Albanie et sa place dans la géologie des Dinarides. *Bull. Soc. Geol. France*, (7), 6: 593-625.
- AZEMA, J., FOUCAULT, A., FOURCADE, E., GARCÍA-HERNÁNDEZ, M., GONZÁLEZ-DONOSO, J.M., LINARES, A., LINARES, D., LÓPEZ GARRIDO, A.C., RIVAS, P. y VERRA, J.A., 1979: Las microfacies del Jurásico y Cretácico de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas *Secr. Publi. Univer. Granada*, 83 pags.

- BARDOSSY, Gy., 1979a: The role of tectonism in the formation of bauxite deposits. *Tras. ICSOBA, Zagreb*, 15: 15-34.
- BARDOSSY, Gy., 1979b: Growing significance of Bauxites. *Episodes*, 2: 22-25.
- BARDOSSY, Gy., 1982: *Karst bauxites: bauxite deposits on carbonate rocks, Developments in economic geologic*, 14, Amsterdam, Ed. Elsevier, 441 p.
- BARDOSSY, Gy. y BONI, M., 1976: Die bauxitlagerstätten in Südtalien Neue Ergebnisse über ihre mineralogische und petrographische Zusammensetzung. *Erzmetall*, 29: 411-415.
- BARDOSSY, Gy., BONI, M., DALL'AGLIO, M., D'ARGENIO, B. y PANTO, G., 1977: Bauxites of Peninsular Italy, Composition, Origin and Geotectonic Significance. *Monograph Series on Mineral Deposits*, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 15: 1-61.
- BARDOSSY, G., PANTO, G. y PASTAMATIIOU, J., 1973: Etude mineralogique, pétrographique et géochimique des bauxites du Malm inférieur dans la région de Diastomon (Grèce) *Tras. ICSOBA, Zagreb*, 9: 143-149.
- CLARKE, O.M., 1966: The formation of bauxites on karst topography in Eufaula district, Alabama and Jamaica, West Indies. *Econ. Geol.*, 61: 903-916.
- COMBES, P.J., 1969: Recherches sur la genèse des bauxites dans le Nord-Est de l'Espagne, Le Languedoc et Ariège (France). *Mem. Centre Etude Rech. Geol. Hydrogeol. Montpellier*, 242 p.
- COMER, J.B., 1974: Genesis of Jamaican bauxite. *Econ. Geol.*, 69: 1251-1264.
- D'ARGENIO, B., 1974: Le Piattaforme Carbonatiche periadriatiche: Una rassegna di problemi nel quadro geodinamico mesozoico dell'area mediterranea. *Mem. Soc. Geol. Italiana*, 13: 1-28.
- FARINACCI, S., MARIOTTI, N., NOCOSIA, U., PALLINI, G. y SCHIAVINOTTO, F. 1981: Jurassic sediments in the Umbro-Marchean Apennines: An Alternative model. In: A. Farinacci y S. Elmi, eds: *Proceeding Rosso Ammonitic Symposium*, 353-398, Roma, Ed. Tecnoscienza.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, M., LÓPEZ-GARRIDO, A.C., RIVAS, P., SANZ DE GALDEANO, C y VERA, J.A., 1980: Mesozoic paleogeographic evolution of the External Zones of the Betic Cordillera. *Geol. Mijnbouw*, 59: 155-168.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, M., LUPIANI, E. y VERA, J.A., 1986: Discontinuidades estratigráficas en el Jurásico de Sierra Gorda (Subbético interno, Prov. de Granada). *Acta Geol. Hispánica* (en este volumen).
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, M., RIVAS, P. y VERA, J.A., 1979: El Lias infracarixiense de la Zona Subbética. *Cuader. Geol. Univer. Granada*, 10: 367-374.
- GRUBIC, A., 1964: Les bauxites de la province dinarique (Yougoslavie). *Bull. Soc. Geol. France*, (7), 6: 382-388.
- GUERNET, C. y ROBERT, P., 1973: Sur l'existence de bauxites d'âge jurassique en Eubée (Grèce). *C. R. Ac. Sc. Paris*, D, 276: 885-887.
- JAMES, N.P. y CHOQUETTE, P.W., 1984: Diagenesis 9.— Limestones.— The Meteoric Diagenetic Environment. *Geoscience Canada*, 11: 161-194.
- MARIC, L., 1969: Relations génétiques entre la terra rosa et les bauxites dans le karst des Dinarides en Yougoslavie. *Bulletin Museum National Histoire Naturelle*, Paris, 41: 770-777.
- MARTÍN-ALGARRA., CHECA, A., OLORIZ, F. y VERA, J.A., 1983: Un modelo de sedimentación pelágica en cavidades kársticas: La Almola (Cordillera Bética) *X Congreso Nacional de Sedimentología*, Mahón, 3: 21-25.
- MOLINA, J.M., RUIZ-ORTIZ, P.A. y VERA, J.A., 1985: Sedimentación somera entre sedimentos pelágicos en el Dogger del Subbético externo (Sierras de Cabra y de Puente Genil, Provincia de Córdoba). *Trab. Geología*, Univ. Oviedo, 15: 127-146.
- MOLINA-DÍAZ, A., MOLINA, J.M., RUIZ-ORTIZ, P.A. y VERA, J.A., 1986: Técnica de análisis rápido de  $Al_2O_3$  y  $Fe_2O_3$  en Bauxitas. *Acta Geológica Hispánica* (en este volumen).
- NICOLAS, J. y BILDGEN, P., 1979: Relations between the location of the karst bauxites in the Northern hemisphere, the global tectonics and the climatic variations during geological time. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 28: 205-329.
- OZLU, N., 1977: Different models de formation des breches calcaire-bauxitiques dans les bauxites des Taurides occidentales (Turquie meridionale). *C. R. Ac. Sc. Paris*, 284: 1021-1023.
- PAQUET, J., 1969: Etude geologique de l'ouest de la Province de Murcie (Espagne) *Mem. Soc. Geol. France* 111, 270 pags.
- PAQUET, J., KAMPSCHUUR, W., BAENA, J., VELANDO, F., GARCÍA-MONZÓN, G. y RONDEEL, H.E., 1974: Mapa y memoria explicativa de la Hoja 932 (Coy) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. I.G.M.E., 38 págs.
- ROBERT, P., 1971: Sur un gisement de bauxite de l'île d'Eudebee (Grèce). *C. R. Ac. Sc. Paris*, D, 272: 3228-3330.
- SEYFRIED, H., 1978: Der Subbetiche Jura von Murcia (Sudost-Spanien). *Geol. Jahrb.*, 29: 3-201.
- SEYFRIED, H., 1979: Ensayo sobre el significado paleogeográfico de los sedimentos del Jurásico de las Cordilleras Béticas orientales. *Cuad. Geol. Univ. Granada*, 10: 317-348.
- SHAPIRO, L. y BRANNOCK, W.W., 1962: Rapid analysis of silicate, carbonate and phosphate rocks. *Geol. Surv. Bul.*, 114A.
- VALETON, I., 1978: *Bauxites Development in Soil Science*, vol. 1. Ed. Elsevier, Amsterdam, 226 pags.
- VERA, J.A., 1981: Correlación entre las Cordilleras béticas y otras cordilleras alpinas durante el Mesozoico. In: Programa Internacional de Correlación Geológica PICG, *Real Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. Madrid*, 2: 156-160.
- VERA, J.A., 1984a: Discontinuidades estratigráficas en materiales pelágicos: caracterización, génesis e interpretación. *I Congreso Nacional de Geología*, Segovia, 3: 109-122.
- VERA, J.A., 1984b: Aspectos sedimentológicos en la evolución de los dominios alpinos mediterráneos durante el Mesozoico. In: A. Obrador, ed.: Libro Homenaje a Luis Sánchez de la Torre, Grup. Esp. Sed. *Publicaciones de Geología*, Univ. Auton. Barcelona, 20: 25-54.
- VERA, J.A., MOLINA, J.M. y RUIZ-ORTIZ, P.A., 1984: Discontinuidades estratigráficas, diques neptúnicos y brechas sin sedimentarias en la Sierra de Cabra (Mesozoico, Subbético externo). In: A. Obrador, ed.: Libro Homenaje a Luis Sanchez de la Torre, Grup. Esp. Sed. *Publicaciones de Geología*, Univ. Auton. Barcelona, 20: 141-162.