

Introducción a la metalogenia del Mn en Cuba

Introduction to the metalogeny of Mn in Cuba

X. CAZAÑAS^(1,2), J.C. MELGAREJO⁽²⁾

(1) Instituto de Geología y Paleontología del MINBAS, Cuba. Via Blanca y Línea del Ferrocarril, Virgen del Camino, San Miguel del Padrón, Ciudad La Habana, Cuba. E-mail: igpcnig@ceniai.inf.cu

(2) Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Universitat de Barcelona. c/ Martí i Franquès s/n 08028 Barcelona. E-mail: joanc@naturgeo.ub.es

RESUMEN

En la isla de Cuba se distinguen varios episodios metalogenéticos de manganeso. En series de edad jurásica hay depósitos estratiformes de óxidos y silicatos de manganeso, asociados a depósitos estratiformes sedex de sulfuros masivos. Durante la formación del arco cretácico se producen también mineralizaciones exhalativas de óxidos de manganeso. No obstante, es la secuencia del arco de islas volcánicas del Paleógeno de Cuba oriental donde se localizan la mayoría de los depósitos vulcanogénicos de óxidos de manganeso de Cuba, incluidos los que han sido explotados, y los que cuentan con las mayores reservas.

Dentro del arco Paleógeno, las mineralizaciones manganésíferas se presentan en filones o, más frecuentemente, en yacimientos estratiformes de óxidos, que encajan en diversos niveles litoestratigráficos. Los depósitos estratiformes presentan zonación vertical, con la siguiente secuencia típica de base a techo: jaspes, cuerpos masivos constituidos esencialmente por todorokita y niveles vulcanoclásticos cementados por óxidos.

A muro de los cuerpos mineralizados existe una intensa alteración celadonítica, indicando el carácter proximal de la mineralización en relación a centros exhalativos; en la parte superior puede existir alteración zeolítica y hematítica. La mineralización es de tipo exhalativo y se formó tanto en la parte más interna del arco de islas como en la cuenca de retroarco, siempre en medio submarino. Los fluidos mineralizantes accedieron al fondo submarino probablemente por fallas sinsedimentarias que controlaban la formación de subcuencas.

En las cuencas de *piggy-back* de edad Eoceno Medio hay mineralizaciones de manganeso asociadas a niveles detríticos dentro de calizas. Evidencias de campo (ausencia de alteraciones y de capas de jaspe) y texturales (mineralización en forma de clastos, asociada a fragmentos de jaspes) indican que estas mineralizaciones se formaron por removilización sedimentaria por corrientes de fondo submarinas de mineralizaciones preexistentes en las series vulcanosedimentarias de edad Eoceno Inferior-Medio. En las series del Neoaútoceno se dan mineralizaciones similares, pero producidas por removilización aluvial.

Palabras clave: Manganeso. Exhalativo. Vulcanogénico. Óxidos. Cuba.

ABSTRACT

Several metallogenetic episodes for manganese formation can be distinguished in the island of Cuba. The Jurassic series contains stratiform deposits of manganese silicates and oxides. These deposits are associated to sedex stratiform deposits. Exhalative mineralizations of manganese oxides are also produced during the formation of the Cretaceous volcanic arc. However, it is the Paleogene volcanic island arc of eastern Cuba which contains most of the volcanogenic deposits of manganese oxides, including both those already mined, as well as those with the most ore reserves.

The manganese ore deposits from the Paleogene island arc can occur as veins or, more often, as stratiform deposits hosted in different lithostratigraphic units. Stratiform deposits display vertical zoning, having the following sequence from the basis to the top: jaspilites, massive oxide bodies (constituted by todorokite) and tuffs (cemented by oxides).

A strong celadonic alteration occurs at the basis of the bodies, and a zeolitic-hematitic alteration can occur at the top. The mineralizations are volcanogenic-exhalative and were formed either on the innermost part of the island arc or in the back arc basin, in all cases in submarine environments. The mineralizing fluids probably reached the submarine bottom through the synsedimentary faults that controlled the formation of subbasins.

The Middle-Eocene piggy-back basins contain manganese mineralizations associated to thin beds of volcanosedimentary rocks interbedded in limestones. Field evidences (lack of alterations at the bottom and absence of jaspilites) and textural evidences (mineralization as clasts, associated with jaspilite fragments) indicate that these deposits were formed by sedimentary remobilization by submarine bottom streams of preexisting ores in the Lower-Middle Eocene volcanosedimentary series. The Neoautochthonous sediments also contain resedimented manganese ores formed by alluvial processes in subaerial environment.

Key words: Manganese. Exhalative. Volcanogenic. Oxide minerals. Cuba.

EXTENDED ABSTRACT

The worldwide importance of the manganese Cuban ores allowed them to be described as a reference model for manganese deposits, the so-called Cuba-type volcanogenic deposit of manganese (Mosier and Page, 1988). However, most descriptions corresponding to this model are rather old, and there is some confusion concerning the geological position of some deposits (i.e. Russell et al, 1995, Kesler et al., 1990). The aim of this contribution is to establish the Metallogenes in Cuba, as well as to provide a review of the current ideas about the model for these deposits.

Five main manganese metallogenes have been identified in Cuba: the Western and Central Jurassic series, the series of the Cretaceous volcanic arc, the series of the Paleogene arc, the Paleogene piggy-back series, and the neoautochthonous (Fig.1).

MN DEPOSITS IN JURASSIC SERIES IN THE GUANIGUANICO AND ESCAMBRAY TERRANES

These units are remains of the passive continental margins (as including materials deposited in platform and talus basin) that originated during the opening of the Protocaribbean. The materials of the Mesozoic Bahamas platform mainly consist of limestones formed in shallow waters and evaporites. However, cherts and deep-formed limestones are also present.

Manganese stratiform deposits, associated with jaspilites, occur in the Jurassic terrigenous sediments and limestones. They have low grade and dimensions, and occur in close association with sedex deposits of base-metals and gold. Hydrothermal alterations consist of silicification of the hosting rock (Park, 1942). They are constituted by manganese oxides; in the high-grade metamorphized Escambray massif (Millán and Somin, 1985) the deposits consist of piemontite, bementite and braunite. These associations can be produced by metamorphism of Mn oxides or carbonates (Roy, 1968; Keskinen and Liou, 1979). On the basis of the geodynamic setting and their close association with sulphide sedex deposits, these

manganese deposits can also be interpreted as sedex in origin. They can be distal related to the penecontemporaneous sedex sulphide deposits (Valdés-Nodarse et al., 1993), or formed by independent exhalative processes, as is the case in other parts of the world (Melgarejo and Ayora, 1992).

Mn MINERALIZATIONS IN THE CRETACEOUS VOLCANIC ARC

The Cretaceous volcanic arc is composed by volcanosedimentary series ranging in age from Aptian to Middle Campanian. These series are intruded by granitic rocks (Iturralde-Vinent, 1996). Volcanism is tholeiitic to calc-alkaline, but in the uppermost part of the sequence it becomes alkaline (Meyerhoff and Hatten, 1968; Díaz de Villalvilla, 1985).

Stratiform oxide manganese deposits are associated to jaspilites, and are very small (Maximov et al., 1979). The most noticeable deposits occur in the regions of Bahía Honda (Western Cuba) and Holguín (Oriental Cuba). They are close to volcanogenic deposits of massive sulphides, and can therefore, on the basis of their geodynamic setting and metallogenic associations, be classified as volcanogenic in origin.

Mn MINERALIZATIONS IN THE PALEOGENE VOLCANIC ARC

Most of the Cuban Mn deposits are hosted in the Paleogene island arc series. The outcrops are located in the easternmost part of Cuba. The Paleogene island arc developed between the Paleocene (Thanetian) and the Lower-Middle Eocene (Linares et al., 1985; Iturralde - Vinent, 1996) (Fig. 2).

The El Cobre Group constitutes most of the Sierra Maestra, to the south of eastern Cuba, and consists of volcanosedimentary series with effusive rocks (Quintas et al., 1994). The Group (fig. 3) is up to 5000 m thick (Linares et al., 1985) divided in 3 main sequences (García and Méndez, 1994, Méndez, 1997) and the Caney (Sokolova, 1966) and Pilón formations (Kozary, 1955), and is crosscut by contemporaneous intrusives. The ensemble was formed in the axial zone of the Paleogene arc. Each sequence can be divided in several pyroclastic cycles (model of Easton and Johns, 1986), with coarse pyroclastic at the basis, tuff, and, finally, sedimentary rocks at the top.

The Sabaneta formation in the northernmost part of eastern Cuba represents the back-arc basin, and consists of acidic to intermediate zeolitized tuffs, with scarce interbedded limestones. The total thickness of the Sabaneta formation is about 700 m (Iturralde-Vinent, 1976, 1996; Proenza and Carralero, 1994; Quintas et al., 1995). In the rest of Cuba only few tuffs interbedded with sedimentary rocks bear witness of this volcanic activity (Cobiella, 1988).

According to geochemical data, volcanism displays an early tholeiitic trend, but becomes calco-alkaline in the uppermost part of the sequences (Pérez et al., 1983). Some intrusive complexes occur in discrete districts, and are associated to penecontemporaneous effusive rocks, as in the Baconao complex, in the Caney formation (Kuzovkov et al., 1988).

The main ore districts (Fig. 4) are Guiza- Los Negros (in the north part of Sierra Maestra) and Cristo-Ponupo-Los Chivos (in the north flank of the La Gran Piedra). In the latter the production of Mn was very high during the Second World War: about 10 million tons of mineral, with grade higher than 35% Mn (Calvache, 1960).

The stratiform mineralization occurs at least in six different lithostratigraphic units along the El Cobre Group and the Sabaneta formation (Fig. 5). The lower lithostratigraphic unit lies in the middle sequence of the El Cobre, and with decameter-thick concordant lenses associated to exhalative sulphides (see Cazañas et al., in this volume). However, most deposits (including the Guiza-los Negros and Cristo-Ponupo-Los Chivos) occur in the last 200 m of the El Cobre Group. They occur as lenses of variable thickness, from some centimeters up to 15 m; their length varies from some decameters to more than 1,5 km, as in the El Quinto mine (Simons and Straczek, 1958). Up to 5 lenses can be superimposed in the larger deposits. They occur interbedded with andesitic tuffs and sandstones (Soriano et al., 1984, Soriano, 1987).

The Sabaneta formation also contains abundant Mn deposits in its uppermost part. The most important mining districts are those of Palmarito de Cauto-La Gloria and Iris-Joturo, towards the north of Sierra Maestra.

The Mn deposits can be classified according to their shape as stratiform (as lenses) and vein deposits. All of them are associated with jaspilites (Woodring and Daviess, 1944; Simons and Straczek, 1958).

Veins are scarce and they are restricted to the lower part of the El Cobre Group, close to the coast line: Ponupo-Manacal in the west and Sigua in the east. The ores consist of oxides associated to jaspilite; the Magdalena mine has hausmannite and in Sigua the main ore is braunite, with lesser amounts of bementite oxidized to pyrolusite.

The most important deposits of the Paleogene arc are the stratiform deposits. A typical deposit consists of the following zones from the basis to the top (Fig. 6):

- a zone of green celadonic alteration at the basis (Sokolova et al., 1971, 1976; Cazañas et al., 1994, Cazañas and Melgarejo, 1996), produced by hydrothermal alteration of glass and crystals of the volcanoclastic rocks. Its thickness is unknown;
- massive, reddish or yellowish jaspilite (“bayates”), as lenses up to 15 m thick;
- massive Mn ores (“rich ores”), consisting of botryoidal aggregates of manganese oxides;
- volcanosedimentary rocks cemented by botryoidal manganese oxides (“poor ores”). Mineralogy is as above; in the Bueycito mines orientite also occurs (Hewett and Shannon, 1921).
- reddish or violet hematitized volcanoclastic rocks (Sokolova et al., 1971). In this zone montmorillonite and heulandite also occur (Sokolova et al., 1971; Cazañas et al., 1994). In the Bueycito mines laumontite, analcite, heulandite and chabazite also exist (Park and Cox, 1944).

In the deposits in the middle part of the El Cobre Group the main Mn ore is cryptomelane; in the deposits of the uppermost part of the arc the main oxide is todorokite (see Cazañas and Melgarejo, in this volume).

The origin of the Cuban Mn deposits has long been discussed. Hayes et al. (1901), and Burchard (1920) proposed an epigenetic origin, and Park (1942) and Simons and Straczek (1958) an exhalative origin. According to Mrña et al. (1963) and Sokolova et al. (1971, 1976) both the jaspilites and the ores formed by replacement of the hosting rock. Cazañas and Melnikova (1986) proposed a primary exhalative-sedimentary origin for these deposits. Jaspilites and the massive manganese ores display sharp contacts and there are no evidences of any process of replacement of the host rocks, and can be considered as syngenetic in origin. Moreover, the celadonic alteration occurs at the basis of the deposit, and it is absent at the top. The association of manganese with chert is common in some well known deposits in old series, as in the Iberian Pyritic Belt. According to Leistel et al. (1998) manganese-chert deposits formed by exhalative processes at lower temperature than massive sulphide deposits.

Moreover, todorokite is an important component of present-day formed manganese exhalative deposits on the sea floor (Rona, 1978, 1984). Botryoidal textures in massive ores are common in them, as well as textures of cementation of volcanoclastics, as for instance, in the Marianas volcanic arc (Hein et al., 1997).

The Mn deposits in the Sabaneta series formed in the back-arc basin, whereas those of the El Cobre Group did, in the axial zone but close to the back-arc basin (Fig. 7). This scenario is very similar to that of many present-day submarine deposits (Usui and Someya, 1997). However, Mn oxides can also appear in other geodynamic settings, as submarine ridges (Corliss et al., 1978; Rey et al., 1997).

Mn METALLOTECTS IN THE PALEOGENE PIGGY-BACK BASINS

Unconformable sedimentary series lie above the volcanosedimentary units of the El Cobre Group. These sequences have limestones at the basis, and detrital series at the top (Quintas and Blanco, 1993). The limestone sequences were formed under shallow (Charco Redondo Formation) or deep water conditions (Puerto Boniato Formation), with sharp contacts between both formations. This is explained by the activity of syndimentary faults. Woodring and Daviess (1944) describe three types of Mn deposits in the limestones: stratiform, not stratified and karst ores.

Stratiform deposits are composed by manganese oxides, that occur associated with olistostromes and tuffaceous sandstones and conglomerates; the whole interbedded with limestones (Fig. 8). Moreover, clasts of jaspilites also occur (Park and Cox, 1944). Neither these volcanoclastic sediments nor the limestones have hydrothermal alterations. Therefore, Cazañas and Melnikova (1986) concluded that these manganese oxides were produced by erosion and resedimentation of pre-existing Paleogene deposits. These processes are due to the activity of the synsedimentary faults.

The other categories described by Woodring and Davies (1944) have scarce mining interest. Although this type of deposit has been explored in some countries (for instance, Mata-Perelló, 1994; Gutzmer and Beukes, 1996), the results have rarely been good.

Mn DEPOSITS IN THE NEOAUTOCHTONOUS

The Neoautochthonous is constituted by slightly deformed or undeformed detrital or carbonated sediments. They range in age from Uppermost Eocene to the Quaternary (Iturralde-Vinent, 1988, 1994, 1996; Gonzales et al., 1994; Quintas, 1989).

Some quaternary alluvial sediments have stratiform bodies of manganese and iron ores (“granzones”). These occur only in close association with Paleogene-hosted manganese deposits. The texture of ores is detrital; the clasts are variable in size and are mainly constituted by oxides. The ores have a scarce argillaceous matrix, and siliciclastic fragments are rare. There is a lack of hydrothermal alteration in the host rocks. Therefore, these mineralizations are reconcentrations of the preexisting manganese deposits in the Paleogene series. A typical example occurs at the Barrancas deposit, where the manganese remobilizations overlay Paleogene series containing manganese deposits (Fig. 9).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The Cuban Jurassic, Cretaceous and Paleogene series contain exhalative deposits of manganese. According to the geodynamic setting and to the type of host rock two models could be differentiated: sedex and volcanogenic. The Jurassic deposits are of sedex type and are associated to exhalative base metal deposits. The volcanic island arcs of Cretaceous and Paleogene age have volcanogenic deposits of which the Paleogene series host the most important. The volcanogenic deposits are among the most important sources of Mn in the world (i.e., Cornell and Schütte, 1995; Cox and Singer, 1986), and the possibility of finding new deposits of this type in Cuba are great.

The characteristics of the Cuban volcanogenic deposits of manganese are very similar to those associated with volcanogenic massive sulphide deposits in other parts of the geological record. Hence, as a criteria for further mining exploration, one should take into account the possibility that the manganese deposits of the El Cobre sequence can be associated laterally with massive sulphide deposits. The El Cobre mine, interpreted in terms of an exhalative deposit (see Cazañas and Melgarejo, this volume) is associated to the stratiform Mn deposits of the El Cobre Middle Sequence. The greatest abundance of Mn deposits is not an argument against this hypothesis: in the Iberian Pyritic Belt the manganese-bearing jaspilite deposits are also more abundant than massive sulphide bodies (Soriano, 1997). Manganese deposits in the Iberian Pyritic Belt, similarly to those in Cuba, have a complex structure, and the lenses of jaspilites and manganese oxides grade laterally and vertically to volcanosedimentary rocks affected by a hydrothermal hematitization (“povo hematites”), with a strong chloritic alteration at the basis (Sedler et al., 1997).

The main problem to be solved in Cuba is the possibility to use the presence of Mn exhalative deposits to find massive sulphide deposits. In some present-day deposits (Roy, 1992, Binns et al., 1993) lateral associations have been explained by deposition from the same fluid at a different temperature. This is not possible in the Cuban case due to differences in the mineral composition of the alteration zone underlying the respective deposits, as in the El Cobre deposit area (see Cazañas et al., this volume). The question of the source of fluids has not been solved yet in the main volcanogenic fields: in the Iberian Pyritic Belt both a common (Strauss and Madel, 1974, Barriga and Carvalho, 1983), and a different origin (Sedler et al., 1997) has been proposed.

In any case, the exhalative phenomena in Cuba are proximal in relation to the volcanic centers, and developed in the late stages of volcanic cycles, generally in vicinity to volcanic centers, as it occurs at present in the spreading centers in the Galapagos Islands (Fehn, 1986). The exhalative processes stopped when vulcanism disappeared. The deposits into the limestones of the *piggy back* sequences and into the alluvial sediments of the Neoautochthonous were produced by detrital resedimentation, probably favoured by tectonic activation of the sedimentary basins. In the source area is very close in all cases and, therefore, the existence of these ores in surface can be used as an indirect exploration criterion to find deposits at low depth in the Paleogene basement.

INTRODUCCIÓN

Las mineralizaciones de manganeso son muy abundantes en Cuba. Los primeros informes sobre estas mineralizaciones se remontan al año 1888 y se refieren a depósitos localizados la secuencia del arco de islas del Paleógeno, en el extremo oriental del país.

A comienzos y mediados de siglo, coincidiendo con las dos guerras mundiales, se registró una elevada demanda de manganeso, con lo que se creó la necesidad de localizar nuevas fuentes de menas hacia otras regiones del país no exploradas y en contextos geológicos muy diversos. Como resultado, fueron descubiertos y descritos más de 300 depósitos de menas de óxidos de manganeso localizados dentro de materiales volcánicos y terrígeno-carbonatados metamorfozados o no, de distinta edad (Hayes et al., 1901; Park, 1942; Woodring y Davies, 1944; Park y Cox, 1944; Lewis y Straczek, 1955; Simons y Straczek, 1958).

La producción en todos los distritos terminó en el año 1968, al disminuir la ley de los depósitos y los precios del Mn en los mercados internacionales. Por otra parte, los niveles de extracción eran ya muy profundos en las minas que en ese momento estaban activas. No obstante, el cierre de las minas coincidió con el inicio de una etapa de exploración intensiva de nuevos recursos. Una última etapa de exploración la realizó en la década de los 90 el Servicio Geológico Cubano (Instituto de Geología y Paleontología, en colaboración con la Empresa Geológica Santiago), con el objetivo de ubicar reservas para satisfacer la demanda interna del país.

La importancia mundial de las mineralizaciones de manganeso cubanas las llevó a ser descritas como referente de modelo de yacimiento de manganeso, que ha venido denominándose como “depósito volcánogénico de manganeso tipo Cuba” (Mosier y Page, 1988). No obstante, las primeras descripciones de las características de estos depósitos son muy antiguas, y adolecen de errores o carencias en la caracterización mineral o en la propia estructura de los depósitos. Por otra parte, algunos estudios más recientes, realizados por autores cubanos, europeos o

de la escuela rusa, no han tenido desgraciadamente mucha difusión en los foros científicos internacionales. Esto explica en parte que aquellos errores se hayan transmitido a algunos trabajos recientemente publicados en lengua inglesa. Además, en estos últimos trabajos, que sí cuentan en cambio con difusión internacional, no ha existido trabajo *in situ* sobre los depósitos. Así, Mosier y Page (1988), en una clasificación de los depósitos volcánogénicos mundiales definen una composición mineral totalmente equivocada para las mineralizaciones de Cuba. En trabajos de síntesis regional de los depósitos de Cuba o del Caribe, Russell et al. (1995) y Kesler et al. (1990) sitúan los depósitos en formaciones equivocadas. Por ello, los objetivos de este trabajo son realizar una síntesis de la información de que se dispone sobre el manganeso en Cuba, precisar los modelos de depósito y definir las guías de exploración de manganeso en la isla.

A grandes rasgos, Cuba cuenta con cinco metalotecos principales con manganeso: las series jurásicas de Cuba occidental y Central, las series del arco Cretácico, las series del arco Paleógeno, las series de las cuencas de *piggy back* paleógenas y el neoaútóctono (Fig.1).

DEPÓSITOS DE MANGANESO EN SERIES JURÁSICAS EN LOS TERRENOS DE GUANIGUANICO Y ESCAMBRAY

Las series jurásicas de Occidente de Cuba

Las denominadas unidades continentales (Iturralde-Vinent, 1994, 1996) las integran materiales pertenecientes a la Plataforma Mesozoica de Las Bahamas, los cuales están cubiertos por materiales del Paleoceno-Eoceno Superior (cuencas de antepaís) y los denominados “terrenos sudoccidentales” (Guaniguanico, Pinos y Escambray), los cuales pudieron pertenecer originalmente a la Plataforma de Yucatán. Estas unidades son restos de los márgenes continentales pasivos originados por la apertura del Protocaribe e incluyen materiales depositados en condiciones de plataforma y talud continental. La Plataforma Mesozoica de Las Bahamas se compone prin-

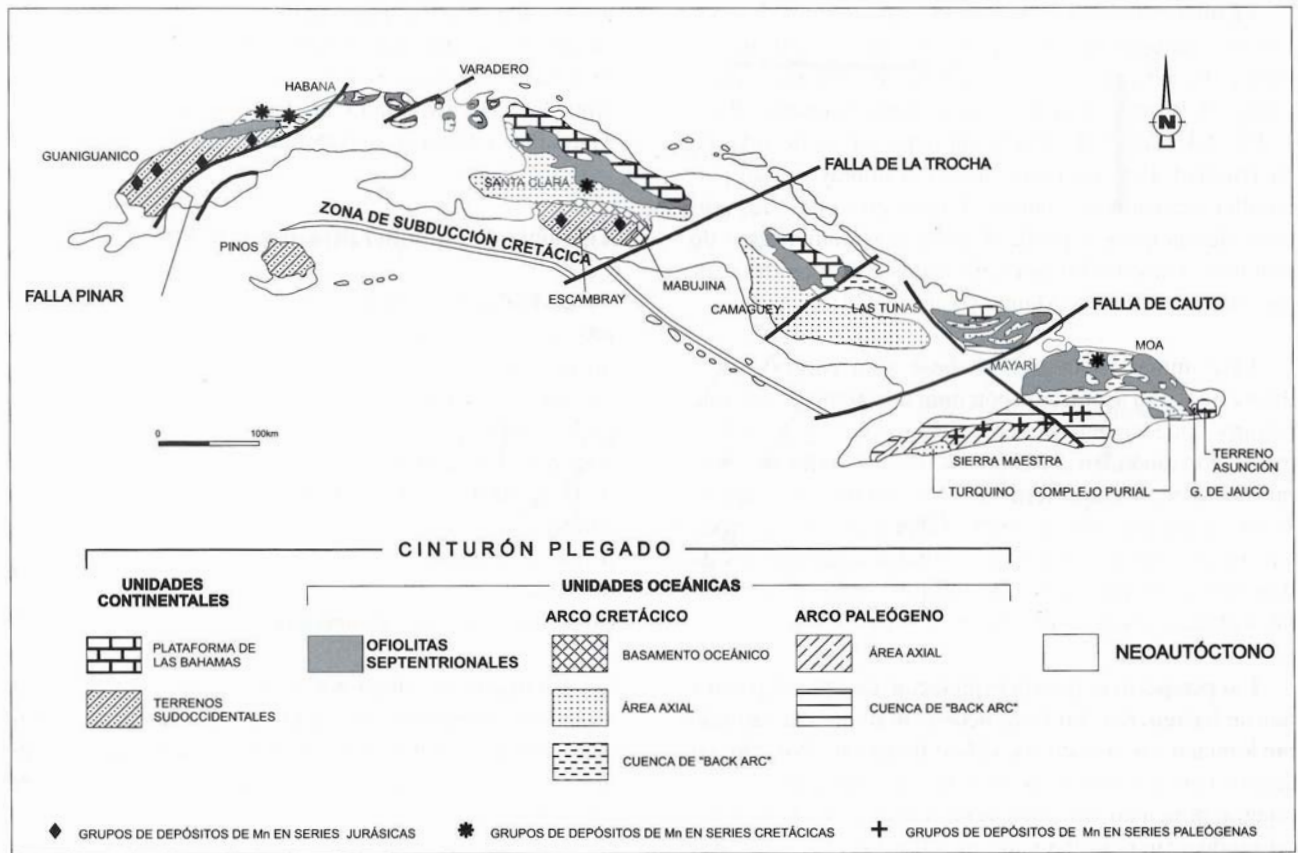


Figura 1: Ubicación de los metalotectos de manganeso en el mapa geológico de Cuba (Iturralde-Vinent, 1996), con la distribución de las mineralizaciones más importantes de Mn.

Figure 1: Situation of the manganese metalotects in the geological map of Cuba (Iturralde-Vinent, 1996), with the distribution of the most important manganese ore deposits.

principalmente de rocas carbonatadas de aguas someras y evaporitas. No obstante, también están presentes rocas carbonatadas de aguas profundas y cherts. Los denominados "terrenos sudoccidentales" presentan una litoestratigrafía muy complicada (Iturralde-Vinent, 1996). Los materiales, principalmente terrígenos y carbonatados, típicos de márgenes continentales, se presentan muy deformados y metamorfizados en condiciones de baja temperatura y relativamente alta presión (Millán y Somin, 1985). En estos terrenos también están presentes rocas de afinidad ofiolítica (serpentinitas, gabros, diabasas y basaltos) (Iturralde-Vinent, 1994, 1996).

Tipología de los depósitos de manganeso

Los depósitos presentes en las regiones occidental (Pinar del Río) y central (Escambray), han sido en general

poco estudiados, pese a haber sido explotados en la primera mitad de este siglo. La ley de los depósitos oscila entre 15 y 30% de Mn (Park, 1942), aunque cerca de la superficie probablemente fuese más alta debido al enriquecimiento supergénico.

Se localizan dentro de materiales terrígenos y carbonatados del Jurásico. Los cuerpos minerales son estratiformes, formando niveles de 1 a 3 m de potencia máxima, aunque generalmente es de orden decimétrico. Por ello, son de pequeño tonelaje (del orden de pocos miles de toneladas). En su mayoría estos depósitos se asocian con jaspes, denominados en Cuba "bayates", y se ubican en las proximidades de las mineralizaciones sedex de sulfuros de metales base con oro (Valdés-Nodarse et al., 1993). Las alteraciones consisten en silicificaciones del encajante a muro (Simons y Straczek, 1958).

La mineralización está constituida por óxidos de manganeso, principalmente “psilomelana” y pirolusita, aunque localmente se ha citado rancieíta o hausmannita, como en la mina Frank o en la mina Xiomara, Park, 1942). Además, Park (1942) cita la presencia de ankerita en Trinidad. Por otra parte, en el Escambray se dan piemontita, bementita y braunita. La presencia de estos silicatos de manganeso puede deberse al metamorfismo de protolitos constituidos por carbonatos u óxidos de manganeso (Roy, 1968; Keskinen y Liou, 1979).

Estas mineralizaciones, en base a su contexto geodinámico y a su asociación con mineralizaciones sedex de sulfuros, pueden interpretarse como sedex, y probablemente correspondan a manifestaciones distales de estos mismos procesos hidrotermales. No obstante, debe tenerse en cuenta que en ocasiones se dan depósitos de manganeso de origen sedimentario-exhalativo desligados de depósitos contemporáneos de sulfuros, como en el Priorat, Cataluña (Melgarejo y Ayora, 1992).

Las perspectivas para la explotación de estos depósitos no son halagüeñas. En la composición mineral a menudo predominan los silicatos de difícil beneficio. Por ello, en la época en que estos depósitos fueron explotados, se extrajeron principalmente menas secundarias (wad, pirolusita) producidas por alteración meteórica de los minerales primarios, que en parte se encuentran resedimentadas en materiales cuaternarios (“menas de granzón”), como en Amaro, Gramales, Trinidad y Quemados. En esta última región la potencia de los cuerpos llegaba a alcanzar 12 m (Park, 1942). El agotamiento de las menas secundarias, unido a las pequeñas dimensiones de los cuerpos, disminuye su interés económico en la actualidad.

MINERALIZACIONES DE MN EN EL ARCO VOLCÁNICO CRETÁCICO

El arco volcánico Cretácico

El arco volcánico Cretácico se compone de depósitos volcano-sedimentarios del Aptiense al Campaniense Medio, los cuales son atravesados por rocas graníticas (Iturralde-Vinent, 1996). El magmatismo es típicamente toleítico a calcoalcalino, aunque en las partes superiores de la secuencia llega a ser alcalino (Meyerhoff y Hatten, 1968; Díaz de Villalvilla, 1985). Este conjunto se dispone mediante contacto tectónico sobre las ofiolitas del cinturón septentrional de Cuba aunque, en determinadas áreas, son las ofiolitas quienes cabalgan a las rocas volcánicas. En otras zonas, las rocas volcánicas cabalgan so-

bre los depósitos del paleomargen continental de Las Bahamas. Según Iturralde-Vinent (1994, 1996), el basamento del arco volcánico es una corteza oceánica de edad pre-Aptiense, la cual aflora en Cuba Central (anfíbolitas Mabujina) y Oriental (anfíbolitas Guira de Jauco).

Tipología de las mineralizaciones de Mn

La mineralización manganesífera asociada al arco de islas volcánicas del Cretácico está representada por pequeños depósitos estratiformes de óxidos de manganeso masivos (“psilomelana” y pirolusita), asociados con jaspes (Maximov et al., 1979). Han sido localizados en la región de Bahía Honda (Cuba occidental) y en la región de Holguín (Cuba oriental), y la ley en manganeso varía entre 15 y 25 % (Cazañas y Melnikova., 1986). Dadas sus pequeñas dimensiones (con reservas inferiores a 50.000 toneladas) y su escasa distribución espacio-temporal, carecen actualmente de interés económico.

Además de los depósitos de manganeso, en las series vulcanosedimentarias de edad Cretácica hay importantes depósitos de sulfuros masivos, como los de San Fernando, Los Cerros y Antonio (véase Proenza y Melgarejo en este volumen).

En base al ambiente geodinámico de formación y sus características de afloramiento, estos depósitos pueden clasificarse como volcanogénicos.

MINERALIZACIONES DE MN EN EL ARCO VOLCÁNICO PALEÓGENO

La mayoría de los depósitos de Mn en Cuba, explotados o simplemente descritos, se localizan dentro de los materiales del arco de islas del Paleógeno, desarrollado en el extremo oriental de Cuba. El arco de islas volcánicas del Paleógeno se desarrolló entre el Paleoceno (Thanetiense) y el Eoceno Medio Inferior (Linares et al., 1985, 1986; Iturralde - Vinent, 1996) y constituye gran parte del territorio de Cuba Oriental (Fig. 1 y 2). Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla y está representada por más de 4000 m de espesor de rocas volcánicas (Iturralde-Vinent, 1996), cortados por cuerpos intrusivos de rocas graníticas. En el resto del territorio sólo se han descrito finas intercalaciones vulcanoclásticas en niveles sedimentarios (Cobiella, 1988).

La mineralización manganesífera es del tipo volcanogénica (Park, 1942; Simons y Straczek, 1958; Caza-

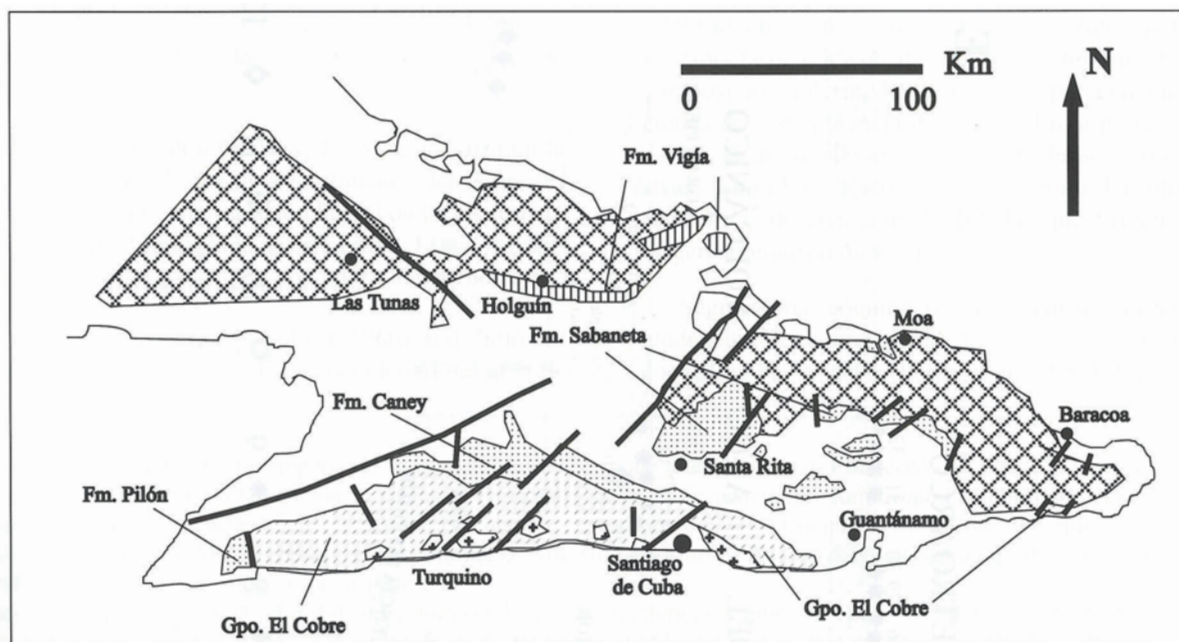


Figura 2: Grandes unidades en el Paleógeno de Oriente de Cuba (base geológica de Iturralde-Vinent, 1996). 1- Basamento del arco. Rocas del arco volcánico Daniense-Eoceno Inferior: 2- Flujos de basaltos a dacitas, con tobas, grauwacas y calizas; 3- tobas y tufitas con calizas, margas, y grauwacas intercaladas; 4- Calizas, margas, tufitas y algunas intercalaciones de grauwacas; 5- Rocas plutónicas eocenas.

Figure 2: Main geological units in the Paleogene of Oriente of Cuba (Iturralde-Vinent, 1996). 1- Arc basement. Rocks of the Danian-Lower Eocene volcanic arc: 2- Basalt to dacite flows, tuffs, greywackes, limestones; 3- Tuffs, limestones, marls, with interbedded greywackes; 4- Limestones, marls, tuffs and some interbedded greywackes; 5- Eocene plutonic rocks.

ñas et al., 1994, Cazañas y Melgarejo, 1996) y, por su importancia, la describiremos con más detalle.

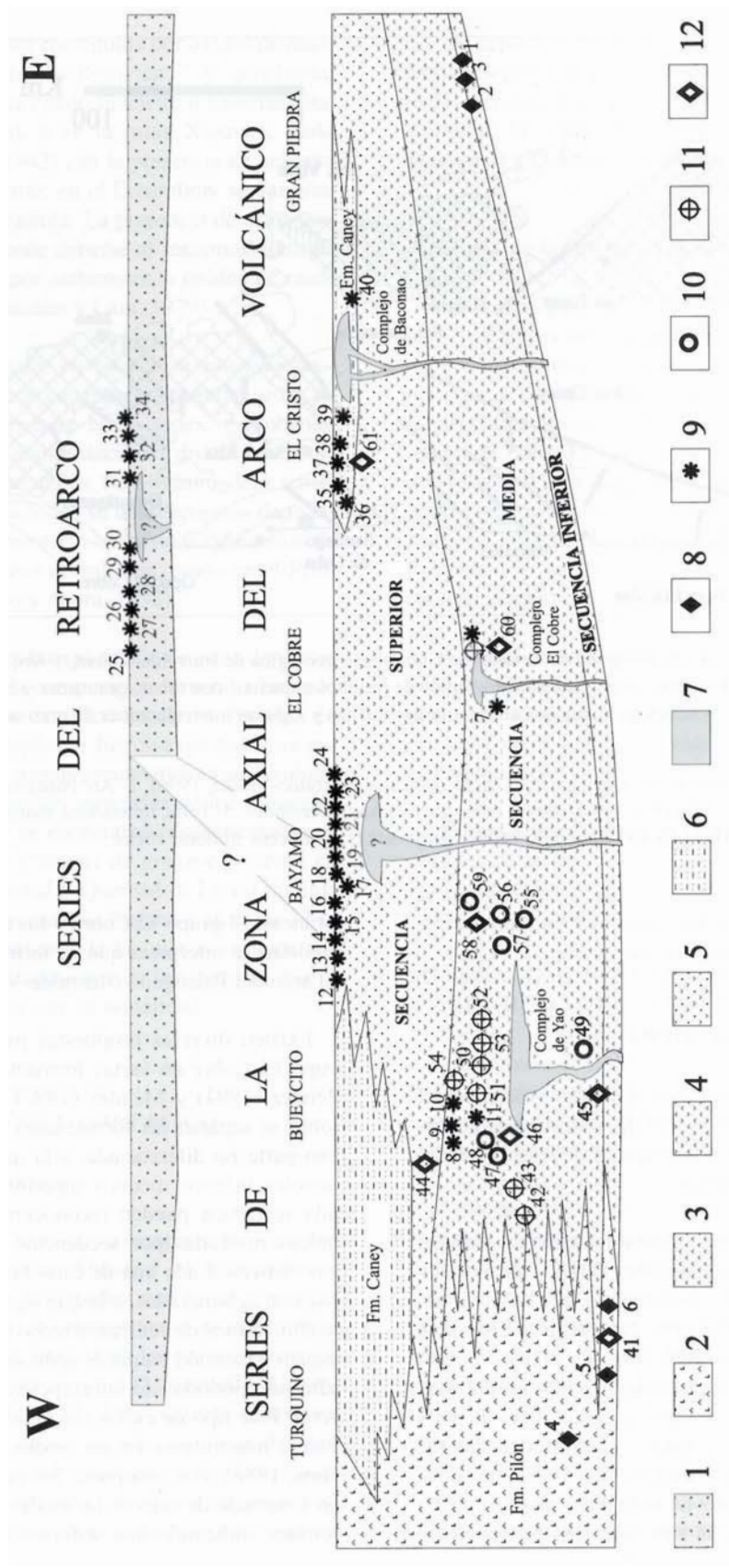
El arco de islas volcánicas del Paleógeno

Las rocas pertenecientes al arco de islas volcánico del Paleógeno yacen sobre los materiales deformados del arco Cretácico, las ofiolitas y las cuencas de *piggy back* del Campaniense tardío-Daniense.

En la parte sur de Cuba Oriental (sistema montañoso de Sierra Maestra) afloran potentes series vulcanosedimentarias (de hasta 5000 m de potencia), que han sido denominadas como grupo El Cobre. En este grupo hay predominio de rocas vulcanosedimentarias y grauwacas, con intercalaciones de basaltos, andesitas, dacitas, ignimbritas y riolitas, aunque también se dan lentes de calizas de poca potencia (unos 10 m) y escasa continuidad lateral (Linares et al. 1985, 1986; Quintas et al., 1994; Iturralde-Vinent, 1996). El conjunto de materiales del Grupo El Cobre es cortado por rocas subvolcánicas penecontem-

poráneas. El grupo El Cobre y los cuerpos intrusivos que lo cortan se interpreta que se formaron en la zona axial del arco del Paleógeno (Iturralde-Vinent, 1996).

Existen diversas propuestas para la subdivisión del grupo El Cobre en varias formaciones. Según García y Méndez (1994) y Méndez (1997), dentro del Grupo El Cobre se separan las formaciones Caney y Pilón y una gran parte no diferenciada, a la que dividen en tres secuencias, inferior, media y superior (Fig. 3). A su vez, en cada secuencia pueden reconocerse diversas fases volcánicas marcadas por secuencias granodrecientes de piroclásticos. Cada una de estas fases comienza con una base con aglomerados, a la que siguen tramos de tobas y, a techo, tramos de cenizas; a techo de estos tramos se distinguen a menudo paquetes sedimentarios poco potentes, indicando periodos de interrupción del vulcanismo en el sector. Este tipo de ciclos son típicos de vulcanismo explosivo intermitente en un medio submarino (Easton y Johns, 1986). Por otra parte, los paquetes sedimentarios son a menudo de calizas, las cuales muchas veces son arrecifales, indicando una sedimentación submarina poco



profunda. No obstante, estos cuerpos son discontinuos y pueden haberse emplazado en su posición actual como olistostromas.

La formación Pilón (Kozary, 1955) se localiza en la parte occidental del área de afloramientos del Grupo El Cobre y representa una variación lateral de facies respecto a la parte no diferenciada de este grupo. Está constituida por rocas volcanoclásticas con aporte terrígeno.

La formación Caney (Sokolova, 1966) se definió hacia los extremos nororiental y suroccidental del área de

afloramientos del Grupo, y está constituida por rocas volcanoclásticas y volcánicas, con predominio de las de composición intermedio a ácidas. Aparecen intercalaciones de poca potencia de calizas. En la parte suroccidental, se desarrolla un complejo de diques y rocas efusivas (complejo Baconao), incluyendo basaltos con estructuras de lavas almohadilladas que evidencian un origen submarino para este tramo.

Según datos geoquímicos, el volcanismo presenta una tendencia toleítica en sus inicios, pero evoluciona a calcoalcalina hacia techo (Pérez et al., 1983). La actividad

Figura 3: Distribución espacio temporal de las grandes unidades en que se divide el arco Paleógeno de Cuba, con la situación de los depósitos de manganeso. 1) Formación Sabaneta, 2) Formación Pilón, 3) Secuencia Inferior (Grupo El Cobre), 4) Secuencia Media (Grupo El Cobre), 5) Secuencia Superior (Grupo El Cobre), 6) Formación Caney, 7) Complejos subvolcánicos y efusivos, 8) Mineralizaciones filonianas de Mn, 9) Depósitos estratiformes de Mn, 10) Depósitos de Au, 11) depósitos estratoligados y estratiformes polimetálicos, 12) mineralizaciones filonianas de Cu.

Minas en el arco volcánico. Depósitos de manganeso en la Secuencia inferior del grupo El Cobre: A) Filones de Mn del Distrito Sigua (DS): 1- Sigua. 2- Non Plus Ultra. 3- Hércules, Graham. B) Filones de Mn del Distrito Ponupo-Manacal (DPM): 4- Ponupo-Manacal (Mn). 5- Recompensa, Concha (Mn). 6- Igualada, Palito (Mn). Depósitos de la secuencia media: Distrito Margarita de Cambute (DMC): 7- Margarita de Cambute, Amarito, Pasaje, Orion, La Central (Mn). Depósitos en la secuencia alta del Grupo El Cobre: A) Depósitos estratiformes de Mn del Distrito Bueycito (DB): 8- Buey Arriba (Mn). 9- Piedra de Yao, Vicente, Helem (Mn). 10- Bueycito, Daniel, Oviedo (Mn). 11- Pinar Quemado (Mn). B) Depósitos estratiformes de Mn del Distrito Guisa-Los Negros (DGN): 12- Cádiz (Mn). 13- Taratana (Mn). 14- Lucía (Mn). 15- Charco Azul (Mn). 16- Negligencia, Las Cajitas (Mn). 17- Charco Redondo (Mn). 18- San Pablo, San Alberto (Mn). 19- Casualidad (Mn). 20- Adriana, Montenegro (Mn). 21- Antonio, Las Manuelas (Mn). 22- La Unica (Mn). 23- Los Negros (Mn). 24- Estrella, Sorpresa (Mn). C) Distrito Palmarito de Cauto-La Gloria (DPG): 25- Abundancia (Mn). 26- Mary (Mn). 27- Carmita, La Llave, Colón (Mn). 28-Elvira (Mn). 29- Polaris (Mn). 30- Jesús segundo (Mn). Distrito Iris-Joturo (DIJ): 31-Tres Josefás, Cubanita (Mn). 32- Federico, Ivars de Urgel (Mn). 33- Valle de Manganeso (Mn). 34- Corinto, Briseida (Mn). D) Distrito Cristo-Ponupo-Los Chivos (DCP): 35- Los Chivos (Mn). 36- El Quinto (Mn). 37- La Margarita (Mn). 38-Laura (Mn). 39- Barrancas (Mn). 40- Chévere. Otros depósitos: 41- El Macho (Cu). 42- El Roble (Cu-Zn-Pb). 43- Infierno (Cu-Zn-Pb). 44- El Corojo (Cu). 45- La Bruja I (Cu). 46- Miguel (Cu). 47- Mercedes (Au). 48- Santa Bárbara (Au). 49- Emily (Au). 50- La Nicolasa (Cu). 51- La Cristina y Limoncito (Cu). 52- Juanica (Cu). 53- La Mañana (Cu). 54- El Cedrón (Ba). 55- San Miguel (Au-Ag). 56- Colón (Au). 57- Veta Rey (Au-Ag). 58- La Seguridad (Cu). 59- Nérida (Au). 60- El Cobre (Cu + Cu-Zn-Pb). 61- Caney (Cu).

Figure 3: Stratigraphical sketch showing the main subdivisions of the Paleogene arc of Cuba, with the situation of the manganese deposits. 1) Sabaneta formation, 2) Pilón formation, 3) El Cobre Group (Lower Sequence), 4) El Cobre Group (Middle Sequence), 5) El Cobre Group (Upper Sequence), 6) Caney formation, 7) Subvolcanic and efusive complexes, 8) Mn veins, 9) stratiform deposits of Mn, 10) Au-Ag deposits, 11) stratabound and stratiform polymetallic deposits, 12) Cu veins.

Mines in the volcanic arc. Manganese deposits in the Lower Sequence of El Cobre Group: A) Manganese veins of the Sigua District (DS): 1- Sigua. 2- Non Plus Ultra. 3- Héctor Graham. B) Mn veins of the Ponupo-Manacal District (DPM): 4- Ponupo-Manacal (Mn). 5- Recompensa, Concha (Mn). 6- Igualada, Palito (Mn). Deposits of the Middle Sequence: 7- Margarita de Cambute district (DMC): Margarita de Cambute, Pasaje, Amarito, Oriol, La Central (Mn). Deposits in the highest part of the El Cobre Group: A) Stratiform Mn deposits of the Bueycito District (DB): 8- Buey Arriba (Mn). 9- Piedra de Yao, Vicente, Helem (Mn). 10- Bueycito, Daniel, Oviedo (Mn). 11- Pinar Quemado (Mn). B) Stratiform Mn deposits of the Guisa-Los Negros District (DGN): 12- Cádiz (Mn). 13- Taratana (Mn). 14- Lucía (Mn). 15- Charco Azul (Mn). 16- Negligencia, Las Cajitas (Mn). 17- Charco Redondo (Mn). 18- San Pablo, San Alberto (Mn). 19- Casualidad (Mn). 20- Adriana, Montenegro (Mn). 21- Antonio, Las Manuelas (Mn). 22- La Unica (Mn). 23- Los Negros (Mn). 24- Estrella, Sorpresa (Mn). C) Stratiform Mn deposits of the Palmarito de Cauto-La Gloria District (DPG): 25- Abundancia (Mn). 26- Mary (Mn). 27- Carmita, La Llave, Colón (Mn). 28-Elvira (Mn). 29- Polaris (Mn). 30- Jesús segundo (Mn). Distrito Iris-Joturo (DIJ): 31-Tres Josefás, Cubanita (Mn). 32- Federico, Ivars de Urgel (Mn). 33- Valle de Manganeso (Mn). 34- Corinto, Briseida (Mn). D) Stratiform manganese deposits of the Cristo-Ponupo-Los Chivos District (DCP): 35- Los Chivos (Mn). 36- El Quinto (Mn). 37- La Margarita (Mn). 38-Laura (Mn). 39- Barrancas (Mn). 40- Chévere. Other deposits in the arc: 41- El Macho (Cu). 42- El Roble (Cu-Zn-Pb). 43- Infierno (Cu-Zn-Pb). 44- El Corojo (Cu). 45- La Bruja I (Cu). 46- Miguel (Cu). 47- Mercedes (Au). 48- Santa Bárbara (Au). 49- Emily (Au). 50- La Nicolasa (Cu). 51- La Cristina y Limoncito (Cu). 52- Juanica (Cu). 53- La Mañana (Cu). 54- El Cedrón (Ba). 55- San Miguel (Au-Ag). 56- Colón (Au). 57- Veta Rey (Au-Ag). 58- La Seguridad (Cu). 59- Nérida (Au). 60- El Cobre (Cu + Cu-Zn-Pb). 61- Caney (Cu).

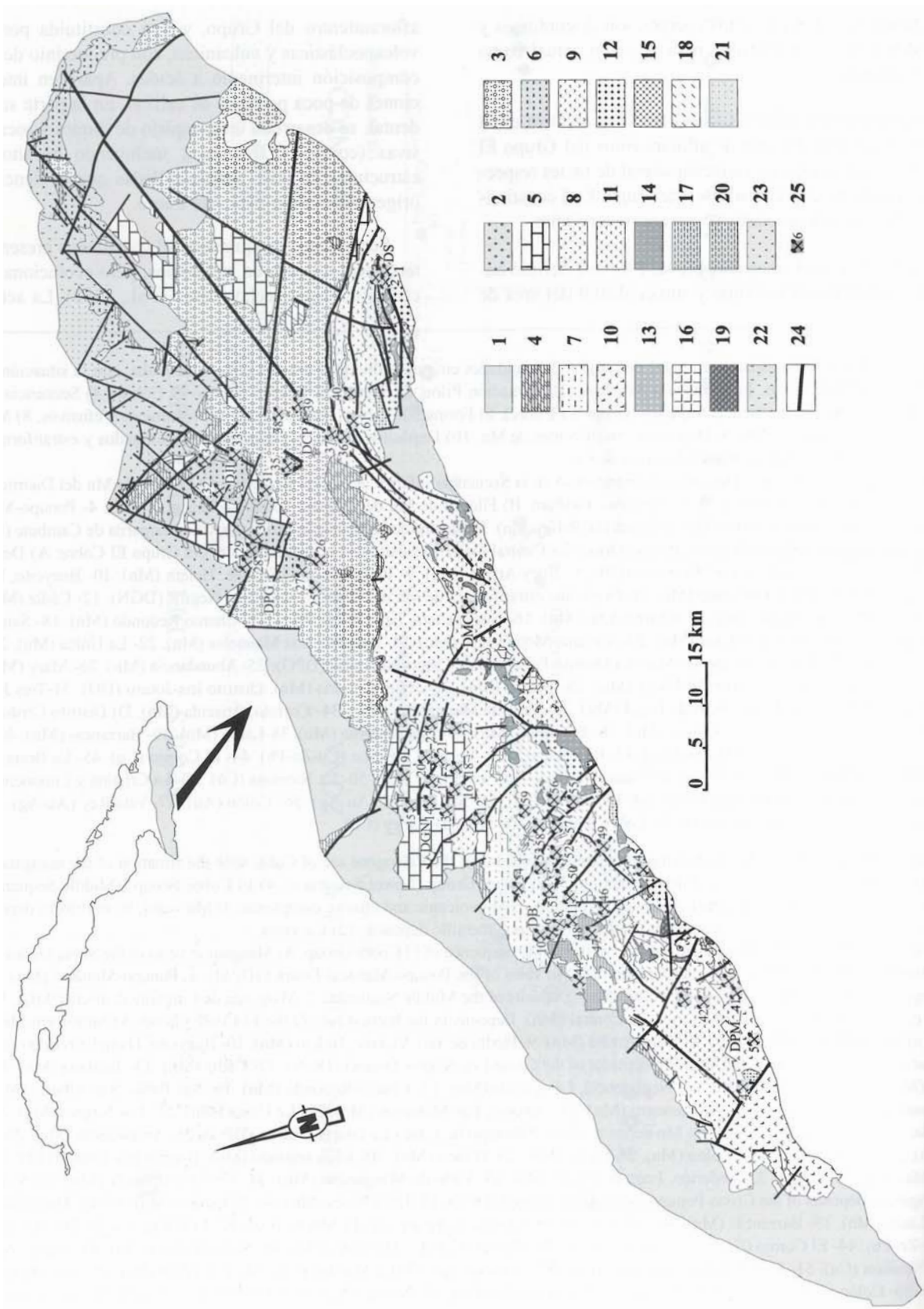
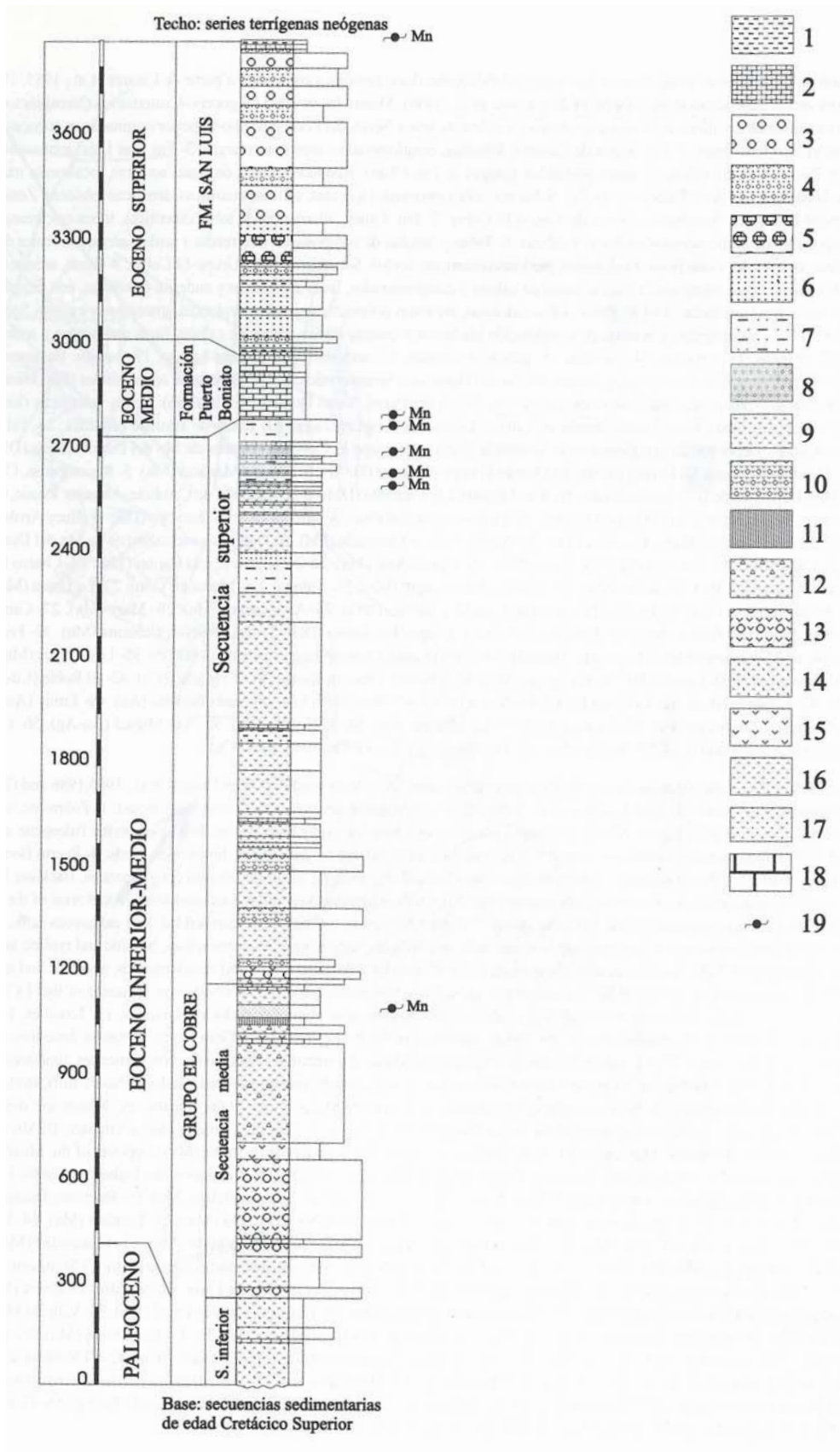


Figura 4: Ubicación de los niveles de manganeso en las series del Paleógeno (base geológica compilada a partir de Linares et al., 1985, 1986 y García y Méndez, 1997; base metalogenética modificada a partir de Cazañas et al., 1986). Materiales de edad Oligoceno-Cuaternarios (Neoautoctono): 1- Areniscas polimícticas, conglomerados, calizas, arcillas, arenas, limos y localmente yesos. Series del Eoceno Medio-Superior originadas en cuencas de piggy back, desarrolladas sobre el arco Paleógeno: 2- Fm. Sagua de Tánamo: limolitas, conglomerados, areniscas, margas; 3- Fm. San Luis: areniscas calcáreas, calizas, margas; 4-Fm. Puerto Boniato: calizas de aguas profundas, margas; 5- Fm. Charco Redondo: calizas de aguas someras, localmente margas y conglomerados. Cuenca de back-arc del Arco Paleógeno: 6- Fm. Sabaneta: tobas intermedio a ácidas, calizas, grauwacas, areniscas tobáceas. Zona axial del arco del Paleógeno (Grupo El Cobre). Secuencia superior del Grupo El Cobre: 7- Fm. Caney: alternancia de tobas cineríticas, tobas calcáreas, que intercalan con cuerpos poco potentes de lavas andesito-basálticas y calizas; 8- Tobas y brechas de composición intermedia a ácidas, areniscas, lentes de calizas, lavas basálticas y riolíticas, con diques y cuerpos subvolcánicos predominantemente ácidos. Secuencia Media Grupo El Cobre: 9-Tobas, areniscas y brechas de composición predominantemente intermedio a básica, lentes de calizas y conglomerados, lavas andesíticas y andesito-basálticas, con diques y cuerpos pequeños de riolitas, riolacitas y andesitas; 10-Fm. Pilón: Tobas calcáreas, areniscas polimícticas y vulcanomícticas, grauwacas y calizas. Secuencia Inferior del Grupo El Cobre: 11- Tobas areniscas y brechas de composición predominantemente básica, lentes de calizas, lavas andesíticas y andesito-basálticas. Rocas intrusivas 12- granitos, 13- tonalitas, 14- Dioritas, 15- gabros, 16-riolitas, 17- andesitas, 18- andesita-basalto, 19- basalto. Basamento del arco del Paleógeno: 20- Fm. Gran Tierra: calizas arrecifales, calizas brechosas (Daniense). Series cretácicas: 21- Materiales continentales (Fm. Mícara y Manacal): areniscas, conglomerados, y calizas; 22- materiales volcánicos (Fm. Sierra del Purial, Santo Domingo y Turquino): Rocas volcánicas (localmente metamorfizadas), andesita-basalto, tobas, hialoclastitas, areniscas, calizas, localmente conglomerados; 23- Rocas de afinidad ofiolítica; 24- Fallas; 25- Minas. Minas en el arco volcánico. Depósitos de manganeso en la Secuencia inferior del grupo El Cobre: A) Filones de Mn del Distrito Sigua (DS): 1- Sigua. 2- Non Plus Ultra. 3- Hércules, Graham. B) Filones de Mn del Distrito Ponupo-Manacal (DPM): 4- Ponupo-Manacal (Mn). 5- Recompensa, Concha (Mn). 6- Igualada, Palito (Mn). Depósitos de la secuencia media: Distrito Margarita de Cambute (DMC): 7- Margarita de Cambute, Amarito, Pasaje, Orion, La Central (Mn). Depósitos en la secuencia alta del Grupo El Cobre: A) Depósitos estratiformes de Mn del Distrito Bueycito (DB): 8- Buey Arriba (Mn). 9- Piedra de Yao, Vicente, Helem (Mn). 10- Bueycito, Daniel, Oviedo (Mn). 11- Pinar Quemado (Mn). B) Depósitos estratiformes de Mn del Distrito Guisa-Los Negros (DGN): 12- Cádiz (Mn). 13- Taratana (Mn). 14- Lucía (Mn). 15- Charco Azul (Mn). 16- Negligencia, Las Cajitas (Mn). 17- Charco Redondo (Mn). 18- San Pablo, San Alberto (Mn). 19- Casualidad (Mn). 20- Adriana, Montenegro (Mn). 21- Antonio, Las Manueles (Mn). 22- La Unica (Mn). 23- Los Negros (Mn). 24- Estrella, Sorpresa (Mn). C) Distrito Palmarito de Cauto-La Gloria (DPG): 25- Abundancia (Mn). 26- Mary (Mn). 27- Carmita, La Llave, Colón (Mn). 28-Elvira (Mn). 29- Polaris (Mn). 30- Jesús segundo (Mn). Distrito Iris-Joturo (DIJ): 31-Tres Josefás, Cubanita (Mn). 32- Federico, Ivars de Urgel (Mn). 33- Valle de Manganeso (Mn). 34- Corinto, Briseida (Mn). D) Distrito Cristo-Ponupo-Los Chivos (DCP): 35- Los Chivos (Mn). 36- El Quinto (Mn). 37- La Margarita (Mn). 38-Laura (Mn). 39- Barrancas (Mn). 40- Chévere. Otros depósitos: 41- El Macho (Cu). 42- El Roble (Cu-Zn-Pb). 43- Infierno (Cu-Zn-Pb). 44- El Corajo (Cu). 45- La Bruja I (Cu). 46- Miguel (Cu). 47- Mercedes (Au). 48- Santa Bárbara (Au). 49- Emily (Au). 50- La Nicolsa (Cu). 51- La Cristina y Limoncito (Cu). 52- Juanica (Cu). 53- La Mañana (Cu). 54- El Cedrón (Ba). 55- San Miguel (Au-Ag). 56- Colón (Au). 57- Veta Rey (Au-Ag). 58- La Seguridad (Cu). 59- Nérída (Au). 60- El Cobre (Cu + Cu-Zn-Pb). 61- Caney (Cu).

Figure 4: Situation of the manganese ore deposits into the Paleogene series (geological basis modified from Linares et al., 1985,1986 and García and Méndez, 1997; metallogenetic basis modified from Cazañas et al., 1986). Oligocene-Quaternary materials (Neoautochthonous): 1- Polimictic sandstones, conglomerates, limestones, clays, silt and gypsum. Middle to Upper Eocene series formed in piggy back basins, developed on the Paleogene arc: 2- Sagua de Tánamo formation: silts, conglomerates, sandstones, marls; 3- San Luis formation: calcareous sandstones, limestones, marls; 4- Puerto Boniato formation: deep water limestones, marls; 5- Charco Redondo formation: limestones formed at low depth, locally marls and conglomerates. Back-arc basin of the Paleogene volcanic arc: Sabaneta formation: 6- intermediate to acidic tuffs, limestones, greywackes, tuffaceous sandstones. Axial zone of the Paleogene volcanic arc (El Cobre group). Upper sequence of the El Cobre group: 7- Caney formation: cineritic tuffs interbedded with calcareous tuffs, with some thin bodies of andesite-basalts and limestones; 8- Intermediate to acidic tuffs and breccias, sandstones, limestone lenses, basaltic and rhyolitic lavas. Middle sequence of the El Cobre group: 9-Tuffs, sandstones and intermediate to basic breccias, limestone lenses and conglomerates, andesitic and andesite-basaltic lavas; 10-Fm. Pilón: Calcareous tuffs, polimictic and vulcanomictic sandstones, greywackes and limestones. Lower sequence of the El Cobre group: 11- Tuffs, sandstones and basic breccias, limestone lenses, andesitic and andesite-basaltic lavas. Intrusive rocks 12- Granites, 13- Tonalites, 14- Dioritas, 15- Gabbros, 16-Rhyolites, 17- Andesites, 18- Andesite-basalt, 19- Basalt. Basement of the Paleogene arc: 20- Gran Tierra formation: limestone reef, brecciated limestones (Danian). Cretaceous series: 21- Continental materials (Mícara and Manacal formations): sandstones, conglomerates, limestones; 22- Volcanic materials (Sierra del Purial, Santo Domingo and Turquino formations): Volcanic rocks (locally metamorphized), andesite-basalt, tuffs, hialoclastite, sandstones, limestones, locally conglomerates; 23- Rocks of ophiolitic affinity; 24- Fault; 25- Mines. Mines in the volcanic arc. Manganese deposits in the Lower Sequence of El Cobre Group: A) Manganese veins of the Sigua District (DS): 1- Sigua. 2- Non Plus Ultra. 3- Héctor Graham. B) Mn veins of the Ponupo-Manacal District (DPM): 4- Ponupo-Manacal (Mn). 5- Recompensa, Concha (Mn). 6- Igualada, Palito (Mn). Deposits of the Middle Sequence: 7- Margarita de Cambute district (DMC): Margarita de Cambute, Pasaje, Amarito, Oriol, La Central (Mn). Deposits in the highest part of the El Cobre Group: A) Stratiform Mn deposits of the Bueycito District (DB): 8- Buey Arriba (Mn). 9- Piedra de Yao, Vicente, Helem (Mn). 10- Bueycito, Daniel, Oviedo (Mn). 11- Pinar Quemado (Mn). B) Stratiform Mn deposits of the Guisa-Los Negros District (DGN): 12- Cádiz (Mn). 13- Taratana (Mn). 14- Lucía (Mn). 15- Charco Azul (Mn). 16- Negligencia, Las Cajitas (Mn). 17- Charco Redondo (Mn). 18- San Pablo, San Alberto (Mn). 19- Casualidad (Mn). 20- Adriana, Montenegro (Mn). 21- Antonio, Las Manueles (Mn). 22- La Unica (Mn). 23- Los Negros (Mn). 24- Estrella, Sorpresa (Mn). C) Stratiform Mn deposits of the Palmarito de Cauto-La Gloria District (DPG): 25- Abundancia (Mn). 26- Mary (Mn). 27- Carmita, La Llave, Colón (Mn). 28-Elvira (Mn). 29- Polaris (Mn). 30- Jesús segundo (Mn). Distrito Iris-Joturo (DIJ): 31-Tres Josefás, Cubanita (Mn). 32- Federico, Ivars de Urgel (Mn). 33- Valle de Manganeso (Mn). 34- Corinto, Briseida (Mn). D) Stratiform manganese deposits of the Cristo-Ponupo-Los Chivos District (DCP): 35- Los Chivos (Mn). 36- El Quinto (Mn). 37- La Margarita (Mn). 38-Laura (Mn). 39- Barrancas (Mn). 40- Chévere. Other deposits in the arc: 41- El Macho (Cu). 42- El Roble (Cu-Zn-Pb). 43- Infierno (Cu-Zn-Pb). 44- El Corajo (Cu). 45- La Bruja I (Cu). 46- Miguel (Cu). 47- Mercedes (Au). 48- Santa Bárbara (Au). 49- Emily (Au). 50- La Nicolsa (Cu). 51- La Cristina y Limoncito (Cu). 52- Juanica (Cu). 53- La Mañana (Cu). 54- El Cedrón (Ba). 55- San Miguel (Au-Ag). 56- Colón (Au). 57- Veta Rey (Au-Ag). 58- La Seguridad (Cu). 59- Nérída (Au). 60- El Cobre (Cu + Cu-Zn-Pb). 61- Caney (Cu).



volcánica duró hasta la parte baja del Eoceno Medio (Iturralde-Vinent, 1996).

En la parte norte de Cuba Oriental se localizan los materiales de la formación Sabaneta, con un total de hasta 700 m de potencia, constituidos mayoritariamente por tufitas y tobas ácidas parcialmente zeolitizadas, con escasos tramos de calizas, (Iturralde-Vinent, 1976, 1996; Proenza y Carralero, 1994; Quintas et al., 1995). Estos materiales se interpreta que se formaron en la cuenca de retroarco.

Estas grandes unidades, zona axial y retroarco, quedan cubiertas por secuencias que forman parte de una cuenca de "piggy back" (Quintas et al., 1993). El contacto de los sedimentos de la cuenca con los materiales del arco es generalmente discordante, aunque localmente es concordante y transicional. Estas secuencias comprenden de base a techo las siguientes unidades: a) formación Charco Redondo (unos 200 m de calizas de aguas someras, con estratificación gruesa), que pasa lateralmente a la formación Puerto Boniato (unos 200 m de calizas de aguas más profundas, con estratificación laminar), ambas del Eoceno Medio; b) formación San Luís (serie lutítica de unos 300 m de potencia), del Eoceno Superior.

Metalotectos de Mn en el Paleógeno

En las series volcánicas y vulcanosedimentarias del arco Paleógeno existen centenares de depósitos de manganeso, cuya categoría varía desde la de pequeños indicios hasta depósitos con cinco millones de toneladas de reservas. En la figura 4 se encuentran localizados los principales indicios y distritos.

Los principales distritos mineros son Guisa-Los Negros (localizado en la parte norte de la Sierra Maestra) y

Cristo-Ponupo-Los Chivos (localizado al este de la vertiente norte del macizo de La Gran Piedra). En este último sector la producción de manganeso durante las épocas de guerra mundial fue particularmente intensa: tan sólo en seis años (1940-1946) fueron extraídas cerca de 10 millones de toneladas de mineral, con leyes en ocasiones superiores al 35% de Mn, por lo que no era preciso efectuar concentración (Calvache, 1960). El distrito Cristo-Ponupo-Los Chivos, situado a unos 20 km de la ciudad de Santiago de Cuba, dentro del arco paleógeno, es en estos momentos la principal fuente de reservas de minerales de manganeso en Cuba, por lo que a ella nos referiremos con más detalle en otro trabajo en este mismo volumen (Cazañas et al., 1998).

Las principales morfologías de los depósitos primarios de óxidos de manganeso del Paleógeno son: lentes, capas y, en ocasiones, filones y cuerpos irregulares. Todos ellos generalmente están asociados con jaspes (Woodring y Daviess, 1944; Simons y Straczek, 1958).

La mineralización está presente en al menos seis niveles litoestratigráficos diferentes dentro del grupo El Cobre, tanto en rocas volcánicas y vulcanosedimentarias de la zona axial del arco (Fig. 5), como en la formación Sabaneta, representativa de la cuenca de retroarco.

El nivel mineralizado inferior yace hacia el techo de la secuencia media del del grupo El Cobre. Su distribución areal es muy limitada, y los afloramientos reconocidos se encuentran en la parte central de la Sierra Maestra (áreas mineralizadas de Margarita de Cambute y Botija) y en las proximidades de la mina El Cobre (área mineralizada de Melgarejo). Los cuerpos minerales son tabulares o lenticulares, con potencia que puede llegar a decamétrica, y son concordantes con las rocas encajantes: tobas, areniscas tobáceas y tufitas.

Figura 5: Columna geológica del Paleógeno, con la situación de los depósitos de manganeso. 1-limolitas, 2-areniscas calcáreas, 3-conglomerados, 4-microconglomerados, 5-conglomerados calcáreos, 6-areniscas polimícticas, 7-areniscas tobáceas, 8-tobas calcáreas, 9-tobas intermedias a ácidas, 10- aglomerados, 11-Cuerpos estratiformes de anhidrita, 12-brecha volcánica con predominio de tamaños de fragmentos < 15 mm y abundantes intercalaciones de areniscas y tobas, 13-brecha volcánica con tamaños de fragmentos generalmente > 15 mm y pocas intercalaciones de areniscas y tobas, 14-andesita-basalto, 15-andesitas, 16-andesita-dacita, 17-tobas intermedias a básicas, 18-calizas, 19- Mineralización estratiforme de óxidos de manganeso.

Figure 5: Geological profile of the Paleogene, with the situation of the manganese deposits. 1-limolites; 2-calcareous sandstones; 3-conglomerates. 4-microconglomerates. 5- calcareous conglomerates. 6- polimictic sandstones. 7-tuffaceous sandstones. 8- calcareous sandstones. 9- Intermediate to acidic tuffs. 10- Agglomerates. 11- Anhydrite lenses. 12- Volcanic breccia mainly composed by clasts having < 15 mm, interbedded with a lot of tuffs and sandstone beds. 13- Volcanic breccia mainly composed by clasts having > 15 mm, interbedded with a few sandstone and tuff beds; 14- Andesite-basalt. 15-Andesite. 16-Andesite-dacite. 17- Intermediate to basic tuffs. 18- Limestones. 19- Stratiform manganese oxides.

Otro grupo de depósitos se localizan en los últimos 200 m de la secuencia vulcanosedimentaria del grupo El Cobre y son los de mayor distribución areal en el arco. En este nivel litoestratigráfico superior quedan incluidos los distritos mineros Guiza-los Negros y Cristo-Ponupo-Los Chivos. Los cuerpos mineralizados, por lo general en forma de lentes y capas, son de potencia variable, desde centimétrica hasta 15 m. Su extensión lateral oscila desde unas pocas decenas de metros hasta 1,5 km, como en la mina El Quinto (Simons y Straczek, 1958). En los depósitos más grandes la zona mineralizada está constituida por 2, 3 y hasta 5 cuerpos interestratificados con las rocas encajantes. La mineralización está intercalada en tobas, areniscas y tufitas de composición principalmente andesítica, aunque localmente se presentan calizas, brechas y conglomerados. La mineralización de manganeso está asociada a lentejones o masas irregulares de jaspes que alcanzan hasta 20 m de potencia, como en la mina Los Chivos (Soriano et al., 1984; Soriano, 1987). En Guiza-los Negros y Cristo-Ponupo-Los Chivos se localizan todos los yacimientos con reservas industriales y las áreas con mayores perspectivas para el hallazgo de nuevos depósitos de manganeso.

La formación Sabaneta (en la cuenca de retroarco) contiene asimismo abundantes depósitos en su parte superior, muy cerca del contacto con las calizas de techo. Los más importantes se encuentran en los distritos mineros de Palmarito de Cauto-La Gloria e Iris-Joturo, hacia el norte-noreste de la Sierra Maestra.

Aunque no se dispone de una cartografía sistemática de las litofacies volcánicas en Sierra Maestra, merece la pena destacar la asociación de los depósitos estratiformes de manganeso con complejos intrusivos y efusivos, como queda patente en la figura 3. Así, los depósitos del distrito Cristo-Ponupo-Los Chivos se encuentran en la proximidad del complejo basáltico de Baconao y son contemporáneos con el mismo (Kuzovkov et al., 1988). Otros depósitos en relación proximal con centros volcánicos contemporáneos son los de El Cobre, asociados a brechas volcánicas intermedio-básicas y riolitas (véase el trabajo de Cazañas et al. sobre el yacimiento El Cobre, en este volumen), y el distrito de Bueycito, asociado a complejos efusivos e intrusivos de básicos a ácidos. En el distrito de Bayamo, también en el grupo El Cobre, y en el de Palmarito de Cauto-La Gloria, en la formación Sabaneta, la vinculación con complejos efusivos no ha podido ser determinada hasta el presente, pues en el primer caso los depósitos están recubiertos por las series de calizas del Eoceno Medio y hay escasos afloramientos; en el segundo caso no se cuenta con cartografía de detalle.

Características generales de las mineralizaciones de Mn del arco Paleógeno

En base a su morfología, pueden distinguirse dos tipos de depósito: filonianos y estratiformes.

Las manifestaciones filonianas son escasas, y los depósitos más importantes están restringidos a las series inferiores del Grupo El Cobre, especialmente en las cercanías de la costa sur de Cuba. Entre ellos destacan Ponupo-Manacal en el oeste y Sigua en el este. Las menas están constituidas por óxidos asociados a jasperoides. En la mina Magdalena aparece hausmannita como el principal mineral; en Sigua domina la braunita, con menores cantidades de bementita oxidada a pirolusita. Por sus pequeñas dimensiones, el volumen de mineral que contienen es escaso (del orden de 10.000 toneladas).

Los depósitos más importantes del arco son los estratiformes. Un depósito típico consta de las siguientes zonas de base a techo (Fig. 6):

- Zona de alteración inferior. Por debajo de la zona mineralizada se extienden rocas vulcanoclásticas de intensa coloración verde (Sokolova et al., 1971, 1976). Esta coloración se debe a la presencia de filosilicatos férrico-potásicos, celadonita y nontronita en asociación a analcima (Cazañas et al., 1994; Cazañas y Melgarejo, 1996) que se originaron por alteración hidrotermal de minerales y vidrio de las rocas vulcanoclásticas. La potencia máxima de éstas aún no se ha establecido. Sondeos realizados en el depósito La Margarita, interceptaron espesores de hasta 20 m de rocas verdes, pero fueron paralizados antes de atravesar su base (Cazañas et al., 1994).
- Cuerpos lenticulares de jasperoides masivos de potencia decamétrica y colores rojizos o parduzcos (denominados en Cuba “bayates”). Los jasperoides forman cuerpos masivos de morfología lenticular, rojizos o parduzcos que ocasionalmente incluyen restos de radiolarios.
- Menas masivas de Mn (“menas ricas”). Los óxidos de manganeso forman cuerpos de morfología botrioidal, que a menudo contienen restos fósiles, principalmente de radiolarios, así como de escasos foraminíferos.
- Facies mixta (“menas pobres”): los óxidos de manganeso presentan también crecimientos botrioidales, pero en este caso forman el cemento de depósitos piroclásticos bien estratificados, o a menudo cuerpos nodulares incluidos en los mismos. A veces esta roca se ha deno-

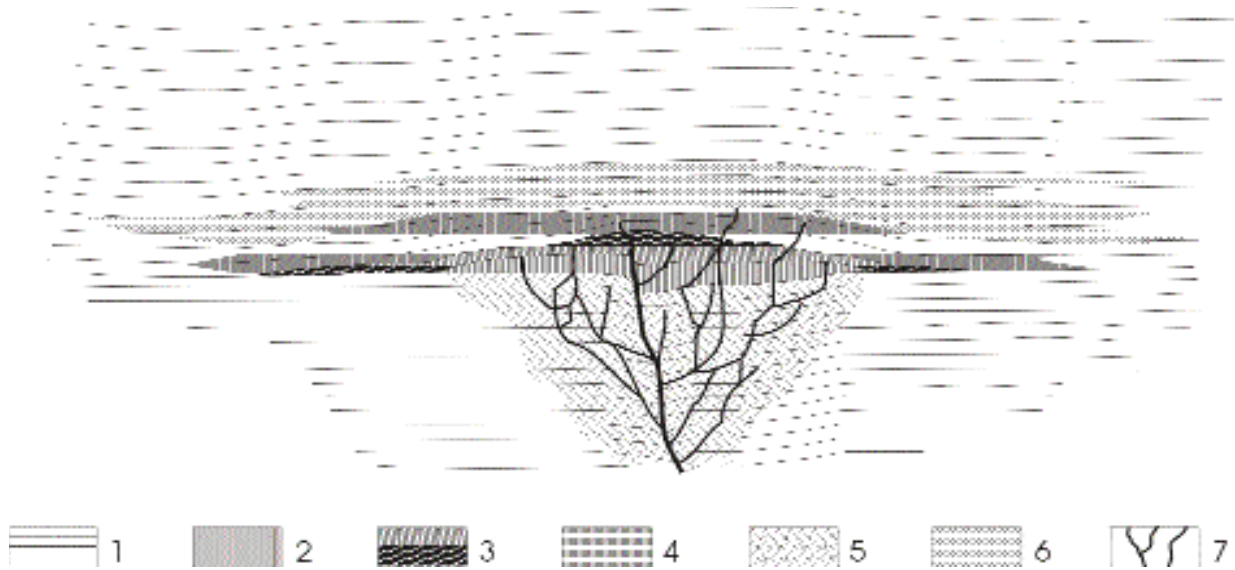


Figura 6: Esquema de una mineralización estratiforme de manganeso del Paleógeno de Cuba. 1) Rocas vulcanosedimentarias; 2) jasperoide masivo (“bayate”); 3) óxidos de manganeso masivos (“menas ricas”); 4) tobas cementadas por óxidos de manganeso (“menas pobres”); 5) tobas hematizadas; 6) zona de alteración hidrotermal celadónica a muro; 7) mineralización filoniana de óxidos de manganeso.

Figure 6: Sketch of a typical manganese stratiform mineralization of the Paleogene of Cuba. 1) vulcanosedimentary rocks; 2) massive jaspilite (“bayate”); 3) massive manganese oxides (“menas ricas”, rich ores); 4) tuff cemented by manganese oxides (“menas pobres”, poor ores); 5) hematitized tuffs; 6) hydrothermal celadonic alteration zone at the bottom; 7) manganese oxides in veins.

minado como “rosita” (Sokolova et al., 1971). Asociada a esta zona aparecen también montmorillonita y heulandita como productos de alteración de los piroclastos (Sokolova et al., 1971; Cazañas et al., 1994). En las minas de Bueycito (distrito de Bueycito) han sido citadas laumontita, analcima, heulandita y chabacita, así como orientita y barita (Hewett y Shannon, 1921). Burchard (1920) describe también zeolitas en la mina Abundancia en el distrito Palmarito de Cauto-La Gloria.

- Zona de alteración hematítica a techo, que produce rocas de color rojizo-violáceo. La hematites forma crecimientos peliculares en los bordes de grano de los cristales de la roca vulcanoclástica.

La potencia de cada uno de estos cuerpos es variable, pero a menudo alcanza más de 10 metros. En cambio, en algunos depósitos pueden faltar. Así pues, este esquema ideal no siempre está completo, y, como se ha apuntado anteriormente, en los depósitos mayores puede ser mucho más complejo. En estos casos, se dan apilamientos sucesivos de varias masas (véase Cazañas y Melgarejo, en este mismo volumen).

En los depósitos estratiformes de la serie media la mena principal es criptomelana, mientras que la todorokita es el óxido primario dominante en los depósitos de la parte superior de la serie del arco (véase Cazañas y Melgarejo, en este volumen). Los sulfuros son muy poco comunes. Park (1942) cita pirita en pequeñas cantidades en la mina Ponupo (distrito Cristo-Ponupo-Los Chivos). Por nuestra parte, hemos encontrado en La Margarita pequeñas cantidades de calcopirita y pirita de grano fino diseminadas en la zona de alteración celadónica.

Modelo de depósito

Las mineralizaciones de Mn de Cuba, y muy en particular las que se encuentran en el arco paleógeno, han sido objeto de continuos estudios por diversas escuelas de investigadores, habiendo suscitado históricamente un amplio debate sobre su génesis. Hayes et al. (1901) y Burchard (1920) propusieron un origen epigenético para las mineralizaciones de manganeso y los jaspes acompañantes. Park (1942) fue el primero en plantear un origen exhalativo de los depósitos y que una parte de las menas se

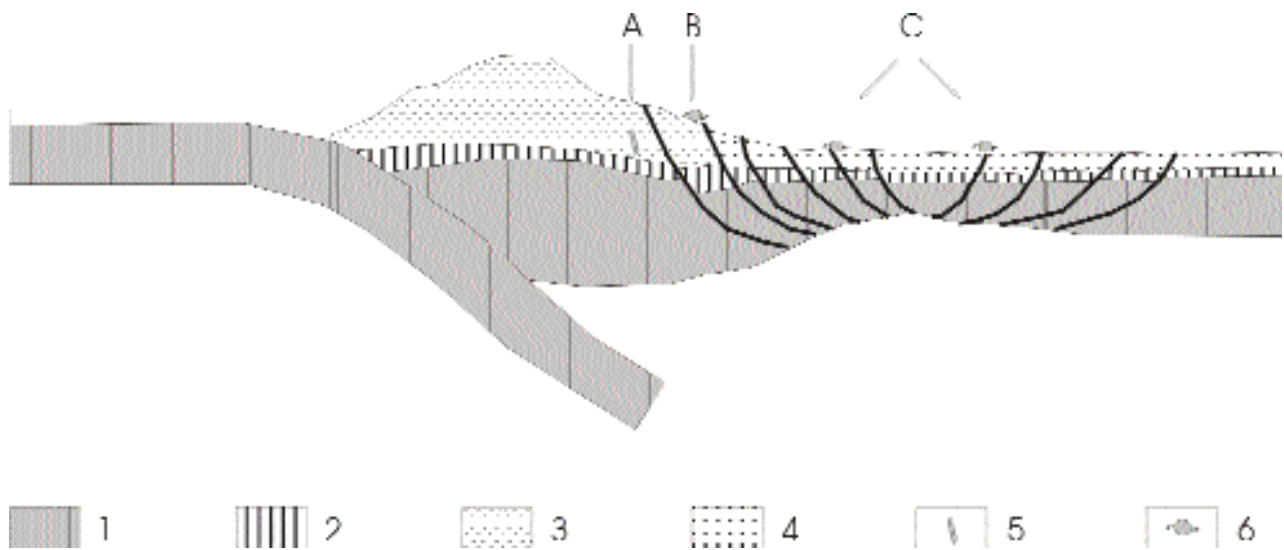


Figura 7: Reconstrucción de los principales ambientes metalogenéticos de manganeso durante el Paleógeno de Cuba. 1) Corteza oceánica; 2) basamento cretácico; 3) Zona axial del arco, con predominio de rocas volcánicas y vulcanosedimentarias; 4) cuenca de retroarco, con predominio de rocas sedimentarias y vulcanosedimentarias; 5) mineralizaciones filonianas de óxidos de manganeso; 6) mineralizaciones estratiformes de óxidos de manganeso.

Figure 7: Reconstruction of the main metallogenetic environments for manganese during the Paleogene in Cuba. 1) Oceanic crust; 2) cretaceous basement; 3) Axial zone of the arc, mainly constituted with volcanic and vulcanosedimentary rocks; 4) back arc basin, mainly constituted by sedimentary and vulcanosedimentary rocks; 5) vein deposits of manganese oxides; 6) stratiform deposits of manganese oxides.

depositó en los conductos de salida dando origen a las mineralizaciones discordantes. Simons y Straczek (1958) abundaron en la misma teoría. En cambio, Mrña et al. (1963) y Sokolova et al. (1971, 1976) propusieron un esquema hidrotermal-metasomático, en que tanto los jaspes como la mineralización se habrían formado por reemplazamiento de rocas favorables. Cazañas y Melnikova (1986), en la nota explicativa al mapa de yacimientos minerales de Cuba a escala 1:500.000 defienden el origen primario exhalativo-sedimentario de los depósitos, aunque coinciden en la existencia de cuerpos discordantes con las rocas encajantes, en algunos casos, formados por la precipitación de las soluciones mineralizantes directamente en las vías conductoras, y en otros, como producto de la infiltración y deposición de la mineralización en cavidades. Con respecto a los cuerpos estratiformes, plantean que no tienen evidencias de texturas de reemplazamiento de fragmentos piroclásticos por óxidos de manganeso.

Así pues, los depósitos masivos presentan contactos netos y no hay evidencias de procesos de reemplazamiento de litologías anteriores, ni por parte de la mineralización ni por parte de los jaspes, lo cual aboga por un origen singenético, al igual que la presencia de alteración

celadonítica confinada a la base del depósito. En este caso, el medio de formación de estos depósitos son series submarinas en un contexto de arco volcánico o retroarco, por lo que las mineralizaciones de Mn del Paleógeno de Cuba se han formado por procesos exhalativos.

A escala mundial, los depósitos exhalativos de manganeso cuentan con buenos ejemplos actuales y fósiles, y en ellos se encuentran una parte importante de las reservas de este metal en el mundo (Cox y Singer, 1986). Según Cornell y Schütte (1995) el mayor depósito de manganeso del mundo, el de Kalahari en Sudáfrica, puede asignarse a esta categoría. Es por ello que la existencia de depósitos de este tipo en Cuba plantea nuevas perspectivas de exploración.

La asociación de mineralización de manganeso con chert es típica de algunos depósitos antiguos, como en la Faja Pirítica Ibérica. Aunque en la Faja la mineralización primaria está compuesta principalmente por carbonatos (o silicatos) de manganeso (Leistel et al., 1998), estas variaciones mineralógicas pueden responder al ambiente paleobatimétrico en que se generaron los depósitos. Estos autores atribuyen los depósitos de chert con manganeso a

episodios exhalativos de menor temperatura y distintos de los que dan lugar a los depósitos de sulfuros masivos.

Por otra parte, los estudios recientes de los fondos submarinos aportan valiosa información sobre la mineralogía y las texturas de los depósitos hidrotermales recientes de manganeso, que pueden ser comparables con los de Cuba. El óxido de manganeso más importante en las mineralizaciones de la parte superior del arco paleógeno, la todorokita, es un componente importante de depósitos hidrotermales de manganeso de formación actual en fondos submarinos (Rona, 1978, 1984). Las texturas botrioidales en mineralización masiva son comunes en los depósitos de manganeso recientes, así como texturas de cemento de fragmentos vulcanoclásticos, como, por ejemplo, en el arco volcánico de las islas Marianas (Hein et al., 1997).

La existencia de varias masas superpuestas en la misma zona en la columna estratigráfica sugiere una misma raíz exhalativa para todas ellas, reactivada periódicamente durante un cierto lapso de tiempo.

Las mineralizaciones estratiformes de edad Paleógena parecen haberse formado grosso modo en dos pulsos exhalativos principales, cada uno a finales de un ciclo volcánico: el primero es contemporáneo al depósito de las series vulcanosedimentarias medias de composición intermedio-básica y se sitúa en la zona axial del arco volcánico. Estos depósitos se asocian a los depósitos de sulfuros exhalativos que se dan en el grupo El Cobre (Cazañas y Melgarejo, este volumen). El segundo pulso (en los estadios póstumos del arco) no está asociado a depósitos conocidos de sulfuros y produjo los depósitos estratiformes más importantes. Los depósitos en este estadio encajan tanto en la formación Caney en la zona axial del arco y cerca de la cuenca de retroarco, como en la formación Sabaneta en la cuenca de retroarco. Los canales emisores pueden haber sido fallas sinsedimentarias activas en la cuenca de retroarco. Esta hipótesis se apoya en la existencia de importantes cambios de potencia y de facies en la cuenca, así como discordancias intrasedimentarias (Fig. 7). Es muy interesante la comparación de la distribución de los depósitos de Cuba con la que se da en depósitos submarinos de manganeso de formación actual o reciente. Usui y Someya (1997), a partir de un análisis de diferentes tipos de mineralización submarinas actuales de manganeso en el Pacífico NW, concluyen que las mineralizaciones estratiformes masivas de manganeso del área se forman en zonas de vulcanismo activo submarino y en las cuencas de retroarco y, muy en particular, en la zona de transición retroarco-zona axial. No obstante, las mineralizaciones exhalativas de manganeso no son exclu-

sivas de los bordes de placa destructivos, pues se han descrito también en zonas de rift oceánico (por ejemplo, Corliss et al., 1978; Rey et al., 1997).

DEPÓSITOS DE MANGANESO EN LAS CUENCAS DE PIGGY BACK PALEÓGENAS

Por encima de las unidades vulcanosedimentarias del grupo El Cobre se encuentran series sedimentarias, generalmente discordantes. La presencia de discordancias internas dentro de estas series, así como cambios de potencia importantes dentro de cada unidad de las mismas, puede atribuirse a la existencia de fracturas sinsedimentarias que controlarían la sedimentación. Estas series se interpretan como formadas en cuencas de *piggy back* (véase Iturralde-Vinent, en este volumen).

Estas secuencias tienen en su base los tramos de calizas de las formaciones Charco Redondo (unos 200 m de calizas de aguas someras con estratificación gruesa) y Puerto Boniato (unos 200 m de calizas de aguas más profundas, con estratificación laminar), ambas del Eoceno Medio. La potencia de los tramos calizos puede ser mucho menor, lo cual indicaría un evento erosivo previo a la sedimentación de los tramos detríticos.

Sobre las calizas de Charco Redondo o Puerto Boniato yace, generalmente de forma discordante, la formación San Luís. Esta consta de unos 300 m de series terrígenas, con lutitas y margas, y ha sido datada como del Eoceno Superior.

Tipología de los depósitos de manganeso en las cuencas de *piggy back*

Los depósitos de manganeso se hallan en las calizas situadas en la parte basal de las series, y ya fueron descritos por Woodring y Daviess (1944). En la clasificación morfológica de estos autores se describen 3 tipos de depósito en las calizas: depósitos estratiformes, depósitos no estratificados y rellenos en karst.

Los depósitos estratiformes en las calizas son los que han tenido más interés económico de los que se encuentran en las cuencas de *piggy back*, y son también los más estudiados de entre ellos y en los que hay más controversia sobre el mecanismo genético.

Este tipo de depósitos están formados por óxidos de manganeso interestratificados con rocas vulcanosedimentarias.

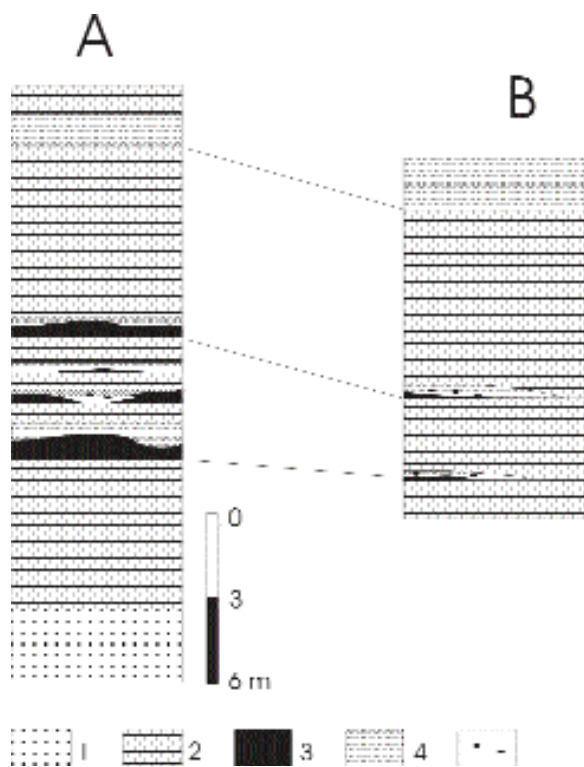


Figura 8: Dos ejemplos de perfiles de depósitos de manganeso en las secuencias de piggy back de Charco Redondo (modificado a partir de Park y Cox, 1944). Rocas del Grupo El Cobre: 1) tobas. Rocas de la formación Charco Redondo: 2) calizas; 3) menas resedimentadas de manganeso; 4) areniscas tobáceas, conglomerados, bloques olistostrómicos; 5) clastos de manganeso. Distrito Taratana. A: denuncias de Cañada y Lego; B: afloramientos en el farallón 300 m al sudeste de la galería principal de la mina Lego.

Figure 8: Two examples of profiles of manganese deposits in the Charco Redondo piggy back sequences, (after Park and Cox, 1944, modified). Rocks from El Cobre Group: 1) Tuffs. Rocks from the Charco Redondo formation: 2) limestones; 3) manganese resedimentated ores; 4) tuffaceous sandstones, conglomerates, olistostromic blocks; 5) manganese clasts. Taratana district. A: Cañada and Lego claims; B: cliff 300 m southeast of main adit of Lego mine.

mentarias; se hallan intercalados dentro de las calizas, y presentan un espesor de métrico a decamétrico. El problema para la interpretación del mecanismo genético de estos depósitos radica en buena parte en el significado de estas intercalaciones vulcanosedimentarias. Los trabajos realizados durante los años 70 por autores de la escuela soviética abogan por un origen metasomático de las menas. No obstante, en las mineralizaciones de Mn intercaladas en las secuencias de calizas de las cuencas

de *piggy back* no hay alteraciones de las rocas vulcanosedimentarias asociadas ni, mucho menos, de las calizas encajantes. Además, las rocas vulcanosedimentarias contienen cantos de la propia mineralización y de jaspeoides (Park y Cox, 1944) (Fig. 8). Por ello, Cazañas y Melnikova (1986) deducen que estas intercalaciones son el resultado de fenómenos erosivos sobre el basamento del arco. Según este esquema, estas mineralizaciones se formaron a partir del desmantelamiento de los niveles de manganeso y de las rocas asociadas de la parte superior de las secuencias vulcanosedimentarias del arco del Paleógeno, y su consiguiente resedimentación dentro de las cuencas de *piggy back*. La presencia de grandes bloques sugiere un medio sedimentario muy energético, o bien la existencia de fracturas sinsedimentarias que pudieran favorecer una removilización del sustrato. La presencia de bruscos cambios de facies y de potencia en las series de calizas del Eoceno Medio puede ser explicada por la existencia de fallas sinsedimentarias, que delimitarían altos fondos con sedimentación de calizas someras de la formación Charco Redondo y zonas más profundas, de las que sería representativa la formación Puerto Boniato. En cualquier caso, todos los depósitos descritos se encuentran en la inmediata proximidad de yacimientos situados en el techo de la formación El Cobre, por lo que es presumible que se hayan generado por desmantelamiento de los mismos.

Las otras dos categorías de depósitos descritas por Woodring y Daviess (1944), depósitos no estratificados y depósitos en karst, parecen presentar muy escaso interés económico y no fueron estudiadas en detalle. Probablemente respondan al mismo mecanismo genético, una removilización kárstica del manganeso (depósitos La Única, Cádiz, Antonio). A nivel mundial, este tipo de depósitos no parece presentar grandes expectativas, con algunas excepciones en Sudáfrica (Gutzmer y Beukes, 1996). En otros países, este tipo de depósitos han sido objeto sólo de labores mineras de reconocimiento, y por lo general no han dado resultados interesantes. En la Península Ibérica hay descritos algunos indicios parecidos, por ejemplo, en Requena en el País Valenciano (Mata-Pereñó, 1994).

DEPÓSITOS DE MANGANESO EN EL NEOAUTÓCTONO

El "neoauctono"

Está constituido por materiales terrígenos-carbonatados poco o nada deformados, cuya edad abarca desde el

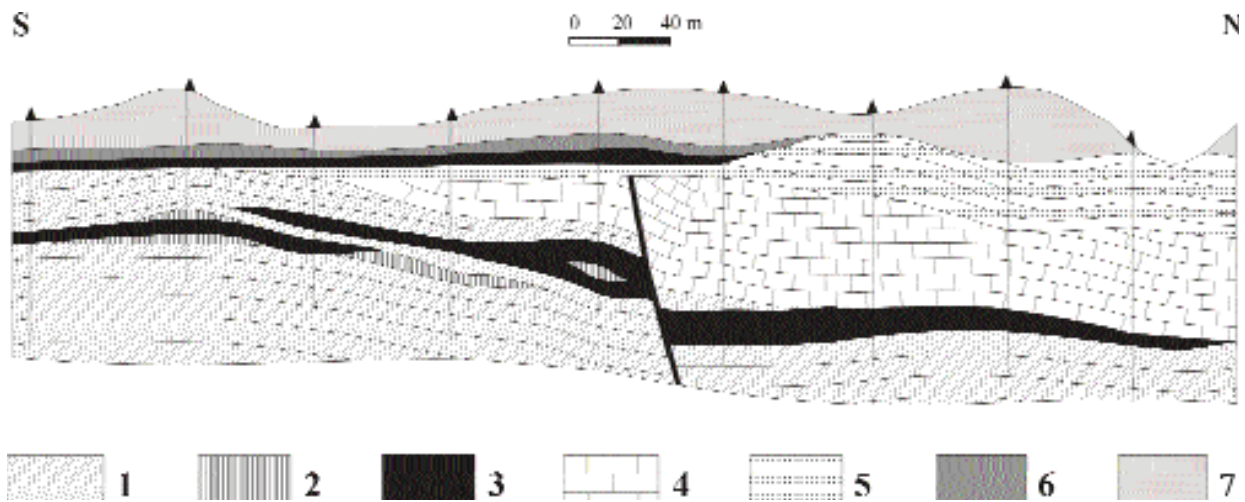


Figura 9: Corte geológico obtenido mediante sondeos en la mina Barrancas, una mineralización estratiforme de manganeso en las series de edad Paleógena de Oriente de Cuba asociada a otra mineralización estratiforme en materiales aluviales cuaternarios (según Soriano, 1987, modificado por Cazañas y Melnikova, en Lavandero et al., 1988, y De Los Santos et al., 1988). 1) materiales vulcanosedimentarios paleógenos; 2) cuerpos masivos de jaspes (bayates); 3) lentes de menas de manganeso; 4) calizas de la formación Puerto Boniato (Eoceno Medio); 5) areniscas de la formación San Luis (Eoceno Medio-Superior); 6) lutitas, conglomerados, microconglomerados; 7) arcillas, arenas, gravas.

Figure 9: Geological section, obtained from drilling, of the Barrancas mine. A manganese stratiform mineralization in the Paleogene series is spatially associated with other stratiform deposit that occurs interbedded into quaternary alluvial sediments (after Soriano, 1987, modified by Cazañas and Melnikova, in Lavandero et al. 1988 and De Los Santos et al., 1988). 1) vulcanosedimentary materials of Paleogene age; 2) massive jaspilite bodies (bayates); 3) manganese lenses; 4) limestones of the Puerto Boniato formation (Middle Eocene); 5) sandstones of the San Luis formation (Middle-Upper Eocene); 6) siltstones, conglomerates, microconglomerates; 7) clays, sands, gravels.

Eoceno Superior Tardío al Cuaternario. Estos materiales se disponen discordantemente sobre los materiales pertenecientes al “cinturón plegado”, esto es, el conjunto formado por las series deformadas de edades Paleozoicas, Jurásicas, Cretácicas y Paleógenas de Cuba (Iturralde-Vinent, 1994, 1996).

Las secuencias sedimentarias pertenecientes al “neoautóctono” responden a un régimen geodinámico caracterizado por: a) el cese de los desplazamientos horizontales de mantos de cabalgamientos, b) la ausencia de actividad volcánica, c) el predominio de movimientos tectónicos de reajuste isostático de la corteza y, d) una tendencia generalizada a la neritificación (Iturralde-Vinent, 1988, Gonzales et al., 1994).

Las unidades litoestratigráficas representativas del “neoautóctono” en Cuba Oriental son: a) la Formación Majimiana (Oligoceno, calizas organógenas-detríticas), b) la Formación Imías (Mioceno, calizas y margas), c) la Formación Júcaro (Mioceno-Plioceno, calizas arcillosas y margas arenosas), d) la Formación Maya (Plioceno, cali-

zas organógenas-detríticas) (Quintas, 1989) y d) los sedimentos cuaternarios (sedimentos aluviales, barras de playa, etc.).

Tipología de los depósitos

Los sedimentos cuaternarios contienen también cuerpos estratiformes de óxidos de manganeso. Estas menas, denominadas en Cuba “granzones” se encuentran exclusivamente en las proximidades de depósitos de manganeso encajados en las rocas vulcanosedimentarias del arco paleógeno. La textura de la mena es detrítica, los clastos son de tamaño variable y están constituidos mayoritariamente de óxidos de Fe y Mn. Presentan poca matriz arcillosa y escasos fragmentos siliciclásticos, contrariamente a las menas removilizadas que se encuentran en el arco paleógeno o en las cuencas de *piggy back*. Análogamente a lo que ocurre con las mineralizaciones encajadas en las calizas de las cuencas de *piggy back*, no existe ningún tipo de alteración en los sedimentos encajantes. Por todas estas razones, estas mineralizaciones pueden considerar-

se como las removilizaciones aluviales de depósitos pre-existentes en las series paleógenas.

Debido a la alta proporción de óxidos de manganeso y baja proporción de matriz y fragmentos siliciclásticos, estas mineralizaciones son de alta ley. No obstante, el pequeño volumen de los depósitos hasta ahora conocidos disminuye su interés económico. Un ejemplo típico de estos indicios en el Neoautóctono se encuentra anexo al depósito de Barrancas (Fig. 9). En este caso, la mena se encuentra en la base de una secuencia de materiales aluviales de edad cuaternaria.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En series de edad Jurásica, Cretácica y Paleógenas de Cuba hay depósitos exhalativos de manganeso. En función del tipo de materiales submarinos encajantes corresponden a dos modelos: el de tipo exhalativo-sedimentario y el volcanogénico. El de tipo exhalativo-sedimentario está representado por pequeñas mineralizaciones en cuencas sedimentarias extensionales de edad Jurásica y se asocia lateralmente a yacimientos de sulfuros masivos. El volcanogénico comprende depósitos asociados a los arcos de islas volcánicas del Cretácico y Paleógeno. De entre todos ellos, los más importantes en cuanto a reservas son los del Paleógeno.

Los depósitos vulcanogénicos de manganeso de Cuba presentan rasgos comunes con otros depósitos de manganeso asociados a depósitos de sulfuros masivos en otras partes del mundo, y en los del arco Cretácico esta asociación es evidente. Por consiguiente, como criterio de exploración futura, merece la pena valorar la posibilidad de que los depósitos de manganeso de la parte superior de la secuencia de El Cobre sean un exponente más de una actividad hidrotermal en el arco, que pudo haber formado además yacimientos de sulfuros masivos. En este sentido, cabe recordar que hay cuerpos de óxidos de manganeso en posición lateral respecto a los depósitos con sulfuros de la mina El Cobre, que ha sido interpretada como de origen exhalativo (véase Cazañas y Melgarejo, en este volumen), y que existen depósitos de sulfuros en el distrito de Mn Cristo-Ponupo-Los Chivos (Fig. 3). La gran abundancia de depósitos de óxidos en relación a la de sulfuros no es un argumento fuerte contra esta hipótesis: según Soriano (1997), los depósitos de jaspes con manganeso son mucho más abundantes en la Faja Pirítica que los niveles de sulfuros masivos, y presentan una estructura compleja similar a la de los depósitos de Cuba, con lentes de jaspes con mineralización barítica y de óxidos de manganeso,

que pasan lateral y verticalmente a rocas vulcanosedimentarias con una hematización hidrotermal (“povo hematites”); existe localmente, además, una intensa alteración clorítica en la base (Sedler et al., 1997).

La relación genética entre yacimientos de sulfuros y de óxidos de manganeso está en discusión. En la Faja Pirítica Ibérica, una de las zonas del mundo en que hay mayor densidad de yacimientos de ambos tipos, la proximidad espacial entre ambos tipos de depósito llevó a diversos autores (Strauss y Madel, 1974; Barriga y Carvalho, 1983) a plantear un origen común. Sedler et al. (1997), no obstante, niegan esta posibilidad. En una síntesis sobre los ambientes de formación de manganeso de todo el mundo, Roy (1992) concluye que los fluidos con manganeso y los fluidos con sulfuros son los mismos, y el manganeso sólo se encuentra en posición lateral debido a su mayor movilidad. De hecho, este aspecto ha sido demostrado a pequeña escala en algunos depósitos actuales, como en el atolón Franklin en Nueva Guinea (Binns et al., 1993). En el caso de Cuba, los depósitos de sulfuros de la mina El Cobre tienen lateralmente lentes de manganeso. Por ello, la presencia de indicios de sulfuros de metales base en algunos depósitos (como la de Pb-Ba de El Caney, la de Cu-Zn-Pb de Sigua, la barita de El Cedrón o la misma presencia de calcopirita y pirita en las raíces exhalativas de La Margarita), sugieren que podría haber depósitos de sulfuros masivos en las proximidades de los mismos distritos de manganeso. Este aspecto debería ser muy tenido en cuenta en futuras exploraciones del arco Paleógeno en Cuba Oriental.

En cualquier caso, los fenómenos exhalativos en Cuba se desarrollaron en los estadios finales de ciclos volcánicos, por lo general, en proximidad a centros volcánicos. Esta proximidad a los centros volcánicos se da también en algunos depósitos actuales, como en las Galápagos (Fehn, 1986). Los fenómenos exhalativos cesaron con el fin del vulcanismo y con el cambio paleogeográfico que supone la sedimentación de las calizas del Eoceno Medio. Los depósitos dentro de las formaciones Charco Redondo y Puerto Boniato representan resedimentación de las mineralizaciones a partir de corrientes de fondo. Estos cambios en los procesos sedimentarios responden a episodios de erosión de mineralizaciones del basamento paleógeno, probablemente en relación con la actividad de fracturas sinsedimentarias. El transporte no parece haber sido muy lejano en ningún caso, pues todos estos depósitos resedimentados se encuentran en las inmediaciones de cuerpos de óxidos de manganeso en el arco. Así pues, los óxidos de manganeso son relativamente estables durante un proceso erosivo, y pueden ser resedimentados como

clastos en áreas favorables. Recíprocamente, la presencia de estos depósitos en la superficie puede ser un criterio de exploración para localizar depósitos que se encuentren, a escasa profundidad, en las rocas del arco Paleógeno subyacentes.

REFERENCIAS

- Barriga, F., Carvalho, D., 1983. Carboniferous volcanogenic mineralization in South Portugal (Iberian Pyrite belt). *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 29, 99-116.
- Binns, R.A., Scott, S.D., Bogdanov, Y.A., Lisitzin, A.P., Gordeev, V.V., Gurvich, E. G., Finlayson, E.J., Boyd, T., 1993. Hydrothermal oxide and gold-rich sulfate deposits of Franklin Seamount, Western Woodlark Basin, Papua New Guinea. *Econ. Geol.*, 88, 2122-2153.
- Burchard, E.F., 1920. Manganese ore deposits in Cuba. *Amer. Inst. Med. Enging. Trans.*, 63, 51-104.
- Calvache, A., 1960. Historia y desarrollo de la minería en Cuba. Centro Nacional del Fondo Geológico, 100 p.
- Cazañas, X., Melnikova, A., 1986. Sistematización y generalización de la información sobre los yacimientos minerales metálicos de la República de Cuba. In R.M. Lavandero, M. Estrugo, M. Santa Cruz-Pacheco, F. Bravo, A.A. Melnikova, R. Cabrera, V.A. Trofimov, J. Romero, I. Altarriba, P. Álvarez, I.I. Aniatov, B. Badamgavin, A.N. Barishev, D.J. Carrillo, X. Cazañas, N. Cuellar, A.V. Dovnia, F. Formell, M. García, D. Gonzáles, G.G. Gue, A. Janchivin, L.J. Krapiva, J. López, I. Lozanov, J. Montenegro, G. Pantaleón, N. Stefanov, O. Vázquez, A.M. Zagoskin, A.Ya. Zhidkov, 1988. Informe al Mapa de Yacimientos Minerales Metálicos y Aguas Minerales de la República de Cuba a escala 1:500 000 (1988). Informe inédito. La Habana, Cuba, Instituto de Geología y Paleontología.
- Cazañas, X., Melgarejo, J.C., Fernández, A., Chaves, S., Guerra, M., Borrero, A., Torres, M., 1994. Características geológicas del depósito La Margarita y su modelo. Memoria II congreso, Instituto de Geología y Paleontología, 1-15.
- Cazañas, X., Melgarejo, J.C., 1996. Los depósitos de Mn La Margarita y Los Chivos, Cuba Oriental. *Bol. Soc. Esp. Mineralogía*, 19(1), 27-28.
- Cobiella, J., 1988. El vulcanismo paleógeno cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. *Revista Tecnológica*, 18, 25-32.
- Corliss, J.B., Lyle, M., Dymond, D.J., Crane, M., 1978. The chemistry of hydrothermal mounds near the Galapagos rift. *Earth Planet. Sci. Letters*, 40, 12-24.
- Cornell, D.H., Schütte, S.S., 1995. A volcanic-exhalative origin for the world's largest (Kalahari) manganese field. *Mineral. Deposita*, 30, 146-151.
- Cox, D.P., Singer D.A., 1986. Mineral deposit models. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1693, 379 pp.
- De los Santos, E., Peñalver, L.L., Krivtsov, A.I., Tijomirov, I.N., Lavandero, R.M., Trofimov, V.A., Cabrera, R. Hernández, J., Lavandero, R.M., Estrugo, M., Santa Cruz-Pacheco, M., Bravo, F., Melnikova, A.A., Cabrera, R., Trofimov, V.A., Romero, J., Altarriba, I., Alvarez, P., Aniatov, I.I., Badamgavin, B., Barishev, A.N., Carrillo, D.J., Cazañas, X., Cuéllar, N., Dovnia, A.V., Formell, F., García, M., Gonzáles, D., Gue, G.G., Janchivin, A., Krapiva, L.J., López, J., Lozanov, I., Montenegro, J., Pantaleón, G., Stefanov, N., Vázquez, O., Zagoskin, A.M., Zhidkov, A.Ya., 1988. Mapa de Yacimientos Minerales Metálicos y Aguas Minerales de la República de Cuba a escala 1:500 000. 5 hojas. Leningrado, Fábrica Cartog. Indust. Invest. Cient. Geol. A.P. Karpinsky. 5 hojas.
- Díaz de Villalvilla, L., 1985. Proposición para una división de la llamada Formación Tobas (provincias Cienfuego, Villa Clara, y Sancti Spiritus). *Serie Geológica*, 1, 133-154.
- Easton, R.M., Johns, G.W., 1986. Volcanology and mineral exploration: The application of physical volcanology and facies studies. In J. Wood, H. Wallace (eds.). *Volcanology and mineral deposits*. Ontario Geological Survey Miscellaneous Paper, 129, 2-40.
- Fehn, U., 1986. The evolution of low temperature convection cells near spreading centers: A mechanism for the formation of the Galapagos mounds and similar manganese deposits. *Econ. Geol.*, 81, 1396-1407.
- García, D., Méndez, I., 1994. Generalización estratigráfica del arco de islas volcánicas paleógeno en la Sierra Maestra, Cuba. Segundo congreso cubano de Geología y Minería, Santiago de Cuba, Resúmenes, 68.
- Gonzales, M., Manzo, A., Proenza, J., 1994. Estratigrafía y paleogeografía del Oligo-Mioceno en Cuba Oriental. Segundo congreso cubano de geología y Minería, Santiago de Cuba, Resúmenes, 85.
- Gutzmer, J., Beukes, N.J., 1996. Karst-hosted fresh-water paleoproterozoic manganese deposits, Postmasburg, South Africa. *Econ. Geol.*, 91, 1435-1454.
- Hayes, C.W., Vaughan, T.W., Spencer, A.C., 1901. Report on a geological reconnaissance of Cuba. In civil report of Brig. Gen. Leonard Wood, military Governor of Cuba, for 1901, vol 1, 123.
- Hein, J.R., Koschinsky, A., Halbach, P., Manheim, F.T., Bau, M., Kang, J.K., Lubick, N., 1997. Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. In K. Nicholson, S.R. Keim, B. Bühn, S. Dasgupta (eds.). *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*, *Geol. Soc. Spec. Pub.*, 119, 123-138.
- Hewett, D.F., Shannon, E.V., 1921. Orientite, a new hydrous silicate of manganese and calcium from Cuba. *Am. Jour. Sci.*, 5th ser., 1, 491-506.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1976. Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba. Oriente. *La Minería en Cuba*, 5, 9-23.

- Iturralde-Vinent, M.A., 1988. Naturaleza geológica de Cuba. Editorial Científico-Técnica, 246 p.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1994. Cuba Geology: A new plate tectonics synthesis. *Jour. Petrol. Geol.*, 17, 39-70.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1996. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special Contribution n.1., 254 p. Miami, Florida.
- Keskinen, M., Liou, J.G., 1979. Synthesis and stability relations of Mn-Al piemontite, $\text{Ca}_2\text{MnAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$. *Amer. Mineral.*, 64, 317-328.
- Kesler, S.E., Levy, E., Martin, C.F., 1990. Metallogenic evolution of the Caribbean region. In G. Dengo, J.E. Case (eds.). *The Caribbean Region. Geol. Soc. Amer. Vol. H.*, 459-481.
- Kozary, M.T., 1955. Geologic Map of Sierra Maestra 1: 40 000. Oficina Nacional de Recursos Minerales, MINBAS, La Habana, inédito, 40.
- Kuzovkov, G.N., Zinchenko, V., Alcaide, J., Durañona, D., Escobar, E., Acosta, J., Fernández, A., Cobián, T., Méndez, I., Rodríguez, R., Sánchez, R., Guerra, M., Gelis, B., Lay, M., Modelo, F., Rodríguez, M., 1988. Informe sobre el Levantamiento Geológico a escala 1:50.000 y búsquedas acompañantes ejecutadas en el área de La Gran Piedra al este de Santiago de Cuba en los años 1983-1987. Oficina Nacional de Recursos Minerales MINBAS. La Habana. Inédito. 163 p.
- Leistel, J.M., Marcoux, E., Deschamps, Y., 1998. Chert in the Iberian Pyrite Belt. *Mineral. Deposita*, 33, 59-81.
- Lewis, G.E., Straczek, J.A., 1955. Geology of South-Central Oriente, Cuba. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 975-D, 171-335.
- Linares, E., Osadchiy, P., Dohnia, A., Gil, S., García, D., Zuazo, A., González, R., Bello, V., Brito, A., Bush, W., Cabrera, M., Capote, C., Cobiella, J.L., Díaz de Villalvilla, L., Eguipko, D., Evdokimov, Y., Fonseca, E., Furrázola, G., Hernández, J., Judoley, C.M., Kondakov, L., Markousky, A., Norman, A., Pérez, M., Peñalver, L., Tijomirov, I., Zelepuguin, V., 1985. Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1:500 000. Fábrica Cartog. Indust. Invest. Cient. Geol. A.P. Karpinsky, Leningrado. 5 hojas.
- Linares, E., Osadchiy, P., Dohnia, A., Gil, S., García, D., Zuazo, A., González, R., Bello, V., Brito, A., Bush, W., Cabrera, M., Capote, C., Cobiella, J.L., Díaz de Villalvilla, L., Eguipko, D., Evdokimov, Y., Fonseca, E., Furrázola, G., Hernández, J., Judoley, C.M., Kondakov, L., Markousky, A., Norman, A., Pérez, M., Peñalver, L., Tijomirov, I., Zelepuguin, V., 1986. Breve nota explicativa al mapa geológico de la República de Cuba a escala 1:500.000. Centro de Investigaciones Geológicas, MINBAS, La Habana. 83 p.
- Mata-Perelló, J.M., 1994. Introducción al estudio de indicios manganíferos, situados en las inmediaciones de Requena, país Valenciano. *Geogaceta*, 16, 154-155.
- Maximov, A., Mediakov, V.I., Riabenko, S., Krasnov, B., Katae, A., Hevia, E., Bello, V., Gómez, R., Park, G., 1979. Informe sobre los resultados de los trabajos complejos geológico-geofísicos a escala 1:50.000 en la zona de Bahía Honda. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ministerio de la Industria Básica, La Habana (Inédito). 172 p.
- Melgarejo, J.C., Ayora, C., 1992. Mineralizaciones SEDEX de manganeso en tramos basales de la serie carbonífera del Priorato-Sierra de Miramar (Cataluña). *Bol. Geol. Min.*, 103,3, 544-550.
- Méndez, I., 1997. Apuntes sobre el vulcanismo del Paleógeno en la región Sierra Maestra y características de su composición química. In G. Furrázola, K. Nuñez (eds.), 424-444, *Estudios sobre Geología de Cuba, Ciudad de la Habana.*
- Meyerhoff, A.A., Hatten, C.W., 1968. Diapiric structures in Central Cuba. *A.A.P.G. Mem.*, 8, 315-357.
- Millán, G., Somín, M., 1985. Contribución al conocimiento geológico de las metamorfitas del Escambray y Purial. *Reportes de Investigación, Academia de Ciencias de Cuba*, 2, 1-74.
- Mosier, D.L., Page, N.J., 1988. Descriptive and grade-tonnage models of volcanogenic manganese deposits in oceanic environments. A modification. *U.S. Geol. Survey Bull.*, 1811, 1-27.
- Mrña, F., Duris, M., Ladislav, R. 1963. Informe geológico sobre los yacimientos de manganeso en la zona Cristo- Ponupo. Informe interno, inédito. Centro Nacional del Fondo Geológico. La Haba, Cuba.
- Park, C.F., 1942. Manganese deposits of Cuba. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 935-B, 75-97.
- Park, C.F., Cox, M.W., 1944. Manganese deposits in part of the Sierra Maestra, Cuba. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 935-F, 307-355.
- Pérez, M., Rodríguez, J., Castillo, O., 1983. Petrología de las rocas del macizo Daiquirí. *Minería y Geología*, 2, 99-130.
- Proenza, J., Carralero, N.M., 1994. Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. *Minería y Geología*, 11(2), 3-10.
- Quintas, F., 1989. Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico Superior y Paleógeno de la Provincia Guantánamo y zonas cercanas. Tesis doctoral inédita. Fondo Geológico, ISMM, Cuba.
- Quintas, F., Blanco, J., 1993. Paleogeografía de la cuenca San Luis y su importancia para la interpretación de la evolución geológica de Cuba Oriental. *Minería y Geología*, 10, 3-14.
- Quintas, F., Hernández, M., Blanco, J., 1994. Origen y evolución del arco de islas volcánicas Sierra Maestra. *Minería y Geología*, 11(1), 3-12.
- Quintas, F., Proenza, J., Castillo, J.L. 1995. Análisis tectono-sedimentario de la paleocuenca Sabaneta. *Minería y Geología*, 12, 3-8.
- Rey, J., Somoza, L., Martínez-Frías, J., Benito, R., Martín-Alfageme, S., 1997. Deception Island (Antarctica): a new target for exploration of Fe-Mn mineralization?. In K. Ni-

- cholson, S.R. Kein, B. Bühn, S. Dasgupta (eds.). Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits, *Geol. Soc. Spec. Pub.*, 119, 239-251.
- Rona, P.A., 1978. Criteria for recognition of hydrothermal mineral deposits in oceanic crust. *Econ. Geol.* 73, 135-160.
- Rona, P.A., 1984. Hydrothermal mineralization at seafloor spreading centres. *Earth- Sci. Rev.* 20, 1-104.
- Roy, S., 1968. Mineralogy of the different types of manganese deposits. *Econ. Geol.*, 63, 760-785.
- Roy, S., 1992. Environments and processes of manganese deposition. *Econ. Geol.*, 87, 1218-1236.
- Russell, N., Kesler, S.E., Bell, D., 1995. Metallogeny of the Sierra Maestra, Cuba. SEG Annual Meeting, A-239.
- Sedler, I.K., Wipfler, E.L., Matheis, G., 1997. The formation of stratiform manganese vs. VMS deposits in the SW-Iberian Pyrite Belt. In H. Papunen (ed.), *Mineral deposits, research and exploration*, Rotterdam, Balkema, 575-578.
- Simons, F.S., Straczek, J.A., 1958. Geology of Manganese deposits of Cuba. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1057, 289 p.
- Sokolova, E.A., 1966. Conferencia sobre las formaciones vulcanógeno-sedimentarias que contienen manganeso en la provincia de Oriente. Oficina nacional de Recursos Minerales, La Habana, 15.
- Sokolova, E.A., Stepanov, VI, Brito, A., Coutin, D.P., 1971. Textura y estructura de las menas manganíferas todorokíticas estratiformes de la formación El Cobre, Cuba. In *Contribución a la geología de Cuba*, 78-91, La Habana.
- Sokolova, E.A., Brito, A., Coutin, D.P., 1976. La formación manganesífera El Cobre (provincia de Oriente, Cuba). In *Academia de Ciencias de Cuba-Instituto de Geología y Paleontología* (eds.), *Geología de los minerales útiles de Cuba*, Pub. Esp. 3, 92-124, La Habana.
- Soriano, R., Akinshin, I., Olivares, S., Gilart, R., 1984. Informe sobre los resultados de la exploración complementaria del Yacimiento Los Chivos con cálculo de reservas de menas manganíferas. Informe interno. Inédito. Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana, Cuba.
- Soriano, R., 1987. Informe sobre los resultados de la exploración detallada del yacimiento Barrancas con cálculo de reservas de menas manganíferas. Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana, Cuba.
- Soriano, C., 1997. Vulcanisme i estructura de la Faja Pirítica Ibérica. Zona Sud-Portuguesa. Tesis doctoral. Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera" del CSIC-Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia de la Universitat de Barcelona. Inédito. 265 p.
- Strauss, G.K., Madel, J., 1974. Geology of the massive sulphide deposits in the Spanish-Portuguese Pyrite Belt. *Geol. Rund.*, 63, 191-211.
- Usui, A., Someya, M., 1997. Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. En K. Nicholson, S.r. Kein, B. Bühn, S. Dasgupta (eds.). *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*, *Geol. Soc. Spec. Pub.* 119, 177-198.
- Valdés-Nodarse, E.L., Díaz-Carmona, A., Davies, J.F., Whitehead, R.E., Fonseca, L., 1993. Cogenetic sedex Zn-Pb and sockwork copper ores, Western Cuba. *Expl. Min. Geol.*, 2, 297-305.
- Woodring, W.P., Daviess, S.N., 1944. Geology and manganese deposits of Guisa-Los Negros area, Oriente Province, Cuba. *Geol. Surv. Bull.*, 935-G, 357-386.