

# ANALISIS DE LA GENESIS MINERAL EN COLOMBIA

por

Jaime Galvis Vergara

## Resumen

Galvis, J.: Análisis de la génesis mineral en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 17 (67): 753-777, 1990. ISSN 0370-3908.

Se hace un análisis de la génesis de minerales en relación con la evolución geológica del territorio colombiano siguiendo un orden cronológico. Más que una lista exhaustiva de ocurrencias minerales conocidas, busca las posibilidades de nuevos depósitos de acuerdo con los diferentes eventos geológicos y con prospectos conocidos.

## Abstract

The present paper tries to analyse the genesis of minerals in relation with the geological evolution of the colombian territory in a chronological order. More than an exhaustive list of known mineral occurrences, it looks for the possibilities of new deposits: according to the different geological events and to the known prospects.

### 1. El precámbrico

El conocimiento de las posibilidades metalogénicas de esta era es de primordial importancia, ya que más de la mitad de la producción mundial de minerales de origen no orgánico, proviene de mineralizaciones depositadas durante el Precámbrico. Esta era ha sido dividida cronológicamente en dos períodos: Arqueano y Proterozóico. En el primero, comprendido hasta hace 2500 millones de años, la tierra tuvo una superficie de composición petrográfica y química notablemente similar a la que presenta actualmente el fondo oceánico con gran abundancia de rocas volcánicas y ultrabásicas. La actividad volcánica de ese tipo produjo enormes depósitos de sulfuros de cobre, níquel y zinc, que constituyen algunos de los mayores yacimientos mundiales de esos metales. También son importantes durante ese período grandes mineralizaciones de oro.

El período Proterozóico comprendido entre 2500 y 520 millones de años, es especialmente importante porque durante él se formó la corteza sílica y ocurrieron las primeras sedimentaciones de margen oceánica. Al comienzo de este período la atmósfera fue químicamente reductora. Estos factores permitieron el depósito de grandes formaciones de hierro bandeado, cuyo origen lo explican algunos autores (Eugster & al.1973) como evaporitas costeras de cloruro ferroso, sal ésta, que predominaba en los mares antes de hacerse la atmósfera oxidante, y posteriormente transformadas en óxido férrico. Durante el Proterozóico, aparecieron las kimberlitas diamantíferas y a lo largo de éste período también se depositaron los conglomerados uranio-oro, restringidos también a la época en que la atmósfera fue reductora (Preterorius, 1976). Son importantes además en el Proterozóico los grandes complejos cónolíticos estratificados, productores de cromo, platino, hierro, titanio, etc., así como gran-

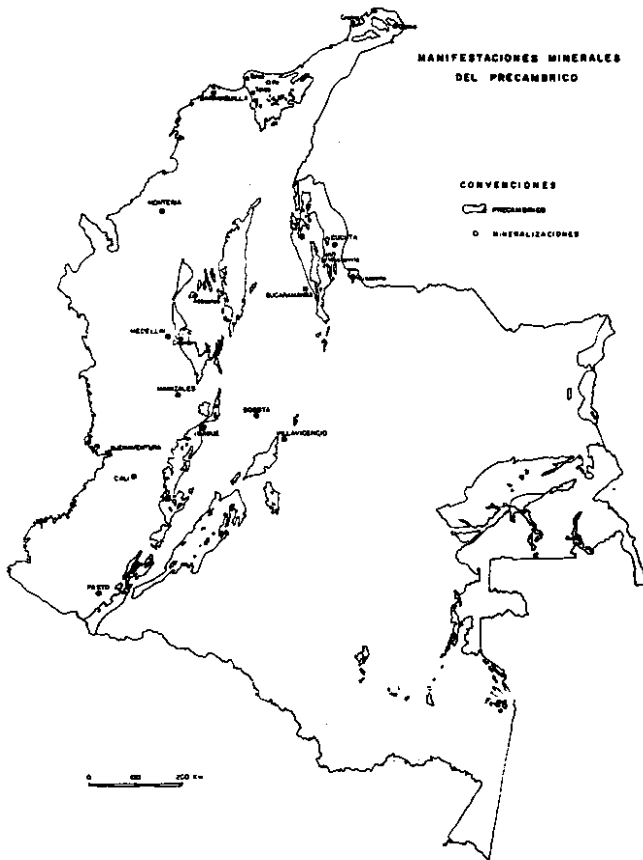


FIGURA 1

des depósitos estratiformes de plomo, zinc, que son prácticamente los primeros depósitos de tipo exhalativo que aparecen en la tierra.

Además de todo lo anterior hay algo muy importante para anotar con respecto al Proterozoico: Durante este período se formó la corteza siálica de la tierra, con lo cual llegaron a la superficie grandes cantidades de álcalis y sílice, durante varios episodios, no comparables al magmatismo de épocas posteriores. Se presentó entonces un fenómeno aparentemente metasomático de enormes dimensiones, en el cual también ingresaron a la corteza terrestre elementos tales como uranio, estaño, mercurio, wolfranio, plomo, molibdeno, zirconio, hafnio, torio y tierras raras. Algunos de ellos como el uranio parecen haber sido suministrados a la corteza terrestre exclusivamente durante el Proterozoico y por tanto, los eventos geológicos posteriores únicamente han reciclado este elemento, no encontrándose acumulaciones de dicho metal donde no existe corteza siálica.

### 1.1 El Precámbrico en Colombia

Presenta una amplia exposición tanto en la Orinoquia-Amazonia como en el área Andina. A pesar de ello sus posibilidades metalogénicas no han sido suficientemente estudiadas. Esto se debe

principalmente al desconocimiento cartográfico y petrológico de las rocas formadas en esta era.

El Precámbrico de la zona Amazónica escasamente se conoce en estudios regionales en gran parte fotogeológicos; el de la Orinoquia, menos conocida aún, sólo ha sido estudiado por algunas compañías prospectoras de uranio.

En la zona Andina, las unidades litológicas correspondientes a esta era geológica han recibido una gran cantidad de denominaciones, dando lugar a una enorme confusión en su identificación, ya que al no hacerse una correlación petrográfica, geoquímica y textural de carácter general en todo el país, se ha dado una serie de denominaciones locales, agravado el problema con numerosas dataciones radiométricas que al reflejar eventos térmicos de mayor o menor intensidad durante el Fanerozoico, han llevado a varios investigadores a considerar como plutonitas y metamorfitas de diversas edades rocas granitoides, neisoides, aploides, pegmatoides, etc. cuyas características mineralógicas, petrográficas, texturales y químicas indican que se trata de la corteza siálica emplazada muy probablemente durante uno o varios ciclos de migmatización en el Proterozoico.

Esta distinción es de primordial importancia en el enfoque exploratorio, ya que en los granitos

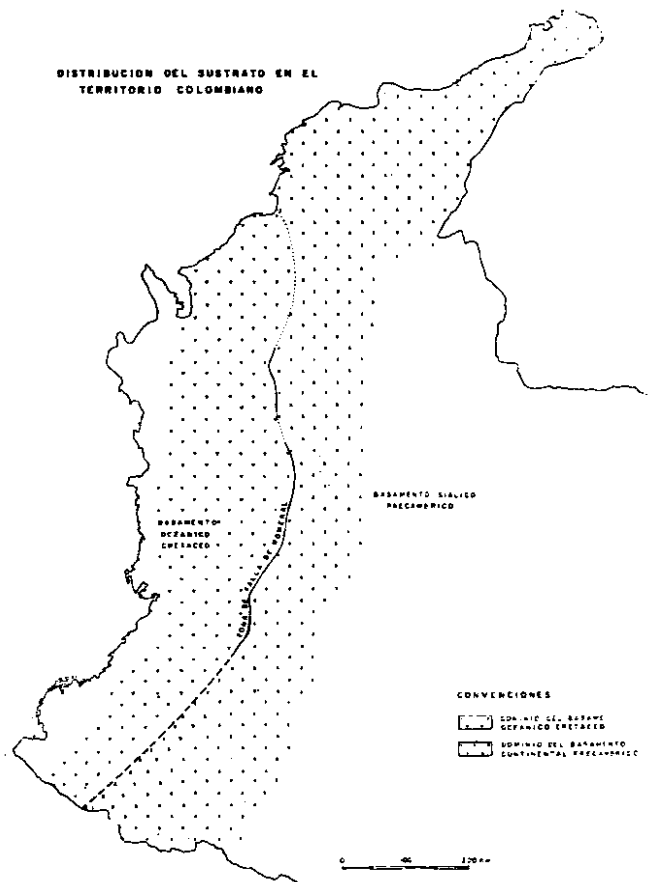


FIGURA 2

metasomáticos del Proterozóico no pueden encontrarse las mineralizaciones de contacto ni diseminadas típicas de intrusiones fanerozóicas. El tipo de depósitos que puede esperarse es completamente diferente; por tanto el enfoque exploratorio debe ser otro.

En la figura 1 pueden observarse las áreas en que están expuestas unidades litológicas cuyas características son típicas del Precámbrico. Es posible que la extensión de estas áreas sea aún mayor, ya que existen unidades litológicas, tales como las Formaciones Cajamarca y Valdivia cuya edad es incierta o áreas donde el conocimiento cartográfico es pobre o nulo. Además de las áreas indicadas, hay que tener en cuenta que prácticamente en casi todo el país, al oriente de la depresión Cauca-Patía, el basamento que infrayace las diversas unidades litológicas fanerozóicas es Precámbrico (véase figura 2); por tanto las áreas delimitadas en la figura 1 son simples ventanas geológicas de ese basamento.

Al examinar las realidades y posibilidades metalogénicas del Precámbrico en Colombia, hay que anotar en primer lugar como en el territorio colombiano no se ha comprobado hasta el presente la existencia de rocas de edad Arqueana. Es factible que algunas de las inclusiones o paleosomas de rocas básicas y ultrabásicas en los granitos precámbricos sean restos del Arqueano, pero no hay forma de comprobarlo concluyentemente. Sin embargo, los paleosomas de rocas básicas, son interesante tema de estudios dada la posibilidad de localizar restos de depósitos antiguos de sulfuros masivos.

Dentro de los tipos de depósitos típicos del Proterozóico, cabe hacer referencia en primer lugar al oro y uranio de conglomerados, al ser una realidad el hallazgo de un prospecto de este tipo en la Serranía de Naquén, en la Comisaría del Guainía. Existen depósitos de esta clase en varios lugares del mundo, tales como Blind River (Canadá) principalmente uraníferos con escaso oro; Witwatersrand (Sudáfrica) con oro y uranio; Jacobina (Brasil) solamente oro. El prospecto de Naquén, parece ser similar al de Jacobina, principalmente aurífero.

Las posibilidades exploratorias en el Guainía son muy interesantes, ya que el área en que se presentan rocas detríticas de la Formación Roraima, favorables para esta clase de mineralizaciones, es muy amplia y comprende extensas serranías tales como Raudal Alto, Chaquiro, etc., entre los ríos Guaviare e Isana.

Hay también evidencias de la presencia de metaconglomerados auríferos al Norte de Antioquia en Localidades tales como la Bramadora, La Trinidad, La Aurora (entre Segovia y Zaragoza), etc.

Otro tipo de depósito característico del Proterozóico es la formación de hierro bandeado, con ocurrencias conocidas en algunos afloramientos ais-

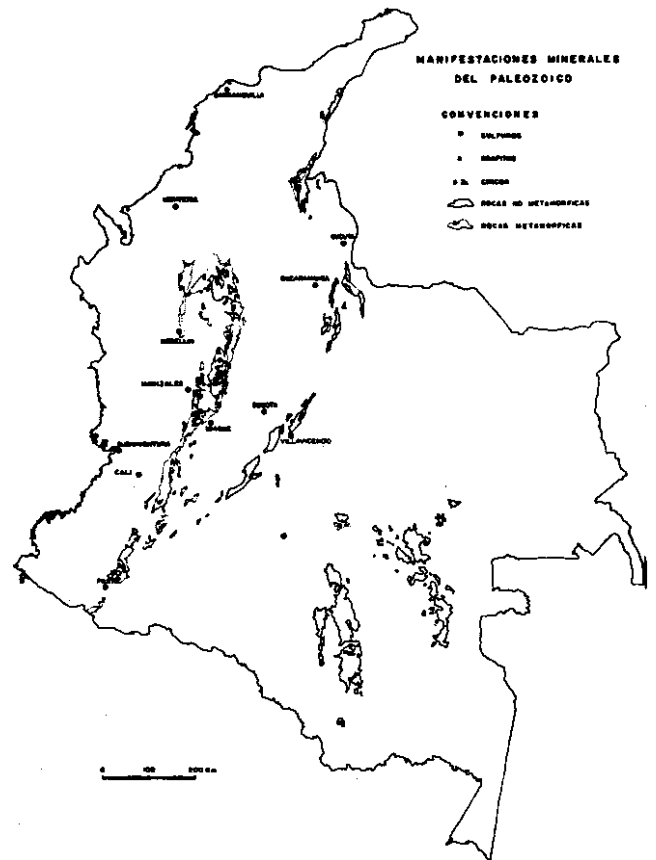


FIGURA 3

lados al norte de la Pedrera (Amazonas) aunque no se tiene una idea clara de las dimensiones. El área de posibilidades exploratorias de estos depósitos es relativamente reducida, ya que se limita a las serranías próximas a la confluencia de los ríos Caquetá y Apaporis.

Existe además el ambiente geológico adecuado para hallar depósitos de uranio del tipo discordancia en la base de la formación Roraima; sin embargo, hasta la fecha no se ha registrado hallazgo alguno de esta clase. Hay una interesante anomalía de uranio, al oriente de la población de San Alberto (Cesar) que presenta algunas características que permiten suponer un posible depósito de este tipo, tal vez parcialmente removilizado (véase figura 4).

En la Sierra Nevada de Santa Marta, existen manifestaciones de ilmenita asociadas a anortositas, en forma de bandas en que alternan el mineral ferrotitanífero y el apatito (véase figura 1). Este tipo de ocurrencias es común en el Proterozóico de varias partes del mundo, siendo especialmente conocidas las de Kiruna y Gallivare (Suecia). Las posibilidades en cuanto a este tipo de manifestaciones en la región de Santa Marta sólo fueron estudiadas muy preliminarmente durante el Inventario Minero Nacional en la década de los 60. Estas mineralizaciones pueden tener interés no solamente en lo que

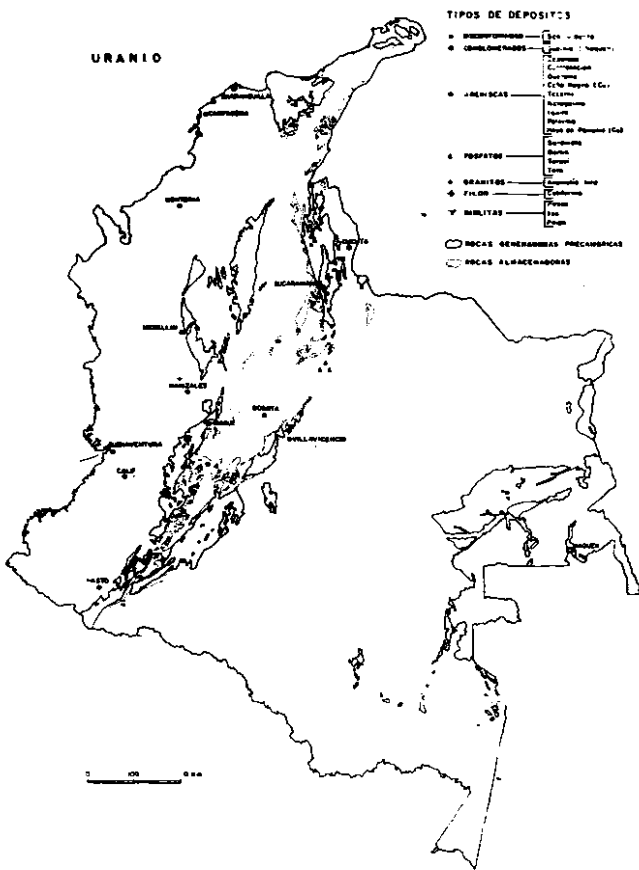


FIGURA 4

se refiere a la magnetita, la ilmenita y el hierro titanífero, también a la presencia de Vanadio que en magnetitas de este origen se presenta en más de 1%.

Al oriente del sistema de fallas de Romeral existen rocas ofiolíticas en varios lugares del país entre ellos: al oriente y norte de la Ciudad de Medellín, muy próximas al área urbana; al norte de Antioquia, áreas de Campamento, Anorí y Cedeño; al noroeste de la Sierra Nevada de Santa Marta, en el Cabo de la Vela y otros lugares de la Alta Guajira. La presencia de esta clase de rocas en esos lugares ha recibido numerosas explicaciones y se les han asignado diferentes edades, sin embargo, el ámbito geológico en que se presentan y sus características petrográficas y estructurales, permiten postular una edad precámbrica para ellas. Este tipo de ofiolitas son comunes en los escudos, constituyendo las mayores fuentes de cromo y asbestos en el mundo y como ventanas geológicas se conocen en zonas orogénicas en varias localidades de las cuales es interesante mencionar el Macizo del Tapo en los Andes del Perú (Megard, 1978), del cual se explota la cromita que produce dicho país. Algo que es importante anotar con respecto a estas rocas ultrabásicas, es la cubierta esteatítica que presentan en mayor o menor grado, a diferencias de la ofiolitas más recientes de la depresión Cauca-Patía y occidente de la misma, en las cuales no se presentan zonas talcosas. Las rocas ultrabásicas al oriente de

Romeral presentan un importante depósito de asbestos (Las Brisas), algunas manifestaciones de cromita próximas a Medellín y prácticamente todas las manifestaciones de talco que han sido objeto de explotación en Colombia.

Otros aspectos en los que se pueden mencionar posibilidades en el Precámbrico de Colombia, son los metales típicos de corteza sílica como estaño, niobio y Wolframio. En proximidades de la frontera colombiana en el territorio amazónico de Venezuela hay algunas ocurrencias filonianas de estaño, niobio y tántalo. Se presenta una perspectiva interesante en algunas fallas regionales en el Guainía y El Vichada, a lo largo de las cuales se han emplazado pequeñas intrusiones que producen alteración turmalínica típica de mineralizaciones estanníferas, con buenos ejemplos en la falla de Caño Nabuquén al Nordeste de la Comisaría de Guainía.

En el Precámbrico de la zona andina de Colombia hay algunos cinturones calcáreos característicamente dolomíticos (véase figura 16). Las rocas carbonatadas de edad Proterozóica, en algunos países son importantes fuentes de Wolframio; un ejemplo interesante se encuentra en la zona wolframífera de Río Grande de Norte de Brasil. Este tipo de perspectiva no se ha estudiado en Colombia.

En resumen, cabe afirmar que la importancia metalogénica del Precámbrico es innegable. En la

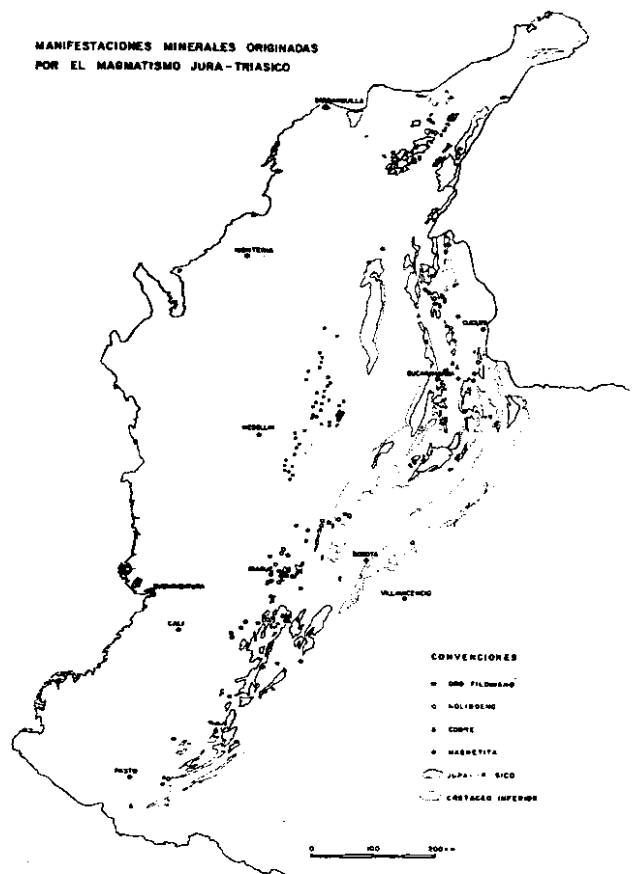


FIGURA 5

escala del tiempo geológico abarca un lapso varias veces mayor que todo el eón Fanerozóico, con una gran variedad de eventos geológicos, potencialmente mineralizantes. Es necesario identificar sus unidades litológicas y sus ambientes geológicos. Como ejemplo pueden citarse dos episodios de vulcanismo observables al oriente de la Orinoquia-Amazonia, formando fajas paralelas de dirección norte-sur, uno a lo largo del río Atabapo, que se prolonga hacia la región del Orinoco al norte y hasta el río Traira (afluente fronterizo del Apaporis) al sur y otro que dio lugar a la depositación de la formación Piraparaná al occidente de Mitú.

Los ambientes de sedimentación proterozóicos fueron muy variados y con posibilidades tan amplias como los del Fanerozóico. Además de las perspectivas que presentan las unidades litológicas precámbricas directamente, hay que tener en cuenta que las rocas de esta era son la fuente de gran parte de los metales que se acumularon por procesos minerogénéticos en áreas que sobreyacen corteziática o continental. La corteza siática en sí misma es pobre en elementos tales como oro, cobre, zinc, platino, cromo, níquel, etc. Los depósitos de estos metales en áreas continentales frecuentemente obedecen a removilizaciones por eventos magmáticos fanerozóicos de concentraciones precámbricas en forma de sulfuros masivos, conglomerados auríferos u otro tipo de yacimientos. En cuanto a los metales de afinidad siática como estaño, uranio, wolframio, niobio, etc., también su distribución parece haber tenido lugar durante el Proterozóico y los episodios magmáticos posteriores únicamente los remobilizan produciendo las mineralizaciones.

Con el uranio ocurre una circunstancia especial; a partir de rocas de edad proterozóica, los procesos sedimentarios fanerozóicos producen las acumulaciones que constituyen los depósitos económicos. Este elemento químico, altamente disperso en minerales accesorios de granitos proterozóicos, tales como el zircón y la allanita, fue transportado por aguas meteóricas y acumulado en ambientes químicamente reductores durante el Fanerozóico. Por lo tanto el Precámbrico debe explorarse no solamente desde el punto de vista de la mineralización primaria sino como generador indirecto de yacimientos. Este factor ha sido determinante en la definición de provincias metalogénicas en los continentes, de lo cual existen ejemplos interesantes, tal como los cinturones estanníferos circumatlánticos (Schuiling, 1967). Uno de estos cinturones, al menos teóricamente, cruza gran parte del territorio colombiano.

## 2. El Fanerozóico

Bajo esta denominación están comprendidos los últimos 520 millones de años en la historia de la tierra. Aunque es un lapso corto en comparación con el Precámbrico, los eventos geológicos ocurridos en él están más al alcance del observador para su conocimiento e interpretación.

Algunos fenómenos geológicos cesaron de ocurrir en el Fanerozóico, tales como los grandes procesos magmatizantes que formaron la corteza siática. En cambio otra clase de eventos se hizo común o por lo menos es identificable. Son notables las evidencias de la deriva continental y con esto los diversos procesos de comprensión, distensión y esfuerzo cizallante que definen la tectónica de placas. Estos fenómenos al producir magmatismo de diferentes características químicas y petrográficas abren variadas posibilidades metalogénicas e igualmente permiten la formación de diversos ambientes de sedimentación, con variadas posibilidades de depositación de minerales de utilidad económica.

Durante el Fanerozóico la vida pasó a ser un importantísimo factor en la acumulación de minerales siendo los materiales orgánicos los productos más importantes del subsuelo en las unidades litológicas de este eón.

Dentro de las mineralizaciones no sedimentarias, la metalogenia fanerozóica tiene dos importantes fuentes primarias: Por una parte las acumulaciones minerales existentes en la corteza siática o continental desde el Precámbrico, removilizadas por procesos magmáticos y por otra, la corteza oceánica, la cual permanece en constante renovación, a partir de las dorsales oceánicas, consumiéndose en los bordes continentales donde suministra metales. Los ambientes de sedimentación guardan también una relación con la evolución tectónica y con ello los depósitos minerales que puedan originar.

A continuación se hace un resumen de la evolución geológica del territorio colombiano durante el Fanerozóico y de las posibilidades mineralógicas a que dio lugar en cada una de sus eras y períodos.

### 2.1 El Paleozóico

El Paleozóico Inferior fue la época de los mares epicontinentales en el mundo, pues en ninguna otra etapa de la evolución geológica de la tierra tuvieron tanta extensión los mares de poca profundidad y en todo el orbe se conocen sedimentos característicos de ese ambiente en el Cambro-Ordovícico. En el territorio colombiano hay extensas áreas donde se presentaron esas condiciones especialmente durante el Ordovícico. Lo evidencian los sedimentos conocidos como Formación Araracuara, expuestos en una dilatada extensión de la Amazonia colombiana y parte de la Orinoquia. Esta formación predominantemente arenosa al sur, gradualmente cambia hacia el norte y en la Orinoquia es predominantemente pelítica.

En el Valle Medio del Magdalena se han datado sedimentos Cambro-Ordovícicos, denominados Formación La Cristalina, que representan un ambiente de sedimentación marina más profundo que el de la Formación Araracuara, con predominante sedimentación pelítica, potentes niveles calcáreos, algunas lilitas y en menor proporción, sedimentos

arenáceos. La Formación La Cristalina en su mayor parte presenta metamorfismo regional. Esta formación parece prolongarse al sur del Tolima, en el Huila y región oriental de Nariño, zonas donde se conocen exposiciones de rocas meta-sedimentarias muy similares lo cual permite suponer la existencia de una cuenca larga y estrecha en dirección nortesur, donde parece haber existido un ambiente de notable actividad biológica, ya que los sedimentos arenáceos y pelíticos presentan abundante grafito.

Al Occidente, hacia lo que constituye el eje de la cordillera Central, se encuentran rocas metasedimentarias y metavolcánicas, que han recibido los nombres de Formación Cajamarca (Nelson, 1954) y Formación Valdivia (Hall, & al. 1972). La edad de estas formaciones es incierta, aunque algunos autores coinciden en considerarlas del Paleozóico Inferior. No hay nada concluyente a pesar de las numerosas dataciones radiométricas, de las cuales han llegado algunas hasta Cretáceo Superior ( $79 \pm 10$  millones de años; Núñez, & al. 1979). Lo único claro con respecto a estas formaciones es el hecho de presentar rocas metavolcánicas que en caso de confirmarse una edad Paleozóica Inferior, constituirían el único evento volcánico reconocido en Colombia durante ese intervalo de tiempo.

Respecto al Paleozóico Inferior queda por referir la actividad magmática alcalina representada

por la sienita nefelinica de San José del Guaviare, expuesta en la confluencia de los ríos Guaviare y Ariari y en Cerro Cumare (aproximadamente equidistante entre los ríos Caguán y Yari), cuya datación (Pinzón, 1962) no ha sido objetada hasta el presente.

Al examinar la litología del Paleozóico Inferior prescindiendo de Formaciones como Silgará, de la cual no hay dato confiable que permita situarla en este lapso, las posibilidades metalogénicas no son especialmente favorables. Por una parte la ausencia de actividad volcánica en la extensión de las formaciones Araracuara y La Cristalina hace improbable la presencia de sulfuros masivos. La falta de intrusiones tampoco permite creer en posibles depósitos de contacto o filonianos. No hay evidencias de cuencas evaporíticas que permitieran la formación de depósitos del tipo Mississippi Valley (descrito más adelante). Tampoco se han identificado posibilidades en cuanto a fosforita ni a hierro sedimentario. Por otra parte no se conocen sedimentos continentales del Cámbrico u Ordovícico que sean potenciales acumuladores de uranio.

Las formaciones Valdivia y Cajamarca presentan la posibilidad de hallar sulfuros masivos, al tratarse de secuencias de metavulcanitas básicas alternando con metasedimentos de origen oceánico. Existen algunas manifestaciones de sulfuros en la Cordillera Central, que parecen tener este origen (véase figura 3). Como se anotó antes, las edades de estas formaciones es dudosa y es difícil explicar porqué las vulcanitas de las mismas no se encuentran en la Formación La Cristalina. Es muy factible que estas unidades sean anteriores, posiblemente Precámbricas o constituyan un aloctono acrecionado al continente después de la depositación de la Formación La Cristalina.

Otras posibilidades metalogénicas del Paleozóico Inferior debe buscarse en las intrusiones alcalinas de San José del Guaviare, donde existe la perspectiva de hallar acumulaciones de elementos de tierras raras y zirconio, así mismo, la posibilidad de hallar intrusiones carbonatíticas (fuente de tierras raras), con frecuencia asociadas del plutonismo alcalino.

Además es interesante anotar que los calcáreos de la Formación La Cristalina (véase figura 20) constituyen los yacimientos de mármol más grande de Colombia, con la presencia de algunas localidades de silicatos de calcio de uso industrial, tales como wollastonita, granate, etc. Las facies arenosas de la Formación La Cristalina presentan abundante grafito, mineral que también es frecuente en la Formación Cajamarca. En la Formación Araracuara no se conocen ocurrencias minerales dignas de mención.

El período Silúrico no ha sido registrado en Colombia; posiblemente fue una etapa orogénica que produjo el metamorfismo de las unidades ante-

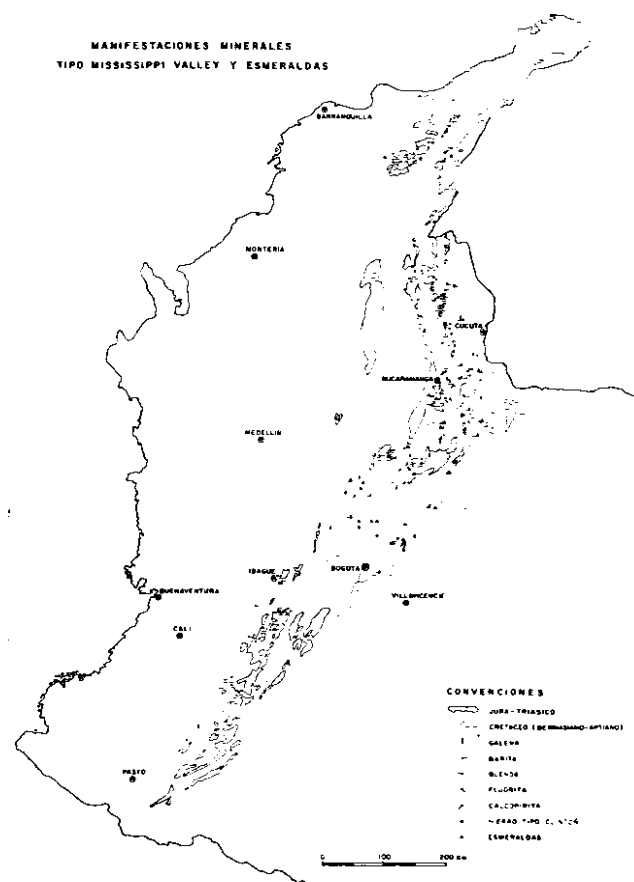


FIGURA 6

riores, en especial la Formación La Cristalina. No se ha identificado actividad ígnea de el Silúrico.

La historia geológica del Paleozóico Superior tiene un primer evento en la transgresión del Devónico. Durante este período se depositaron sedimentos marinos, que se encuentran expuestos en Ambica (Huila) La Jagua (Huila), cabeceras del río Ariari (Meta), oriente de Rovira (Tolima), en el Macizo de Quetame al oriente de Cundinamarca, Floresta (Boyacá), norte de Bucaramanga, Convención y Teorama (Norte de Santander), región Nevado en los límites de Boyacá y Santander, Mogotes (Santander), al oriente de Curumaní (Cesar) y en aproximidades de Manuare (Cesar).

En general el Devónico está representado por sedimentos marinos de poca profundidad, conglomeráticos hacia la base, arenosos en su parte intermedia y hacia el tope calcáreos (Forero, 1969). Algunos autores (Champetier de Rives, & al. 1963) conceptúan que la base del Devónico en Perijá presenta carácter tobáceo, sin embargo, no hay total certeza al respecto. Durante el Carbonífero tuvo lugar una sedimentación epicontinental, depositándose una secuencia que en parte basal es calcáreo detrítica y hacia la parte media y superior presenta sedimentos rojos de posible origen continental.

Por lo común en la mayor parte de las localidades donde se ha encontrado el Devónico se halla

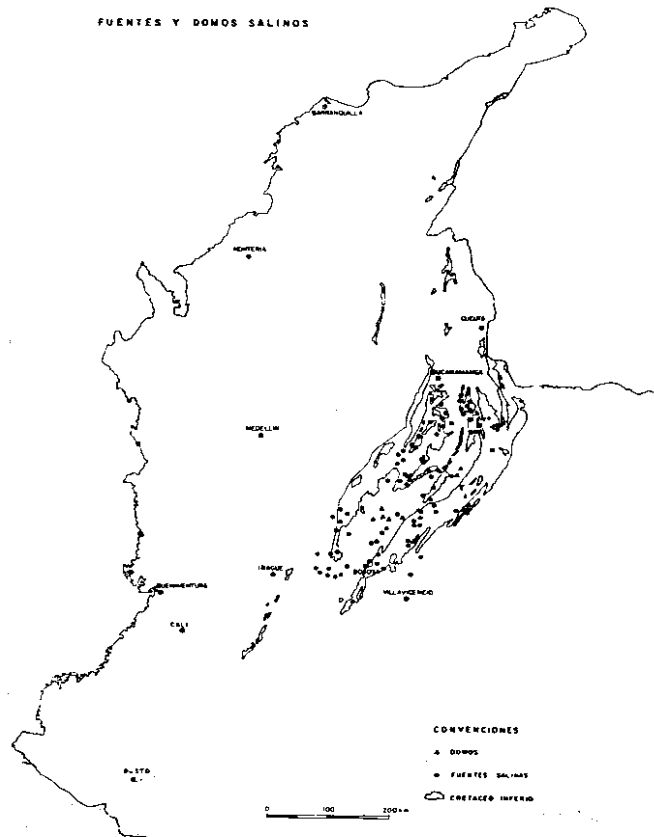


FIGURA 7

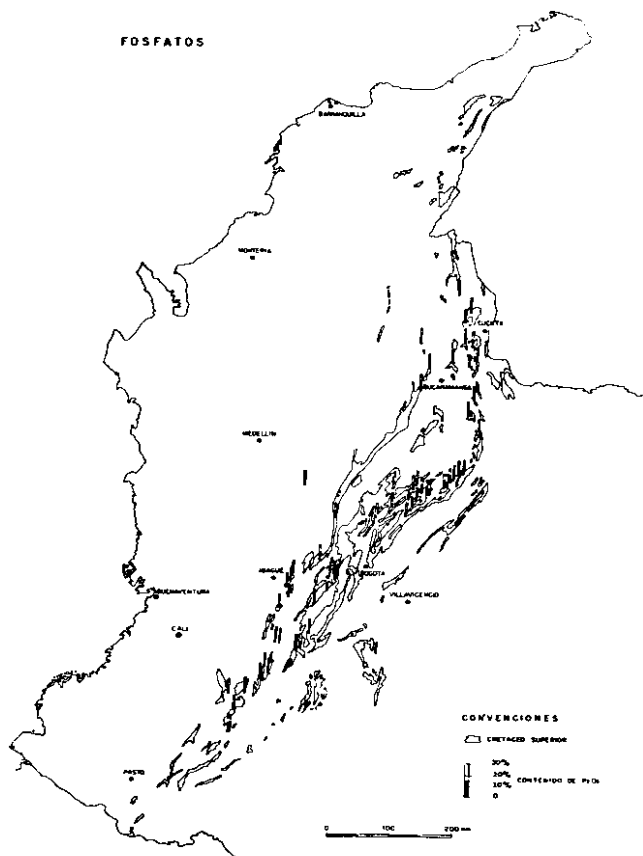


FIGURA 8

también el Carbonífero, aunque generalmente no se registra su parte inferior. Esta sólo se ha localizado en la región del río Batá 9 (Burgl, 1958).

La sedimentación del Devónico y Carbonífero presenta dos grandes ciclos con un hiato en el Carbonífero Inferior. La sedimentación calcárea del Devónico Superior parece no ser continua; en cambio la del Carbonífero se ha registrado en todas las localidades. El área de aporte de sedimentos durante los dos períodos parece haber estado al oriente, en este sentido es interesante el trabajo realizado por la Compañía Minatome (Faure, 1977), en el cual fue determinada durante el Carbonífero una zona de sedimentación deltáico-lagunar al oriente de los Farallones de Medina. Al final de este período se presentan sedimentos rojos evidenciando una posible emersión y el comienzo de una orogenia pérmica. El registro sedimentológico del Pérmico es exiguo, existen dos exposiciones de sedimentos datados correspondientes a ese período; localizados uno al oriente de la población de Manuare (Trumpy D., 1943) y en la otra en inmediaciones de la Ciudad de Bucaramanga (Ward D. & al. 1969). En ambas localidades se trata de sedimentos calcáreos expuestos en una área restringida.

Hay además algo muy importante para tomar en cuenta en lo referente al período Pérmico, es el Batolito Antioqueño. La edad de esta intrusión ha sido bastante controvertida; dataciones potasio-

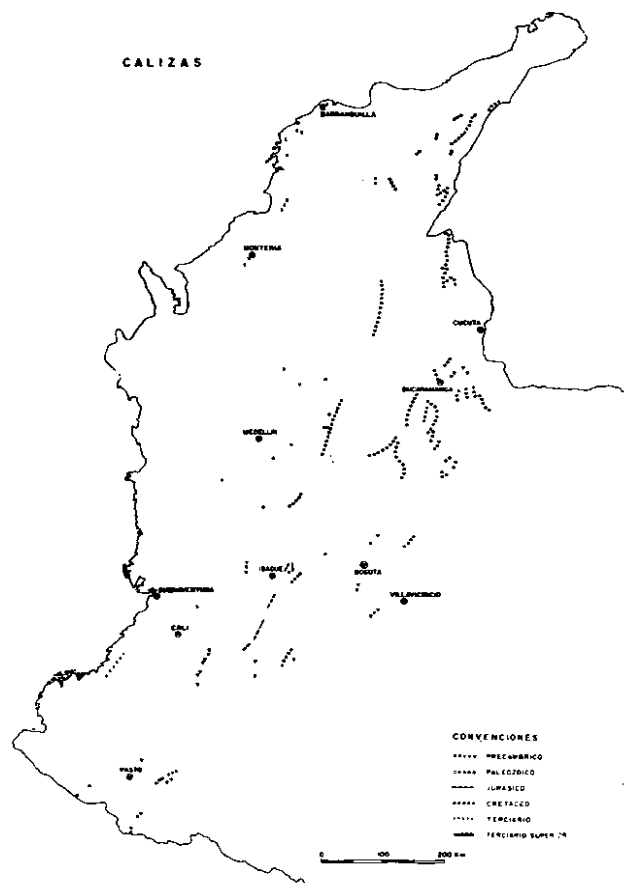


FIGURA 9

argón (Botero, 1963) dieron una edad de  $79.3 \pm 3$  millones de años. Posteriormente el Batolito Antioqueño fue datado por medio de isocromas de rubidio-estroncio por la Compañía Prospectora de Uranio Minatome (Faure, 1977) con un resultado que sitúa esa intrusión entre 258 millones y 268 millones de años. Es claro, dado el alcance de los métodos de datación, que el Rb/Sr por isocronas tiene más confiabilidad, por tanto el Batolito Antioqueño puede considerarse como una intrusión paleozóica concretamente pérmica.

Al examinar la historia del Paleozóico en Colombia pueden hacerse las siguientes reflexiones con respecto a su potencial metalogénico: en primer lugar hay que hacer referencia a las formaciones Cajamarca y Valdivia, las cuales constituyen lo más interesante entre lo que se atribuye generalmente al Paleozóico. Hay en ellas depósitos cuyas características los asimilan con yacimientos del tipo sulfuros masivos, tales como La Marina (Quindío) y Berlín (norte de Antioquia). Sin embargo, la asignación de edad Paleozóica a estas Formaciones es en extremo dudosa, ya que las relaciones del Valdivia con las metatonalitas de Puquí (Precámbrico) parecen indicar una edad anterior a éstas. Realmente no se conoce una razón totalmente valedera para considerar fanerozóicas estas formaciones. En una extensa área del norte de Antioquia y sur de Bolívar hay metamorfitas consideradas del Paleozóico

Inferior, sin embargo se tienen numerosos indicios que permiten creer en una amplia exposición de rocas precámbricas. Las características petrográficas de unidades tales como los mármoles dolomíticos de Amalfi, las migmatitas (denominadas neises intrusivos) y los metaconglomerados de cuarzo totalmente homogenizados hasta constituir una cuarcita de tono lechoso, en la cual escasamente se intuye el origen detrítico, son rasgos muy característicos del Precámbrico en varias zonas de Colombia y Venezuela. Esto tiene gran importancia en la interpretación de las posibilidades metalogénicas.

Hasta ahora no se ha dilucidado el origen de los grandes aluviones auríferos del río Nechí. No parece posible que se hubieran originado únicamente en los filones del área de Segovia, cuyo volumen no se considera suficiente para generar el gran tamaño de los placeres. Es interesante anotar la abundancia de guijarros de metaarenisca y metaconglomerado en algunos aluviones auríferos, tales como La Viborita (Hall, & al. 1970), lo cual abre un amplio campo de investigación acerca de la posibilidad de que dichos aluviones tengan como fuente primaria conglomerados auríferos precámbricos.

Las unidades litológicas del Paleozóico de las cuales existen dataciones paleontológicas indudables, evidencian una notable pobreza evolutiva. No hay eventos volcánicos claramente identificados, la actividad magmática fue escasa o nula en varios períodos del Paleozóico y no se conoce sedimentación que permita considerar mineralizaciones importantes.

La metalogena de la Era Primaria en Colombia, es pobre, existen algunas ocurrencias de uranio y cobre en sedimentos del Carbonífero en la Cordillera Oriental (véase figura 4) pero ninguna tiene potencial económico.

La intrusión del Batolito Antioqueño no parece haber generado mineralizaciones, su posible emplazamiento profundo sin acceso a superficie y por tanto sin actividad volcánica, constituye un factor negativo en sus posibilidades metalogénicas.

## 2.2 El Mesozóico

Esta era es especialmente interesante en cuanto a realidades y posibilidades metalogénicas. La evolución geológica del Mesozóico en Colombia está caracterizada por un gran evento tafrogénico que se inició en el Triásico y culminó en el Cretácico (Estrada, 1972).

Durante el Triásico y el Jurásico predominó la sedimentación continental, caracterizada por espesos prismas de sedimentos detríticos con una extensión longitudinal muy grande, pero lateralmente limitados, los cuales corresponden a antiguos abanicos formados en los flancos de un "rift". Estos sedimentos se presentan intensamente oxidados, con características de haberse depositado en un ambien-

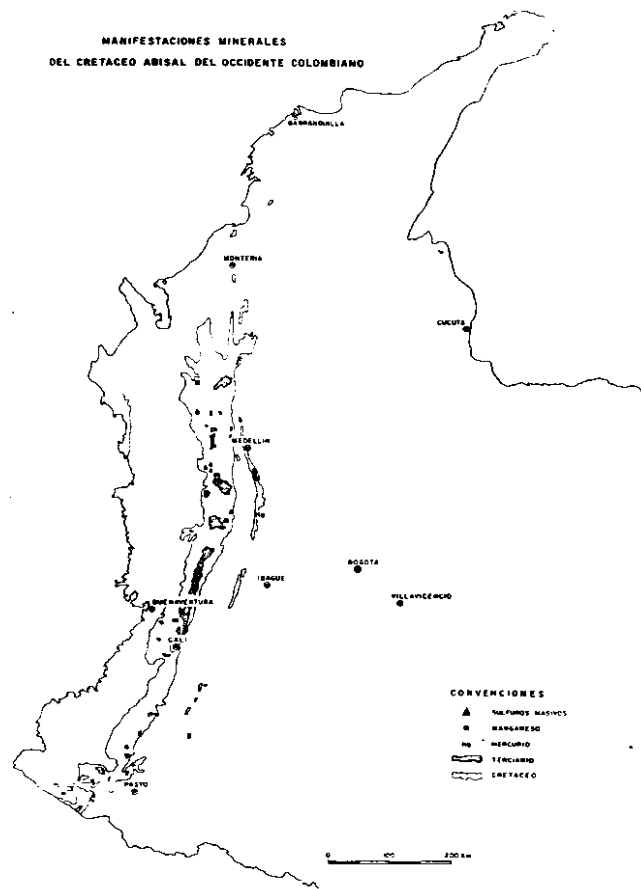


FIGURA 10

te climático de extrema aridez. La nomenclatura estratigráfica del Juratriásico ha sido notablemente confusa existiendo más de quince denominaciones, tales como: Formación Girón (Hettner, 1982). Formación La Quinta (Kunding, 1938), Formación Pre-Payandé (Rez, en Trumpy, 1943). Formación Luisa (Geyer, 1973), Formación Jordán (Cediél, 1968), Formación Gualanday (Sheibe, 1934), Formación Chicoral (Chenevart, 1963), Formación Guatapuri (Tschanz, 1969) Formación Uipana (Renz, 1960), Formación Guasasapa (Renz, 1969), Formación Batá (Burgl, 1958), Formación o Grupo La Ardita (Segovia, según Segovia y Renzoni, 1965), Formación Saldaña (Cediél, & al. 1980), Formación Motema (informes de compañías petroleras), Formación Seca (De Porta, 1966), Formación Hoyón (De Porta, 1966), Formación Pepino (Olsson, in Jenks, 1965).

Al observar la distribución de los sedimentos juratriásicos (véase figura 5) se nota que forman fajas angostas: una al pie de la Cordillera Central en el Putumayo la cual continúa en el Huila en la región de Tesalia, occidente de Turuel, Palermo, Aipe y más al norte en el Tolima en la región de Ataco, Ortega, San Luis, Gualanday Piedras y cruzando el Magdalena, en la zona de Cambao. Esta faja tiene continuidad en Santander, al sur de Landázuri y al norte en la Serranía de los Cobardes y en la región de Lebrija y Girón. Más al norte se presenta en la

Serranía de Perijá. Otra faja de sedimentos detríticos rojos del Jura-Triásico se encuentra en el Huila, al pie de la Cordillera Oriental en la región de Acevedo, continúa al oriente de Campoalegre, San Antonio y Colombia y más al norte está expuesta en la región de Batá (Boyacá), al occidente de Duitama, al Oriente de Guaca (Santander), al Oriente de Pamplona y en la región de Ocaña observable en la toma del Tarra y la zona de Convención-Teorama.

Hay otra faja discontinua de sedimentos detríticos del tipo antes mencionado en el flanco oriental de la Sierra de San Lucas, que se prolonga en el Piedemonte suroriental de la Sierra Nevada de Santa Marta. También se conoce este tipo de depósito sedimentario en la Alta Guajira. El evento tafrogénico del Juratriásico, originó además una intensa actividad magmática de tipo alcalino que produjo espesos depósitos volcánicos y pequeñas intrusiones. Hay exposiciones de vulcanitas juratriásicas, al extremo occidental del Putumayo, en el Huila, Tolima, Santander, Norte de Santander, Boyacá, Cesar, La Guajira, Antioquia, y Sur de Bolívar. (En la figura 5 pueden observarse las áreas que cubren la sedimentación y el vulcanismo juratriásico). En gran parte los canales de "rifting" en el Juratriásico no tuvieron ingreso marino y solamente se conocen sedimentos calcáreos (Formación Payandé) en el Alto Magdalena, los cuales representan una entrada marina o posiblemente un lago salado aislado. En la

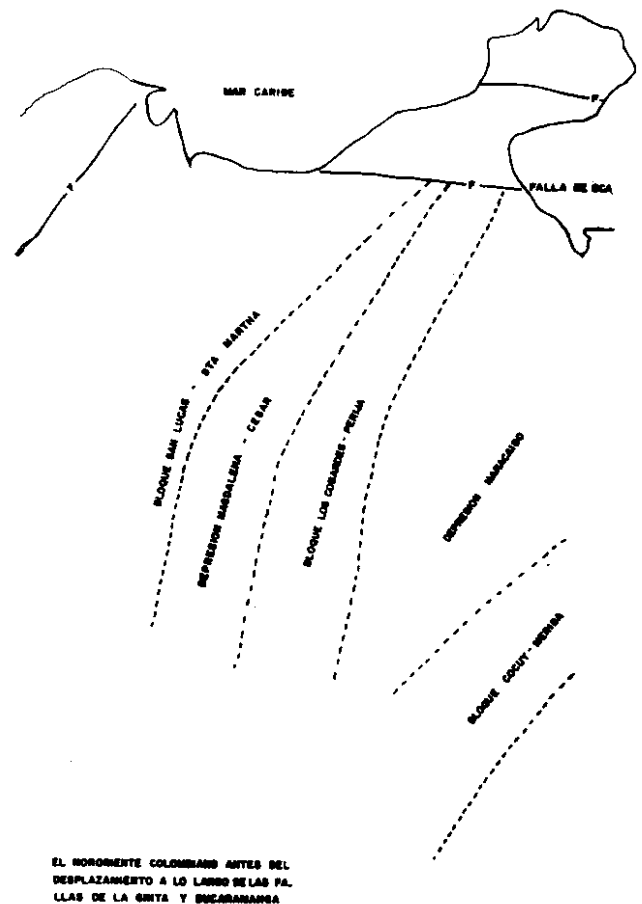


FIGURA 11



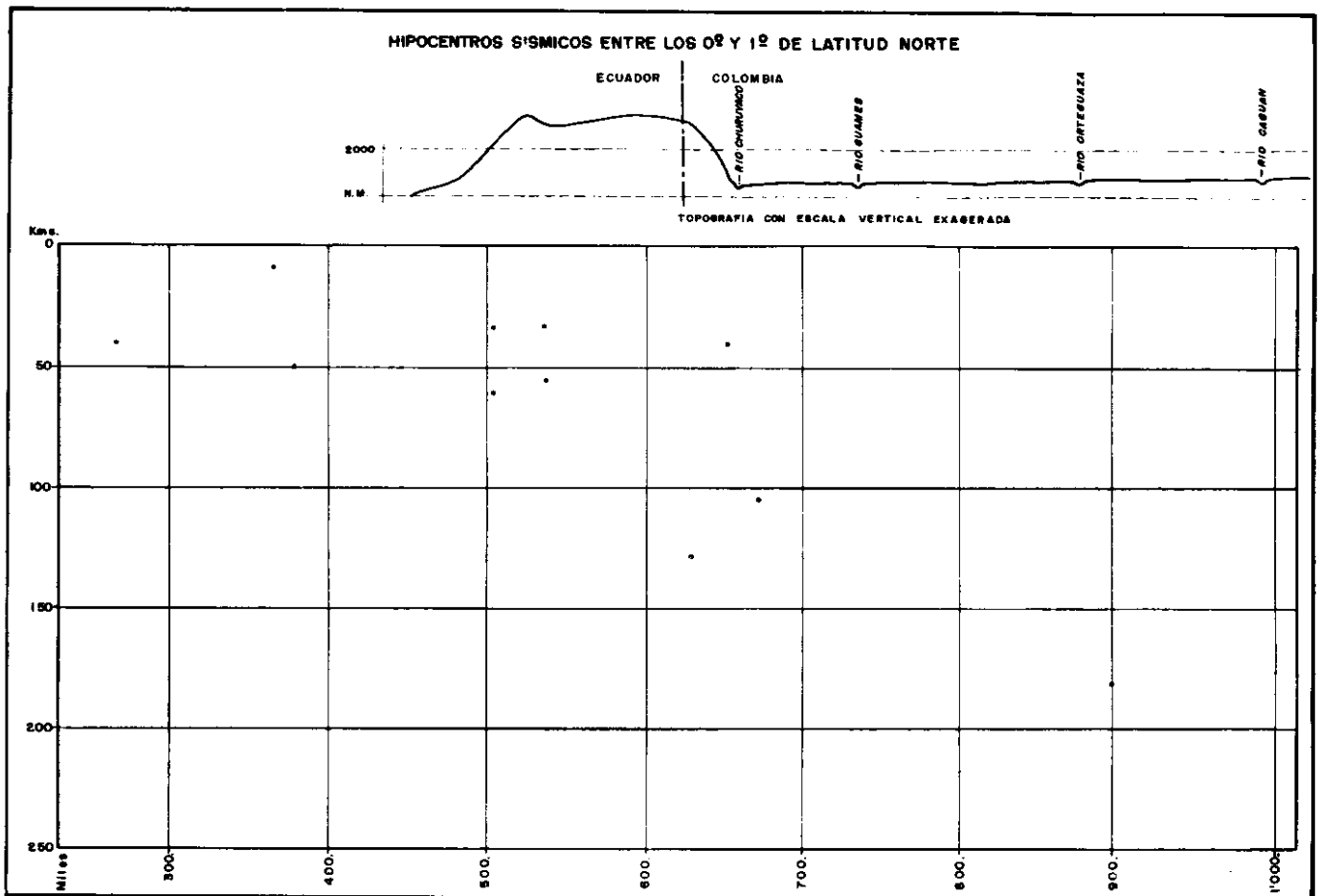


FIGURA 13

**“Método Espacial B”**

- Sedimentación Continental
- Movimiento este-oeste de placas litosféricas produciendo un rift norte-sur en un amplio intervalo de latitudes, vulcanismo asociado.
- Desarrollo de evaporitas, en gran escala durante el estado de separación incompleta de placas, particularmente en las áreas de baja latitud.
- Separación completa de las placas y la iniciación de una vía marina norte-sur sin un patrón de corrientes dominantes. Las aguas oceánicas pueden estar casi estancadas y pobremente oxigenadas. Durante este período, se pueden depositar en este tiempo, sedimentos ricos en materia orgánica.
- Al continuar la expansión del fondo marino, la vía marina puede eventualmente volverse lo suficientemente oceánica. Esto da lugar a la ascensión en el lado oeste del océano y a la formación de fosforitas en localizaciones de baja latitud. El tiempo entre el desarrollo de evaporitas y fosforitas es enteramente dependiente de la rata de expansión del fondo oceánico y probablemente varía de 15 millones de

años a más de 100 millones de años. Las aguas del fondo también llegan a ser más oxigenadas.

- Eventualmente este estado es alcanzado cuando hay un mar amplio con corrientes giratorias oceánicas estabilizadas.

Los modelos espaciales citados, particularmente el primero, parece que estuvieron describiendo la evolución geológica de la parte central de Colombia durante el Mesozóico. Por tanto puede considerarse que las posibilidades metalogénicas están estrechamente relacionadas con un episodio de rifting.

En primer lugar cabe hacer referencia a los aspectos mineralogénicos del Juratriásico: La actividad magmática de este período fue intensa, evidenciada por los extensos depósitos lávicos y piroclásticos relacionados con ésto. Las ocurrencias minerales (véase figura 5) pueden agruparse así: Mineralizaciones diseminadas o cobre porfídicos de los cuales se conocen algunos en las Cordilleras Central y Oriental, tales como Mocoa, Los Andes, El Infierno, Dolores y California. Los tres primeros localizados en la Cordillera Central se caracterizan por una relativa abundancia de molibdeno. Es típica la frecuencia de este elemento en ocurrencias minerales en el flanco oriental de la Cordillera Central, posiblemente reflejando una relativa abundancia de dicho metal en la corteza sílica de esa re-

gión. El tenor de cobre no es alto en esas manifestaciones, lo cual es explicable ya que por originarse esas mineralizaciones en un magmatismo causado por rifting no hay aporte de la corteza oceánica, a la cual es afín este metal. De la manifestación diseminada de Dolores cabe anotar lo mismo acerca del cobre; además de su pobreza en molibdeno.

California constituye un caso especial y es la más importante de las ocurrencias diseminadas del Mesozóico; en primer lugar se debe destacar la presencia de oro en concentraciones explotables, lo que ha hecho de California y Vetas el principal distrito aurífero del oriente de Colombia. Este prospecto puede clasificarse como un cobre porfídico tipo cobre-oro.

Estando California situada íntegramente en un área de corteza siálica, es interesante la relativa abundancia de oro, elemento afín a la corteza oceánica y frecuente en mineralizaciones relacionadas con arcos de islas.

Otro aspecto interesante de California es la presencia de filones uraníferos, aparentemente posteriores a la mineralización diseminada.

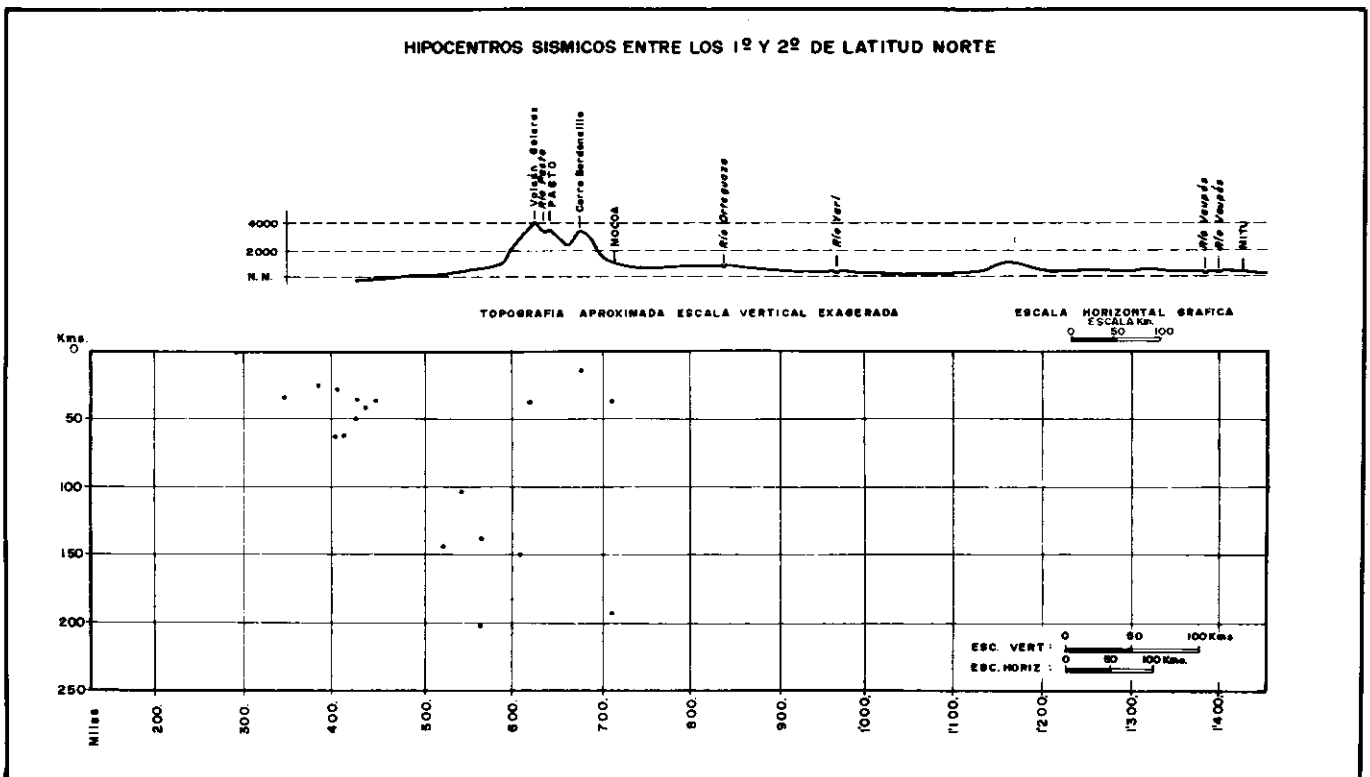
Existen numerosas manifestaciones filonianas relacionadas con el magmatismo mesozóico. No son importantes en toda el área donde se evidencia actividad ígnea, pero revisten especial interés en zonas como el nordeste de Antioquia (véase figura 5) donde hay importantes filones auríferos de los cuales se destaca el Silencio que ha dado lugar a la exploración aurífera subterránea más grande de Colombia. En el oriente de Antioquia existen numero-

sos filones auríferos, algunos dentro del Batolito Antioqueño, otros encajados en rocas metamórficas. Esta es la principal provincia aurífera relacionada con el magmatismo juratriásico. Las ocurrencias en otras zonas del país son de importancia menor, siendo mencionables algunas; tales como: Pavo Real en la región de Rovira (Tolima).

Es importante hacer énfasis en que el magmatismo juratriásico no ha sido un agente metalogénico de oro en Colombia, dado que es intracontinental, los filones del oriente de Antioquia, parecen haberse originado en la removilización parcial de acumulaciones precámbricas.

Existen algunas manifestaciones de tipo filoniano, relacionadas con el proceso ígneo mesozóico, de minerales tales como molibdeno de los cuales hay una notable abundancia en la vertiente oriental de la Cordillera Central. También existen algunas ocurrencias de cobre de este tipo de las cuales debe destacar la de Alisales al oriente de Nariño.

La actividad ígnea juratriásica dio lugar a numerosas manifestaciones minerales de contacto, algunas de ellas típicas "skarns". Es característica en estas ocurrencias la omnipresencia de óxidos de hierro especialmente magnetita (véase figura 5). Pueden mencionarse localidades, tales como la de Caño Castillo en el Bajo Catatumbo, donde el contacto entre un pequeño plutón granítico y esquistos grafitosos está ampliamente mineralizado con magnetita y sulfuros; la de Cerro El Imán próxima a Ocaña; la de Cerro El Imán de Rovira (Tolima), Pompeya en el Putumayo y otras en el Huila, Tolima, Santanderes y Sur de Bolívar. También se conocen



numerosas manifestaciones filonianas con magnetita.

En los skarns formados por cuerpos intrusivos del Mesozóico se presenta magnetita asociada con sulfuros de cobre, en localidades tales como Los Granates, El Sapo, Los Guayabos, Las Palmitas y Payandé. En esta última localidad se conoce además la presencia de minerales de wolframio.

Por último cabe mencionar algunas manifestaciones de cobre nativo, relacionadas con flujos volcánicos subaéreos, en general sin interés económico, observables al Norte de Santander, Cesar y Sur del Tolima.

La metalogenia del Mesozóico, relacionada con procesos sedimentarios tiene un amplio campo de posibilidades mineras. La evolución geológica durante esta era permitió la existencia de una amplia variedad de ambientes de sedimentación. En un orden cronológico, la génesis mineral sedimentaria del mesozóico es la siguiente: En primer lugar cabe mencionar la sedimentación continental del Juratriásico. En los sedimentos detríticos de este período se encuentran manifestaciones de uranio en paleocanales (véase figura 4) en localidades tales como Contratación y Zapatoca (Santander), Pacarín y Palermo (Huila). También se conocen algunas ocurrencias de sulfuros en los sedimentos rojos en la localidad de Peñón (Santander).

Durante el Juratriásico se presentan las primeras manifestaciones evaporíticas de la era Secundaria, a saber, los yesos de la Formación Payandé. Estas evaporitas son el prelude de las cuencas salinas del Cretáceo Inferior con sus amplias posibilidades metalogénicas. El depósito evaporítico fue especialmente importante en la Cordillera Oriental (véase figura 7), en Cundinamarca, Nemocón, Sesquilé y Tausa y numerosas ocurrencias menores. En Santander y Boyacá con depósitos de rocas yesíferas y numerosas fuentes salinas.

Las salmueras altamente concentradas son el medio para el transporte y depositación de mineralizaciones de tipo Mississippi Valley (Cathles, & al. 1983), tipo de ocurrencia muy frecuente en la cordillera Oriental y Valle del Alto Magdalena.

Se conocen más de cincuenta ocurrencias de este tipo, en asociaciones de galena-blanda, galena-barita, galena-barita-fluorita, galena-blanda-calcopirita (véase figura 6), con determinadas características comunes, tales como el encontrarse emplazadas en rocas precretáceas inmediatas a la superficie de discordancia, o dentro de los sedimentos cretáceos principalmente en sus facies calcáreas. Generalmente las galenas son pobres en plata y las blendas ricas en cadmio. Las mineralizaciones encajadas en rocas pre cretáceas parecen truncarse en la superficie de discordancia y son las que generalmente presentan fluorita. Las ocurrencias en las cuales se

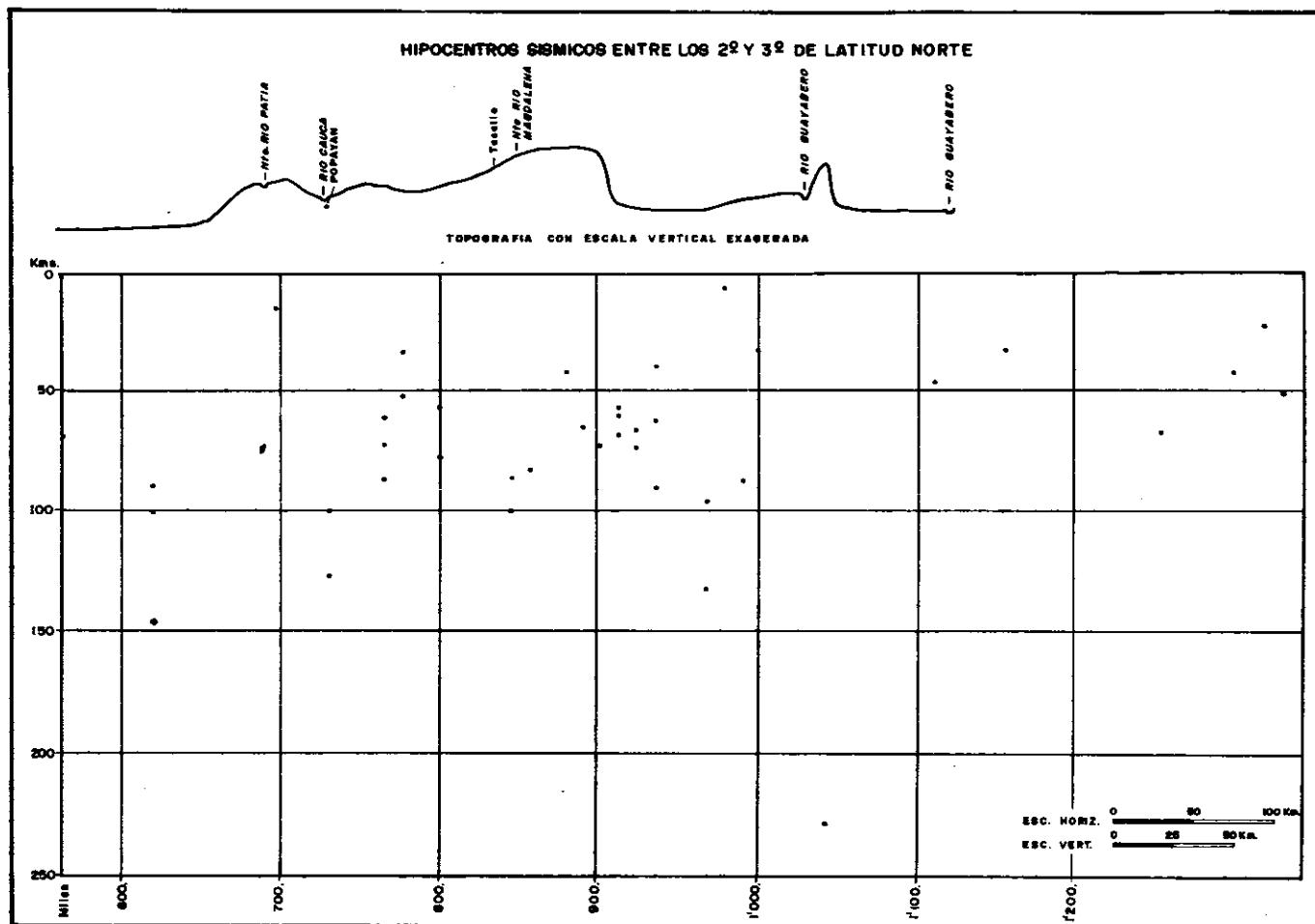


FIGURA 15

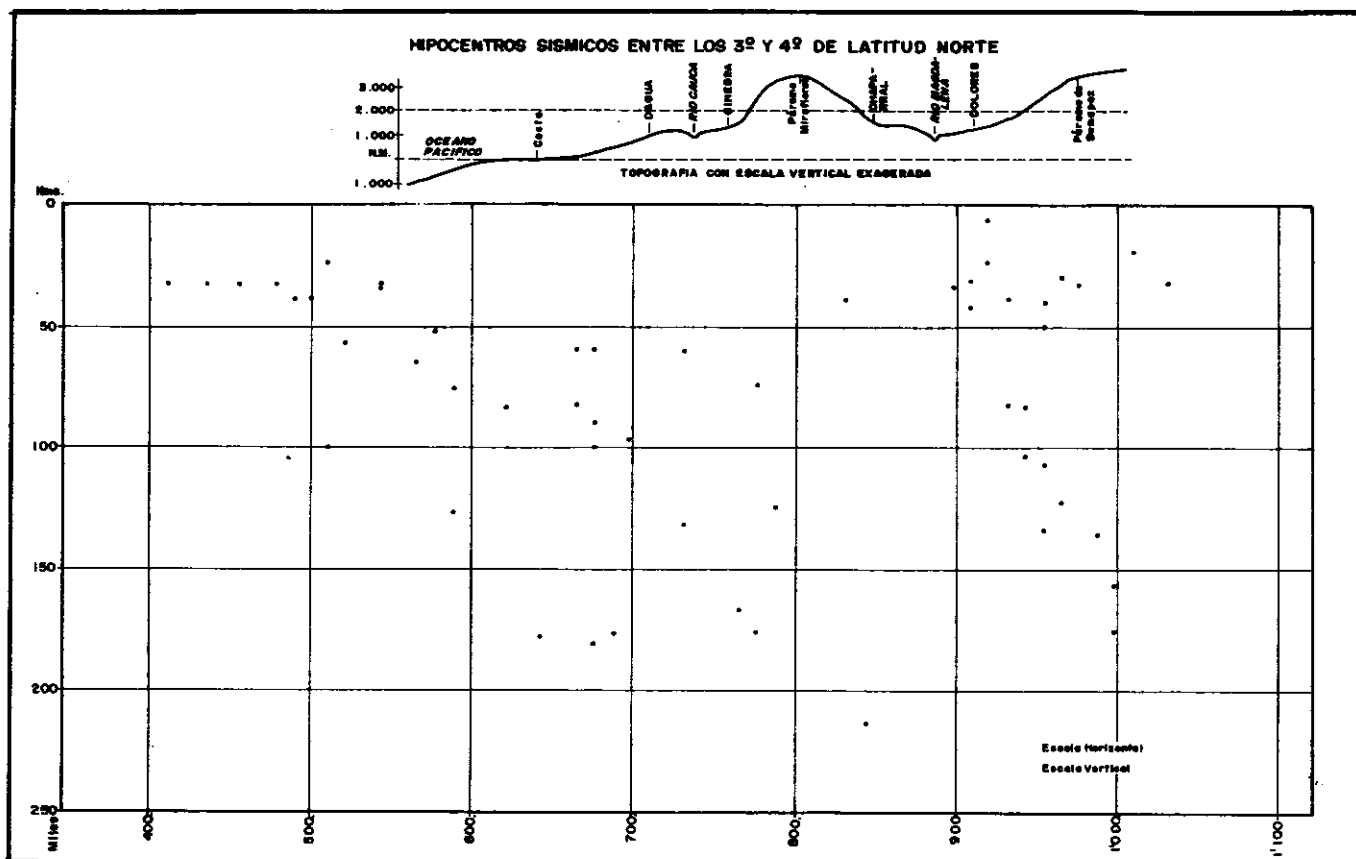


FIGURA 16

presenta blenda generalmente se encuentran dentro de los sedimentos cretáceos.

Se conoce una interesante localidad para observar el posible mecanismo de precipitación en los minerales en esta clase de ocurrencias. En el río Murca, afluente del río Guavio al oriente de Cundinamarca, se presenta yeso, azufre nativo y sulfuros de zinc y plomo, dentro de un mismo afloramiento; el yeso presenta manchas de azufre indicio claro de reemplazo por reducción; al progresar este proceso, el azufre debió ser reducido a ácido sulfhídrico, el cual reaccionó con los metales disueltos en forma de cloruros complejos precipitándose los sulfuros metálicos. El agente reductor es bacteriano, posiblemente del tipo de sulfobidrio. La asociación yeso azufre sulfuros también ha sido descrita en las minas de Zipaquirá (Mc. Laughlin & al. 1971). Cabe agregar que la roca encajada en el río Murca presenta un aspecto similar al "rute" de las salinas. Los sulfuros pueden ser disueltos y redepositados por lo cual a menudo se presentan rellenando cavidades karsticas en rocas calcáreas.

Otro aspecto importante en la génesis mineral de la sedimentación del Mesozóico, lo constituyen las esmeraldas. Se encuentran estas gemas en el flanco occidental de la cordillera Oriental, región de Muzo, Peñas Blancas y Coscuéz y en la vertiente oriental de la misma cordillera en la región de Ubalá, Chivor y Somondoco (véase figura 6). Estratigráficamente se hallan en el Cretáceo Inferior.

Algunos autores (Hall, 1976) atribuyen un origen magmático a las esmeraldas. Sin embargo hay una serie de razones para considerar que tienen origen sedimentario y que las evaporitas son un factor clave en la mineralización, junto con un evento metamórfico de bajo grado que afectó la región puesto en evidencia por la frecuente presencia de plagioclasa sódica y de otros silicatos en las lutitas. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en su estudio de las esmeraldas hizo un interesante análisis de este posible mecanismo de mineralización, según el cual salmueras altamente concentradas actuaron como medio de movilización de berilio el cual fue precipitado como berilo debido a cambios en el pH del medio. La mineralización presenta un claro control tectónico, ya que las zonas de fallas son los lugares principales de depósito. En el oriente de Cundinamarca esto no es tan evidente; sin embargo, es muy clara la relación espacial de las evaporitas y las mineralizaciones esmeraldíferas en lugares tales como la cuenca inferior del río Murca.

En los sedimentos del Cretáceo Inferior existen algunas manifestaciones de hierro en localidades de Cundinamarca, tales como Manta, Tibirita, Ubalá y la Pradera. El mineral primario es siderita incluida en forma lenticular en lutitas, la cual por oxidación superficial produce hematita y goethita. En general, los cuerpos mineralizados alcanzan algunas decenas de metros de longitud pero su espesor es reducido y parecen estar confinados a un determinado nivel estratigráfico. Las características ano-

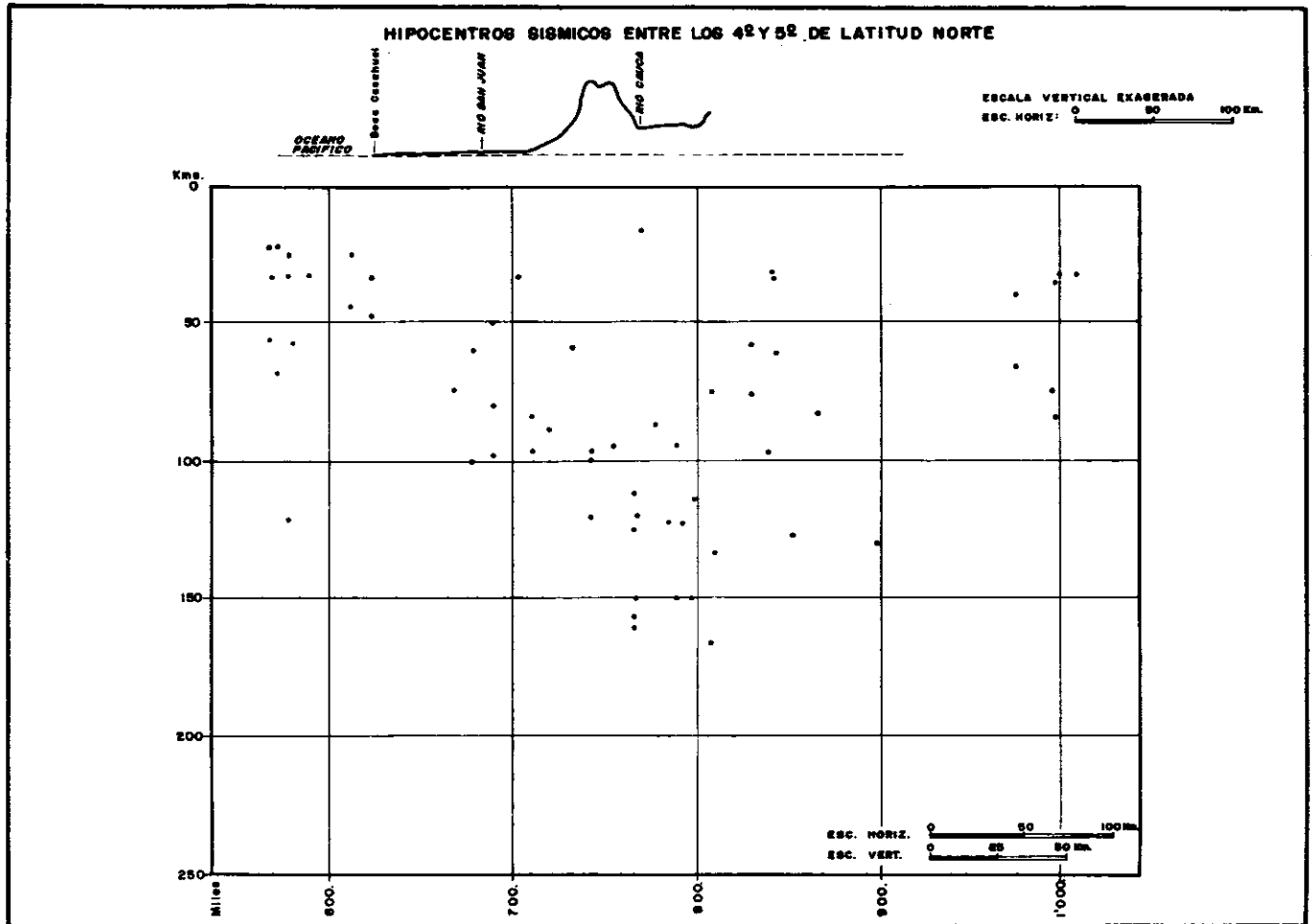


FIGURA 17

tadas son muy semejantes a las de los depósitos tipo Clinton de los Apalaches, aunque de dimensiones más pequeñas.

En el Cretáceo Superior no se presentan ambientes de alta salinidad. Durante el Conniaciano empezó el depósito de capas fosfáticas proceso que continuó en el Santoniano. Al observar la distribución geográfica de los fosfatos es evidente su presencia hacia el centro-occidente de la cuenca cretácea y notoria su ausencia al oriente y hacia los extremos norte y sur (véase figura 8). En general los fosfatos conocidos en el país presentan un alto contenido de carbonato y solamente aquellos sometidos a lixiviación por agentes atmosféricos, están libres de ese compuesto.

Cabe agregar que algunos niveles fosfáticos presentan concentraciones apreciables de uranio; de estos es digno mencionar el prospecto de Berlín (Caldas).

A lo mencionado sobre la génesis mineral en el Cretáceo del centro del país, hay que agregar que a lo largo de ese período hubo depósitos de sedimentos calcáreos en extensas áreas desde Putumayo hasta la Guajira (véase figura 9). Este es el período de mayor sedimentación de calizas en toda la historia geológica del territorio colombiano.

Con respecto al período Cretáceo queda un importante tema, es lo referente a la región ubicada al occidente de la actual cordillera Central. Allí existió un ambiente geológico muy diferente al anteriormente descrito. La litología cretácea del occidente Andino comprende basaltos oceánicos, complejos ultramáficos y una espesa secuencia sedimentaria compuesta de lutitas, lutitas pizarrosas, grawacas, liditas y prismas de diamictitas. Existen varias denominaciones para las unidades litológicas enumeradas, entre otras: Formación Diabásica (Hubach & al, 1932), Grupo Faldequera (Hubach, & al. 1934). Grupo Diabásico (Hubach, 1957), Grupo Cañasgordas (Alvarez, & al. 1978), Formación Quebradagrande (Botero, 1963), Complejo Ofiolítico del Cauca (Tossaint & al, 1978). Formación Espinal (Hubach, 1981), Basaltos de Nuevo Paraíso (Dueñas, & al. 1981), Peridotitas de Planeta Rica (Dueñas, 1981), etc.

Resumiendo la información de la copiosa nomenclatura estratigráfica existente, se puede generalizar que existen basaltos oceánicos, complejos ofiolíticos y una espesa secuencia turbidítica que los sobreyace.

Las manifestaciones minerales que se generaron en este ambiente son las de las siguientes clases: Manganeso vulcanogénico en Samaniego y Curcuel

(Nariño), Apía (Risaralda), Vallesí y Abejorral (Antioquia) y Anchicayá (Valle), en todas las cuales hay especialmente una relación estrecha con liditas negras que sobreyacen los basaltos. Sulfuros masivos tipo Chipre como el depósito El Roble (Chocó). Otras ocurrencias minerales que presentan características que los asimilan con ese tipo de depósitos son Santa Anita y El Socorro ambas en la vertiente occidental de la cordillera Occidental en el Chocó. Por último (véase figura 10) pueden mencionarse las ocurrencias minerales relacionadas con ultrabásitas tales como las magnesitas de Bolívar (Valle), serpentinitas explotadas con diversos fines en Pácora y otros lugares, manifestaciones menores de cromita en los Almendros (Córdoba). También cabe mencionar los complejos ultramáficos como la roca originadora de los prospectos níquelíferos, sin embargo, sobre ese tema se hará referencia al tratar el Terciario, período en que tuvo lugar el proceso de laterización que formó esos depósitos.

Resumiendo las características de la geología mesozóica de Colombia y las perspectivas metalogénicas a que da lugar, pueden destacarse los siguientes puntos:

- El magmatismo Juratriásico es un evento del que pueden esperarse acumulaciones importantes de metales de afinidad continental, entre ellos estaño, wolframio, niobio, molibdeno, zirconio, uranio, etc. Estos elementos se pueden presentar en diversos tipos de acumulaciones de origen magmático, tales como di-

seminaciones (estaño, molibdeno, uranio), skarns (estaño, wolframio) pegmatitas (estaño, niobio, molibdeno, uranio, wolframio), filones (estaño, wolframio, uranio, molibdeno).

- Para la prospección de depósitos de las clases mencionadas es muy importante localizar las verdaderas intrusiones juratriásicas ya que existen confusiones con los granitos proterozoicos.
- También es interesante hacer referencia a las posibles mineralizaciones de hierro (Magnetita) relacionadas a la actividad ígnea juratriásica. Aunque en general los depósitos relacionados a este tipo de eventos no son de enormes dimensiones, constituyen prospectos de alta calidad. Esta clase de mineralizaciones abastecen de hierro a Perú y Chile.
- Las posibilidades metalogénicas de la sedimentación juratriásica, radican principalmente en el uranio. La abundancia de material detrítico sedimentado en ambiente continental y la procedencia de ese material producto de la erosión de granitos proterozoicos, hacen óptimas las circunstancias para hallar depósitos en areniscas.
- El ambiente de sedimentación de la Formación Payandé, así como el del Cretáceo Inferior, en áreas tales como Los Santos (Santan-

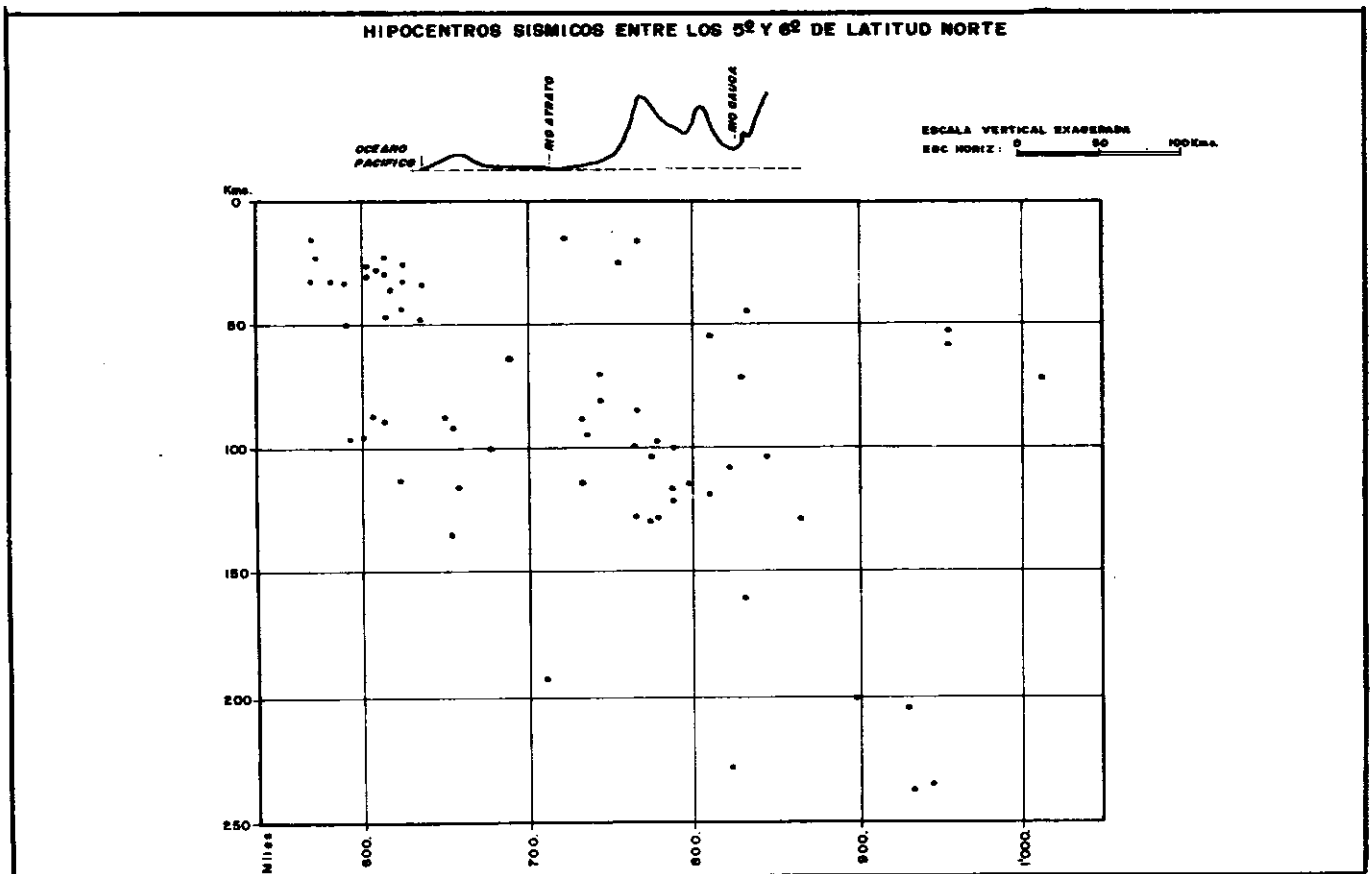


FIGURA 18

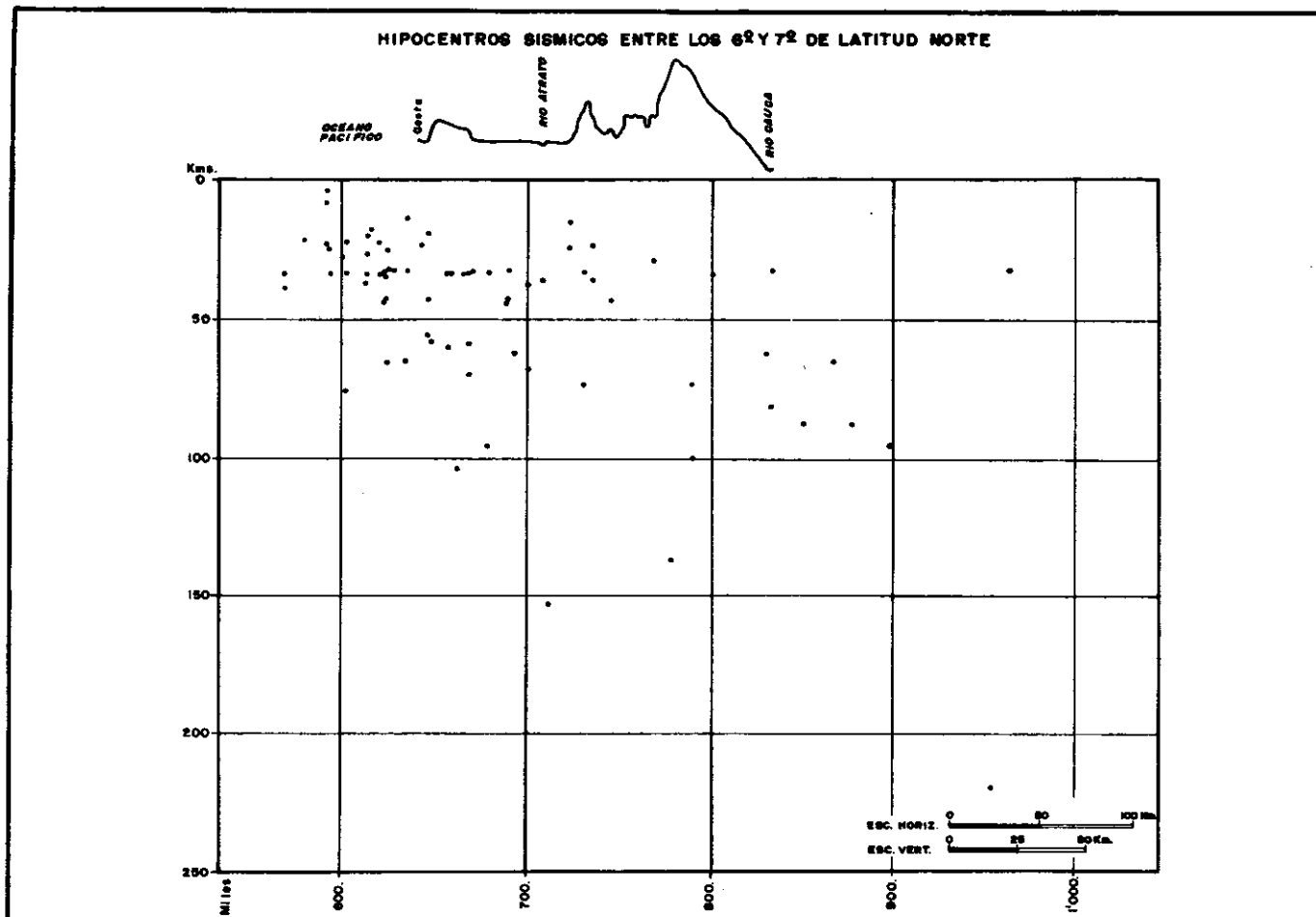


FIGURA 19

der), presenta una buena posibilidad en lo referente a sales de potasio. Gran parte de los depósitos mundiales se han encontrado en secuencias sedimentarias donde se asocian las calizas dolomíticas con rocas yesíferas, tal como se conocen en la Formación Rosablanca.

- El Cretáceo Inferior también presenta el ambiente para localizar depósitos de metales del tipo Mississippi Valley, aunque en general puede aseverarse que este tipo de prospecto todavía no se ha localizado con volúmenes apreciables en el país.
- El principal proceso de génesis mineral en la sedimentación marina del Cretáceo Superior es el depósito de fosfatos, en este aspecto, tal vez la mejor posibilidad para prospectar nuevos depósitos se encuentra en los Valles del río Cesar y del río Ranchería. Al examinar la estratigrafía de la cuenca del Valle Medio del Magdalena y compararla con la del Valle del Cesar, se encuentran casi idénticas. En apariencia una falla de dirección noroeste en parte coincidente con la de Santa Marta y movimiento sinistral, desplazó hacia el noroeste del Valle del Cesar, Perijá y la Sierra Nevada, separándolos de sus continuaciones al sur en el Valle Inferior del Magdalena, Sierra de los Cobardes y Sierra de San Lucas (véase figuras 11 y

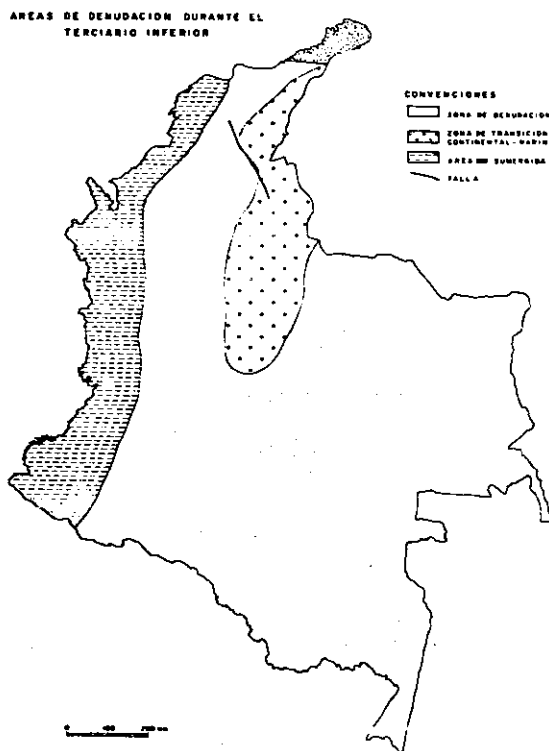


FIGURA 20

12). Por tanto en la Formación La Luna, del Valle del Cesar, cabría esperar la continuación de los niveles fosfáticos de la Formación homónima en los Santanderes.

- Para concluir las observaciones referentes al Cretáceo de la zona Central de Colombia se puede hacer una corta referencia a la poca conocida sedimentación cretácea continental.

Frecuentemente se han confundido las unidades de la sedimentación continental del Cretáceo con las del Terciario y aún con las del Jurásico. Hay algunas denominaciones tales como la Formación Rionegro (Hedberg, 1931) y Formación Yaví (Mojica, & al. 1980) que identifican secuencias de tipo fluvial del Cretáceo. Al Occidente de Cundinamarca existe una espesa secuencia de conglomerados y areniscas conocidas como Formación San Juan de Rioseco, de edad Cretácea que pueden ser una fuente de materiales pétreos de construcción para la ciudad de Bogotá (véase figura 27).

- Las posibilidades metalogénicas del Cretáceo del Occidente de Colombia se pueden resumir así: En los basaltos y en la base de la secuencia sedimentaria turbidítica existe la perspectiva de hallar sulfuros masivos tipo Chipre. Dentro de la secuencia de sedimentos pueden hallarse sulfuros masivos de tipo exhalativo. Existen posibilidades para localizar prospectos de manganeso volcánico en la base de la secuencia sedimentaria, principalmente asociado con las liditas negras.

### 2.3. El Cenozoico

Constituye la era geológica más importante en la génesis mineral en Colombia. Sería demasiado prolijo tratar de enumerar las formaciones geológicas a las que se ha atribuido edad terciaria en el país; baste anotar que pasan de trescientas. A pesar de su relativa brevedad, el Cenozoico tuvo una evolución geológica muy interesante, ya que en los sesenta millones de años que comprende, ocurrieron eventos orogénicos y sedimentación de diversos tipos.

La historia geológica del Terciario se puede resumir así: En primer lugar cabe mencionar un episodio tectónico que es determinante en la evolución de los Andes de Colombia. En el Océano Pacífico, al occidente de lo que constituyó la zona continental durante el Mesozoico, hubo un rompimiento de la corteza oceánica en dirección norte-sur, comenzando un cabalgamiento del bloque oriental sobre el occidental, con lo cual se inicia la formación de un arco de islas. La cronología de este episodio no se puede precisar con exactitud, pero puede situarse entre el Cretáceo Superior y el Eoceno.

Al progresar el cabalgamiento o subducción se produjo magmatismo, formándose durante el Eoce-

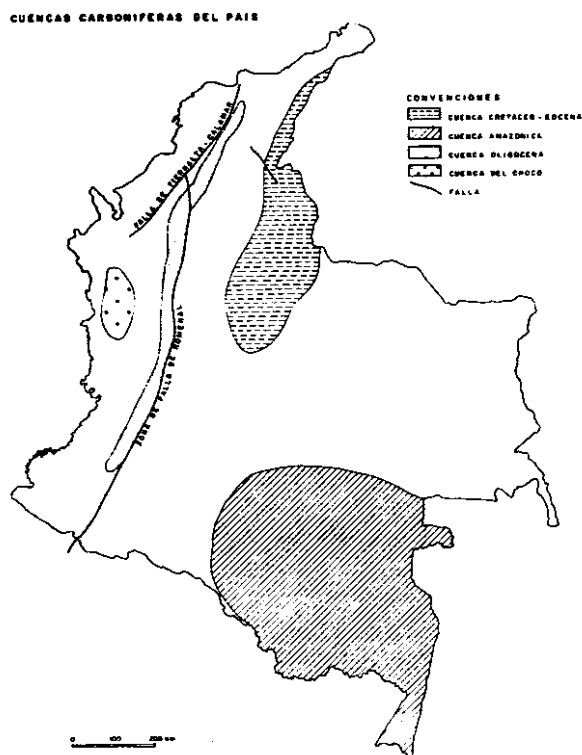


FIGURA 21

no una cadena volcánica. Posteriormente al continuar la subducción, el frente magmático migró gradualmente hacia el oriente.

Durante la mayor parte del Cenozoico, el arco de islas constituyó una unidad geotectónica independiente del Continente Suramericano. Una situación parecida a la de las Antillas actuales.

En el Terciario Tardío ocurre un acercamiento del arco de islas y el Continente Suramericano, con la formación de una angosta cuenca intermedia. Posteriormente se presenta la acreción y con ello el intenso plegamiento que formó la cordillera Occidental. La subducción continuó, penetrando la placa proveniente del Pacífico bajo la corteza sílica del continente suramericano (véase secciones de la superficie sísmica figuras 13 a 19) dando lugar a la actividad magmática que formó la cadena volcánica actual de la cordillera Central.

En el área Continental la evolución geológica tuvo el siguiente desarrollo: Hacia finales del Mesozoico el mar Cretáceo empieza a retroceder permitiendo la formación de extensas zonas paludales costeras (véase figura 20) que debido a un clima pluvial fueron ocupadas por una densa vegetación, posiblemente muy similar a los actuales manglares. La zona donde ocurrió la regresión marina entre el Cretáceo Superior y el Eoceno puede apreciarse con sólo observar la distribución de los carbones de esas edades (véase figuras 21 y 22).

Las áreas que permanecieron emergidas durante el Terciario Inferior, y que por lo tanto constituyeron zonas de denudación, se localizan en la actual cordillera Central, donde pueden observarse restos de las antiguas superficies peneplanadas actualmente inclinadas hacia el oriente, la región del Bajo Cauca y Bajo San Jorge, la depresión de Mompós y las regiones de Plato y El Banco (Magdalena) (véase figura 21). Toda la extensión emergida durante el Terciario Inferior tuvo un relieve maduro con características claramente cratónicas. Al Oriente existió otra zona cratónica muy similar a la anterior que comprendió la parte centro y norte de la Orinoquia y la Amazonia.

Al occidente de la actual cordillera Central, existió un litoral que durante el Terciario Inferior parece haberse situado directamente en el talud continental, ya que no hay registro de sedimentación de aguas someras anterior al Oligoceno. Este litoral se extendió aproximadamente con la misma forma de la actual depresión Cauca-Patía y al Norte estuvo definido por una gran falla de dirección nordeste que para efectos del presente informe se denominará Falla Tierralta-Calamar (véase figura 21).

Luego en el Oligoceno Medio, hay una transgresión con lo cual una extensa zona cratónica queda sumergida (parte del Bajo Cauca, depresión de Mompós áreas de Plato, etc.). (Dueñas, 1979). El clima pluvial del Oligoceno, favoreció la formación de un extenso manglar (Dueñas, & al. 1981). El litoral de esta época parece haber tenido una paleogeografía similar al actual litoral Pacífico. Al Occidente de la Falla Tierralta-Calamar existió una zona de gran profundidad, no afectada por cambios eustáticos, con sedimentación turbidítica, donde solamente algunas grandes eminencias submarinas permitieron el desarrollo de arrecifes coralinos.

La sedimentación en el arco de islas tuvo un desarrollo independiente de los descritos atrás. Durante el Eoceno Superior ocurre una sedimentación de calizas lidíticas, lúditas negras, margas y areniscas (Haffer, 1967); en el Oligoceno y Mioceno Inferior se depositaron calizas arenosas y areniscas, durante el Mioceno Medio y Superior hubo sedimentación fluvial y lacustre de arcillas, conglomerados y arcillas conglomeráticas. En algunas zonas la secuencia terciaria de esta región presenta intercalaciones de rocas piroclásticas. En la región del Alto San Juan (Tadó-Istmina) hubo depósito de carbones, cuya edad se desconoce.

En resumen, de la poca información sobre la sedimentación del arco de islas puede concluirse que se trata de una secuencia de carácter regresivo.

Al final del Cenozóico tiene lugar la acreción del arco de islas al Continente Suramericano, configurándose la geografía actual del país. Ocurre también el levantamiento de las cordilleras Occidental y Oriental, se presenta el basculamiento del gran bloque constituido por la cordillera Central y la Si-

erra Nevada de Santa Marta, y se forman los grandes estrato-volcanes de la cordillera Central. Por otro lado se presenta vulcanismo fisural básico en la Cordillera Central entre los Farallones de Cali y El Dovio (Velle) durante el Pleistoceno y se desarrolla un evento volcánico alcalino en el área de Paipa cuyo origen no se ha establecido.

La actividad magmática del Terciario dio lugar a ocurrencias minerales de varias clases (véase figura 23). Cobres porfídicos del tipo cobre-oro en Dojura, Neguá, Acandí, Murindó, Pantanos, etc. Los cuatro primeros localizados al borde occidental del Batolito de Mandé al contacto con rocas andesíticas. Existen condiciones similares a las anteriores en el borde occidental del Batolito del Telembí (Nariño) (véase figura 23). Al oriente existen intrusiones más recientes, menos expuestas por la erosión que los batolitos atrás mencionados. Una de ellas es el stock de Marmato con una mineralización diseminada del tipo cobre-oro. Existen intrusiones similares en la cordillera Occidental y en la depresión Cauca-Patía, sin embargo no presentan mineraciones de gran volumen. El prospecto de El Pismo es tal vez la única manifestación de tipo diseminado y origen Terciario conocida al oriente de Marmato.

Se conocen numerosas mineralizaciones filonianas de oro, plata, antimonio, etc. en las cordilleras Occidental y Central (véase figura 23). Estas manifestaciones se encuentran hacia el oriente has-

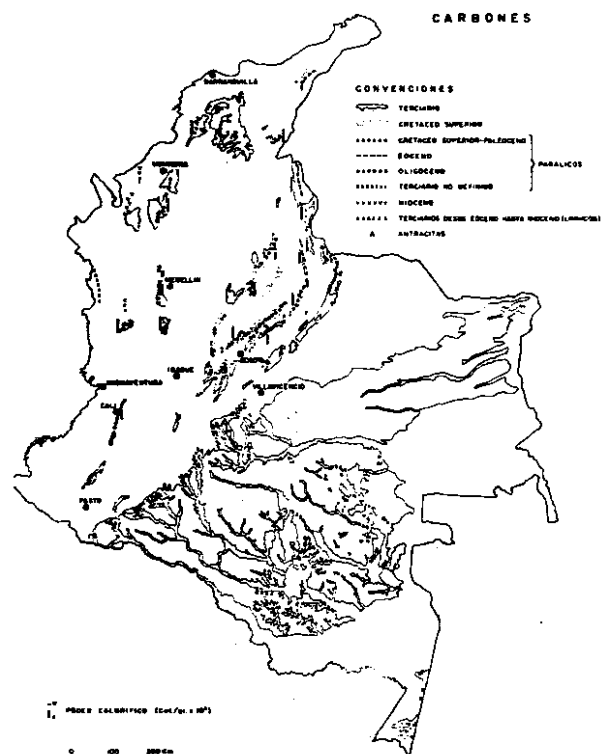


FIGURA 22

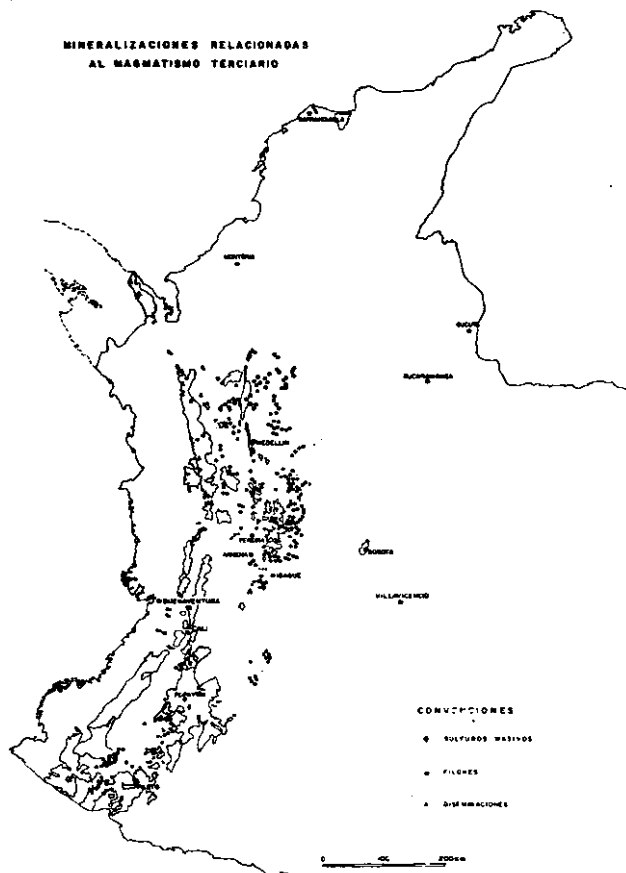


FIGURA 23

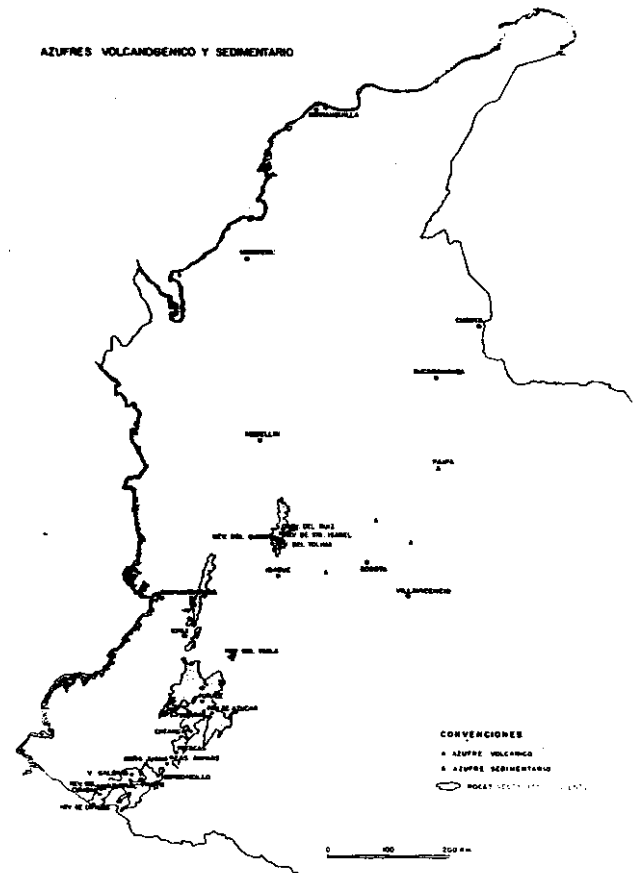


FIGURA 24

ta donde ha llegado la Placa del Pacífico, como se puede observar en las secciones de las superficies sísmicas.

En general es frecuente la presencia de mineralizaciones de tipo epitermal en la Cordillera Central tal vez el mejor ejemplo de ellas es el prospecto de Las Nieblas (Salento, Quindío). Hay un notable vacío de manifestaciones minerales en la cordillera Central al sur de la altitud de Tuluá, sector que coincide con un incremento en la pendiente de la placa como puede observarse en la superficie sísmica entre 3° y 4° de latitud norte (véase figura 16). Esto puede ser la causa de que la actividad magmática haya sido escasa o nula en este sector.

El magmatismo terciario también dio lugar a una manifestación de sulfuros masivos tipo Kuroko en la Serranía del Darién, en la frontera con Panamá. Es casi seguro que los grandes aluviones auríferos del Chocó y Nariño se originaron en mineralizaciones diseminadas del Terciario.

Por último es importante mencionar las ocurrencias de azufre vulcanogénico relacionadas al magmatismo Cenozoico más recientes (véase figura 24).

La sedimentación del Terciario es muy importante en la génesis mineral en los siguientes aspectos:

En primer lugar los carbones, como puede verse en las figuras 21 y 22, la deposición de carbones del Cretáceo Superior al Eoceno ocurrió en la mayor parte de los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander, parte del Cesar y sur de la Guajira. Los carbones del Cesar y la Guajira parecen constituir la continuación de los del Occidente de Cundinamarca y Santander, desplazados por una falla noroeste como se observa en las figuras 11 y 12.

La segunda cuenca carbonífera en importancia la constituye una faja discontinua de edad Oligoceno que se extiende por los Departamentos de Cauca, Valle, Caldas, Antioquia, Córdoba y Magdalena.

En la región oriental de Colombia existe una extensa cuenca carbonífera poco conocida. Aparentemente son carbones de origen límnic y características diferentes a los del resto del país tal como se conocen en las comisarías del Amazonas, Vaupés, Guaviare y en el departamento de Caquetá.

Hay carbones de edad Mioceno en localidades como San Jacinto y Urabá.

La calidad de los carbones colombianos, está directamente relacionada con la edad, siendo los del Cretáceo-Terciario Inferior los de mejores propiedades (véase figura 22). Otro factor que modifi-

ca las propiedades del mineral es la actividad ígnea o las elevaciones locales del gradiente geotérmico que producen antracitización. Este efecto se conoce en algunas localidades del Valle y Antioquia (actividad ígnea) y en Landázuri (alto gradiente geotérmico local).

Otro aspecto metalogénico importante de la sedimentación cenozoica, es la laterización. Este fenómeno fue muy acentuado en el Terciario Inferior (Eoceno) cuando dio lugar a la formación de bauxitas en lugares como Losada al sur de la Macarena, Santa Rosa de Osos, etc. y a la formación de lateritas níquelíferas en Cerromatoso, los Almendros, Uré, etc. (véase figura 25). Esto ocurrió en concordancia con un hecho establecido a nivel mundial; el Eoceno fue el período de máxima formación de bauxitas en la Tierra. Aparentemente las condiciones climáticas fueron óptimas para la laterización. Durante el Pleistoceno tuvo lugar un proceso edáfico diferente, que dio lugar a la formación de arcillas bauxíticas en el Valle del Cauca (véase figura 25), típicos andosoles.

Durante el Terciario se depositó hierro oolítico en varias localidades de las cuales se destaca la zona central de Boyacá, región de Mitú (Vaupés), la Chorrera (Amazonas) y Barranco Minas (Vichada) (véase figura 26).

La sedimentación cenozoica tiene gran interés en lo referente a materiales de construcción. Las

calizas que consumen las fábricas de cemento del Valle, Tolcementos, Caribe y Colclinker tienen esta edad. Igualmente son Cenozoicas las fuentes (véase figura 27) de arcillas y materiales pétreos que abastecen gran parte del consumo de Bogotá, Valle del Cauca, Cúcuta. Costa Atlántica, etc., (véase figura 27).

Las posibilidades metalogénicas del Cenozoico se pueden sintetizar así:

La subducción del occidente colombiano es un evento interesante para la génesis de minerales metálicos. El arco de islas presenta las siguientes unidades geotectónicas: un arco externo y zonas de melange en la Serranía del Baudó y zona costera adyacente, donde se encuentran condiciones favorables para la prospección de depósitos de cromitas, asbestos y sulfuros masivos tipo Chipre. Una cuenca intermedia representada en los Valles del Atrato, San Juan y bajo Patía, con posibilidades de hallazgos de carbones. El arco interno o arco magmático, representado en los batolitos de Mandé y Talembí y vulcanitas comagmáticas, donde se presentan excelentes posibilidades para la búsqueda de cobres porfídicos tipo cobre-oro. El borde occidental de los batolitos mencionados es de especial interés en ese aspecto. Las vulcanitas terciarias de esa zona son de gran interés para la prospección de sulfuros masivos tipo Kuroko. En la Cordillera Occidental hay altas posibilidades en los cuerpos intrusivos para el hallazgo de depósitos de tipo diseminado. En este sentido es necesario hacer la distinción entre los plutones emplazados a poca profundidad, con posible acceso de aguas freáticas y generalmente con indicios de actividad efusiva que presentan amplias zonas de mineralizaciones diseminadas o filonianas y los cuerpos plutónicos profundos, caracterizados por producir metamorfismo de contacto en la roca encajante, generalmente estériles (como el plutón de Anchicayá).

En la cordillera Central el magmatismo es más reciente, por lo que las pilas volcánicas no se encuentran erosionadas, debido a esta circunstancia, predominan las manifestaciones de tipo epitermal con sulfosales y generalmente ricas en minerales de plata. Aunque en la Cordillera Central la placa Pacífica ha penetrado bajo la corteza siálica no hay posibilidades de molibdeno porfídico, ya que la placa no ha llegado a la profundidad donde se generan magmas que puedan producir este tipo de depósitos (más de 260 Km según Westra, 1981). Según puede observarse en las secciones de las superficies sísmicas (figuras 13 a 19), debajo de la cordillera Central ha llegado solamente a 200 Km de profundidad aproximadamente.

Al examinar la metalogénica Cenozoica hay algo sin resolver: El origen de platino aluvial. Generalmente se ha atribuido a rocas ultrabásicas, pero sucede que en las zonas próximas a los aluviones platiníferos no se presentan grandes exposiciones de esas rocas. Es frecuente que el oro Chocoano se

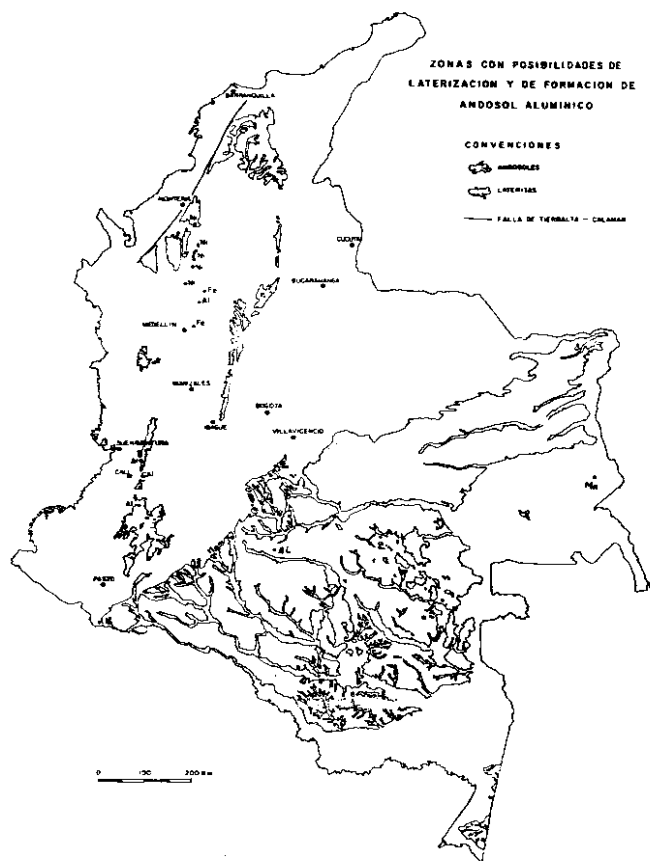


FIGURA 25

encuentre aleado con platino; esto puede dar base para plantear la hipótesis de un origen común para los dos metales en el borde occidental de los batolitos de Mandé y Talembí. Es factible que el platino haya sido extraído por esas intrusiones.

Las posibilidades minerogenéticas de la sedimentación terciaria pueden analizarse, empezando por el carbón. No hay una necesidad práctica de localizar nuevas cuencas carboníferas. Cualquier esfuerzo exploratorio tendría como fin principal, estudiar y evaluar mejor las cuencas conocidas en los carbones de mejor calidad y localizados más favorablemente en relación con los mercados o puertos de exportación.

La gran cuenca del Cretáceo-Eoceno (véase figura 20), la más interesante en todos los aspectos, tiene contornos muy definidos. Existen dentro de ella áreas poco conocidas de gran interés, tal vez el mejor ejemplo de esto lo constituye el prospecto de la Gabarra en el Bajo Catatumbo, de gran importancia por la calidad del carbón y facilidades de explotación.

En el Valle del río Cesar existe una extensa zona por explorar, en especial sería interesante determinar una posible continuidad areal entre los carbones del Cerrejón y La Loma.

La cuenca Oligocena presenta un sector poco conocido en su extremo nordeste en los Departamentos de Bolívar y Magdalena.

La cuenca carbonífera del Chocó, poco conocida puede tener interés dada la alta potencialidad calorífica de sus carbones (9.000 cal/gr) en muestras de Tadó (Escorce, 1969).

La cuenca carbonífera amazónica es la menos conocida ya que no hay datos de calidad ni se conoce claramente la estratigrafía de la región. No hay perspectivas que hagan previsible su exploración en un futuro cercano.

Las posibilidades exploratorias de minerales de origen laterítico se pueden resumir así:

Durante el Terciario Inferior se presentaron las condiciones óptimas para el desarrollo de este proceso. Las áreas que estuvieron sometidas a denudación en esa época se encuentran en la Comisaría del Vichada y gran parte del Departamento del Meta, permanentemente expuestas hasta el presente. La mayor parte de la Comisaría del Guainía estuvo expuesta a denudación durante el Terciario pero gran parte de las superficies de laterización están cubiertas de arenas eólicas. Existen extensas áreas de laterización en la Costa Atlántica al sureste de la falla Tierralta-Calamar, en gran parte cubiertas por sedimentos marinos del Terciario Superior. Por último cabe mencionar las superficies de denudación del flanco oriental de la cordillera Central, donde prácticamente se puede hablar de una

penillanura inclinada. Además del proceso de laterización, para la formación de bauxitas se requiere que la roca expuesta sea pobre en cuarzo, por tanto, existe esta posibilidad en lateritas desarrolladas en basaltos, calizas, sedimentos arcillosos, rocas metamórficas no cuarzosas, rocas intrusivas de composición intermedia, etc. Otro factor importante para su formación es que la laterita se halle por encima del nivel freático permanente o estacional, ya que al entrar en contacto con aguas freáticas, la bauxita reacciona con la sílice que llevan en solución produciéndose caolín (Valetón, 1972). En el Guainía es posible observar como las lateritas contienen niveles de caolín muy puro. Si en la extensa zona que permaneció expuesta durante el Terciario Inferior (véase figura 20) se disponen los cuerpos de rocas subsilícicas, tales como el Granito Parguaza en el Vichada (realmente sienita) o los basaltos presentan más interés para la prospección de bauxita. Las arcillas bauxíticas del Valle del Cauca y Cauca, tuvieron origen en un proceso diferente ya que se trata de andosoles o sea suelos que se desarrollan muy rápidamente en rocas volcánicas vítreas, tal como las que se presentan en esas áreas y en un sector del Valle del Atrato (véase figura 25).

Con respecto al níquel, otro gran producto de laterización, las posibilidades no son tan amplias. Además de la laterización se requiere la presencia de las poco frecuentes rocas ultramáficas. El mayor cinturón de rocas de este tipo en Colombia se encuentra en la depresión Cauca-Patía, en cuyo extremo norte está el yacimiento de Cerromatoso y don-

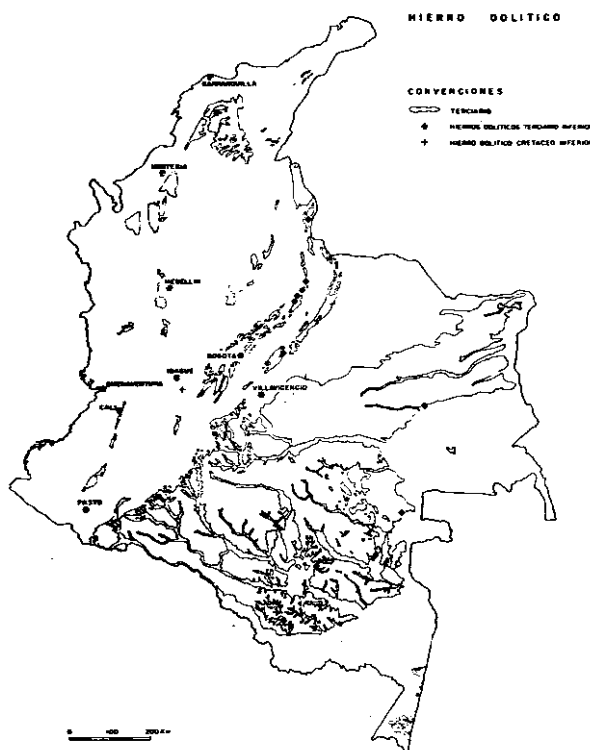


FIGURA 26

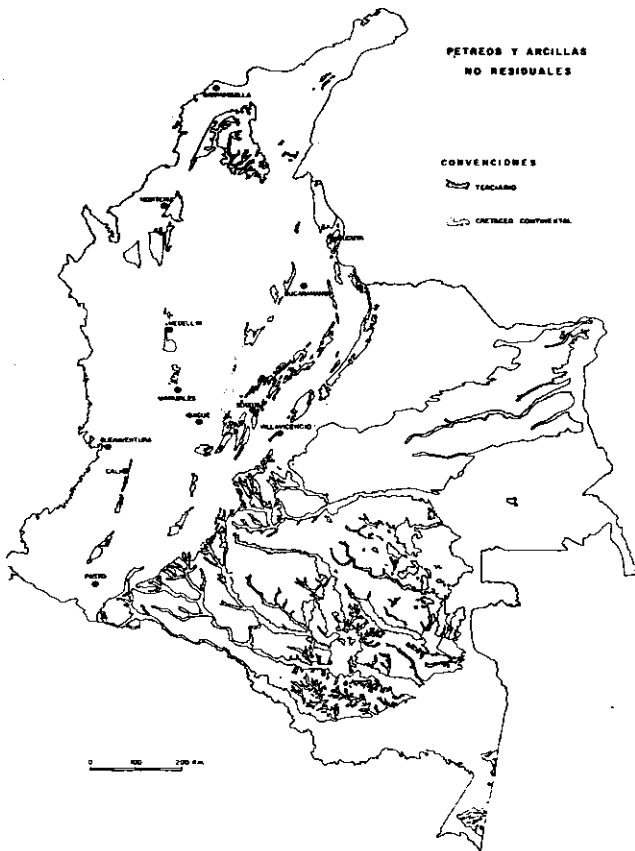


FIGURA 27

de también se conocen otras exposiciones de rocas ultrabásicas laterizadas, tales como La Viera, Mogambo, San Juan Alto, El Oso, Los Almendros, etc. pero ninguna llega a conformar un depósito de la calidad y magnitud del primer yacimiento nombrado.

Las rocas ultrabásicas de otros sectores del país no estuvieron expuestas durante el Terciario Inferior, o se encuentran en áreas de intensa erosión, lo que no permitió la conservación de la cubierta laterítica.

Entre las posibilidades metalogénicas del Terciario merecen una breve mención los hierros oolíticos (véase figura 26). Las perspectivas de hallazgos de este tipo de yacimientos son muy buenas en la zona oriental del país. En varios lugares hubo condiciones posiblemente lacustres donde son frecuentes las ocurrencias de esta clase de depósitos, pero infortunadamente en localizaciones geográficas que hacen poco factible su aprovechamiento económico. Además hay que tener en cuenta que la industria siderúrgica mundial está dejando a un lado este tipo de mineral, debido a su bajo contenido de hierro en relación con otras menas.

La exploración de materiales de construcción en sedimentos del Terciario es un tema muy extenso. En lo referente a materiales pétreos y arcillas se

presentan unas condiciones óptimas. Las sedimentaciones continentales y transicionales del Cenozoico presentan arcillas de gran calidad para la industria cerámica. Estos minerales ofrecen ventajas con respecto a la arcilla residual, ya que el transporte y sedimentación produce una selección granulométrica que las separa de los fragmentos de cuarzo y otras impurezas que disminuyen su plasticidad. Por otra parte, a diferencia de sedimentos similares de eras geológicas anteriores no presentan desarrollo de micas que impiden su uso en cerámica. Los conglomerados de origen fluvial del Cenozoico son ideales en la producción de pétreos al no requerir trituración.

Las siguientes Formaciones geológicas presentan los materiales antes mencionados: Formación Buga y Grupo Cauca en el Valle del Cauca; Formaciones León y Guayabo en Norte de Santander; Formaciones Guaduas y Bogotá en Cundinamarca; Formaciones Ciénaga de Oro y Cerrito, San Antonio en la Costa Atlántica; Terciario Carbonífero de Antioquia; Formación Honda en el Alto Magdalena, etc.

Este aspecto de los materiales de construcción es el que más fácilmente da resultados rápidos con exploración de bajo costo y aún con el uso inteligente de la cartografía geológica existente en consultas de biblioteca.

Cronológicamente los últimos depósitos del Cenozoico son los placeres aluviales y las arenas magnéticas de playa. Con relación a los primeros debe reiterarse el criterio de que cualquier prospección de aluviones con metales preciosos ha de ligarse estrechamente con la identificación y localización de la fuente primaria. En este aspecto, hay placeres cuyo origen es relativamente claro; cabe mencionar los de los ríos Telembí y Bajo Patía, San Juan, Atrato, río Cauca en la región de Asnazú y algunos de menores proporciones cerca de Marmato, en Acandí, Bajo Lebrija y región de Mocoa.

Hay otros en los que la fuente primaria no está claramente identificada; cabe mencionar los placeres del río Nechí, Bajo Cauca, río Bagre, río Saldaña, río San Jorge, río Sinú. Por último puede referirse al caso de Guainía donde se identificó en primer lugar la fuente primaria y posteriormente han empezado a localizarse y explotarse los aluviones.

Las arenas magnéticas usadas en algunos países como materia prima para la siderúrgica (como en caso de Nueva Zelandia) han sido objeto de estudio preliminar en la Costa Atlántica con resultado poco halagador. La zona más interesante se sitúa al oeste en la región de Acandí. En la Costa Pacífica hay un extenso campo para explorar posibilidades si las necesidades de la siderúrgica nacional algún día lo requieren.

## Referencias citadas

- Alvarez, J. & H. González, 1978. Geología y Geoquímica del Cuadrángulo 1-7 Urráo. Inf. 1761. Inst. Nal. Inve. Geol. Min., Bogotá.
- Botero, G. 1963. Edades Radiométricas de algunos Plutones colombianos. Revista de Minería, Medellín Nos. 169-170.
- Burgi, H. 1958. El Jurásico e Infracretáceo del Río Batá, Boyacá. Bol. Geol. 6 (1-3): 169-211. Bogotá.
- Cathles, L.M. & A. Smith. 1983. Thermal Constraints on the Formation of Mississippi Valley Type Lead-Zinc deposits and their implications for Episodic Basin Dewatering and Deposit Genesis. Economic Geology 78: 983-1002
- Cediel, F. 1968: El Grupo Girón una Molasa Mesozóica en la Cordillera Oriental de Colombia. Bol. Geol. Vol. XVI Nos. 1-3, 5-96.
- Cediel, F., J. Mójica & C. Macía, 1980. Definición Estratigráfica del Triásico en Colombia Suramérica. Formaciones Luisa, Payandé y Saldaña. Newsl. Stratigr. 9 (2). 73-104 Berlín Stuttgart.
- Cook, P. J. & M. McElhinny 1979: A reevaluation of the Spatial and Temporal Distribution of Sedimentary Phosphate Deposits in the Light of Plate Tectonics. Econ. Geol. 74: 315-330.
- Champetier de Rives, G., P. Pagnacco, L. Radelli & G. Weecksteen 1963. Geología y Mineralizaciones Cupríferas de la Serranía de Perijá entre Becerril y Villanueva. Bol. Geol. 10 (1-3):133-138.
- Chenevert, C. 1963. Les Dorsales Transverses Anciennes de la Colombie et leur Homologues de la Amerique Latin. Ecl. Geol. Helv. 56 (2): 907-927.
- De Porta, J. 1965. La estratigrafía del Cretáceo Superior y Terciario en el Extremo Sur del Valle Medio del Magdalena Boletín de Geología UIS. 19: 5-30.
- . 1966. Geología del Extremo Sur del Valle Medio del Magdalena entre Honda y Guataquí. *Ibid.* (22-23): 318.
- Ducñas, H. 1979. Estudio Palinológico del Pozo Q-E-22 Oligoceno Superior a Mioceno Inferior Planeta Rica Norte de Colombia. Bol. Geol. 12 (3): 97-109.
- Ducñas, H. & Duque, H. 1981: Geología del Cuadrángulo F-8 Planeta Rica. Bol. Geol. 26 (1): 35.
- Ecorce, E. 1969. Ocurrencias Minerales en el Departamento del Chocó. Inf. 1620 Inst. Nal. Inv. Geol. Min. Bogotá.
- Estrada, A. 1972. Geology and Plate Tectonics History of the Colombian Andes. Thesis M. Sc. Stanford U., 115 pp.
- Eugster, H.L. & Chow, J.M. 1973. The Depositional Environments of Precambrian Banded Iron Formations. Econ. Geol. 68: 1144-1168.
- Fabre, A. & Delaloye, M. 1982. Intrusiones Básicas Cretáceas en las Sedimentitas de la Parte Central de la Cordillera Oriental de Colombia. Geol. Norandina 6: 19-29.
- Faure, D. 1977: Informe Anual, presentado por Minatome de Colombia al Instituto de Asuntos Nucleares.
- Forero, A. & Stibane, F 1969. Los Afloramientos del Paleozóico en la Jagua (Huila) y Río Nevado (Santander). Geol. Colombiana 6: 31-69.
- Geyer, O. 1973. Das Präkretazische Mesozoikum von Kolumbien. Geol. Jb. (Hannover) 85: 156.
- Haffer, J. 1967. On the Geology of the Uraba and Northern Chocó Regions Northwestern Colombia (Ined.)
- Hall, M. 1976. Mineralogía y Geoquímica de las Vetas Esmeraldíferas de Muzo Departamento de Boyacá con Implicaciones en la Prospección futura de Esmeraldas en otras partes de Colombia. Inf. Inéd. Colciencias Bogotá, 316 pp.
- Hall, R., J. Alvarez, & H. Rico, 1972. Geología de parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas. Bol. Geol. 20 (1): 85.
- Hall, R., T. Feigninger, D. Barrero, H. Rico, H. & J. Alvarez, 1990. Recursos Minerales de parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas. Bol. Geol. 38 (2): 90.
- Hedberg, H.B. 1931. Cretaceous Limestone as Petroleum Source Rock in Northwestern Venezuela. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 15: 229-46.
- Hettner, A. 1892. Die Kordillere von Bogotá. Pettermans Mitt. Bd. 22, Erg 104, 131 pp.
- Hubach, E. & B. Alvarado 1932. Estudios Geológicos en la Ruta Popayán-Bogotá. Inf. 205. Serv. Geol. Nal. Bogotá.
- . 1934. Geología de los Departamentos del Valle y del Cauca en Especial del Carbón. Inf. 224. Serv. Geol. Nal. Bogotá.
- Hubach, E. 1957. Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus Alrededores. Bol. Geol. 6 (1-3): 93-112.
- Jenks, W.F. 1956. Handbook of South American Geology, an Explanation of the Geologic Map of South America. Mem. Geol. Soc. Amer. 65: 297-326.
- Lleras, R. 1927. Los Minerales de Colombia. Imprenta Nacional Bogotá, 148 pp.
- McLaughlin, D. & M. Arce 1971. Recursos Minerales de parte de los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Meta. Bol. Geol. 19 (1): 103.
- Megard, F. 1978. Etude Geologique des Andes du Perou Central. Memoires Orstom 86: 310.
- Mójica, J. & C. Macía 1981. Características y Edad de la Formación Yavi, Mesozóico de la Región entre Prado y Dolores, Tolima, Colombia. Geol. Col. 12: 7-32.
- Nelson, H.W. 1954. Contribución al Conocimiento de la Cordillera Occidental, Sección Cali-Buenaventura. Inf. 1051. Serv. Geol. Nal.
- Núñez, A., H. González & E. Linares, E. 1979. Nuevas edades Radiométricas de los Esquistos Verdes del Grupo Cajamarca. Publ. Esp. Geol. Fac. Ciencias U. Nal. Medellín: 23: 119-123.
- Pinzón, W.H. 1962. K Ar and Rb Sr Ages of Biotites from Colombia South America. Geol. Soc. Am. Bull. 73: 907-910.
- Pretorius, D.A. 1976. Gold in the Proterozoic Sediments of South Africa Systems, Paradigms and Models.
- Renz, O. 1960. Geología de la parte Sureste de la Península de la Guajira (Rep. de Colombia). Bol. de Geol. Publ. Esp. Caracas 3: 317-349.
- Scheibe, R. 1934. Las relaciones entre los Pisos Honda, Gualanday y Barzalosa. Comp. Est. Geol. Ofic. Col. I: 63-65.
- Schuiling, R.D. 1967. Tin Belts on Continents Around the Atlantic Ocean. Econ. Geol. 62: 540-50.
- Segovia, A. & G. Renzoni, 1965. Geología del Cuadrángulo L-12, Medina. Serv. Geol. Nal. (mapa a escala 1: 200.000).

- Toussaint, J.F. & J.J. Restrepo** 1978. Ocurrencias del Precámbrico en las cercanías de Medellín, Cordillera Central de Colombia. Publ. Esp. Geol. Fac. Ciencias U. Nal. Medellín 12: 45-53.
- Trumphy, D.** 1943. Pre-cretaceous of Colombia. Bull. Geol. Soc. Amer. 54 (9): 1281-1304.
- Tschanz, M., A. Jimeno & J. Cruz.** 1969. Recursos Minerales de la Sierra Nevada de Santa Marta. U. S. Geol. Service Techn. Letters CO-11, 79.
- Valeton, I.** 1972. Bauxites. Elsevier Publishing Co., 226 pp.
- Ward, D., R. Goldsmith, A. Jimeno, J. Cruz & H. Restrepo.** 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. Bol. Geol. 21 (1-31); 132.
- Westra, G. & Keith, B.S.** 1981. Clasification and Genesis of Stockwork Molybdenum Deposits. Econ. Geol. 76: 844-873.