

**GEOLOGIA Y MINERALIZACIONES CUPRIFERAS DE LA SERRANIA
DE PERIJA, ENTRE BECERRIL Y VILLANUEVA (DEPARTAMENTO
DEL MAGDALENA, INTENDENCIA DE LA GUAJIRA)**

**POR
G. CHAMPETIER DE RIBES
P. PAGNACCO
L. RADELLI
G. WEECKSTEEN**

INFORME No. 1431

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTA. 1963

CONTENIDO

RESUMEN	141
PARTE I	143
INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES	143
Estudios anteriores	143
Lineamientos geográficos de la región	144
Condiciones de trabajo	145
Estudio fotogeológico de la Serranía de Perijá	145
Descripción fotogeológica de las formaciones	145
I. El Paleozoico	145
II. La Quinta	146
a) Riodacitas	146
b) Areniscas rojas y conglomerados	146
III. Cretáceo	147
a) Borde occidental	147
b) Frontera venezolana	147
IV. Afloramientos al borde de las terrazas	147
EL GEOSINCLINAL PALEOZOICO	148
1) Paleozoico inferior	148
a) Las rocas de la zona de Manaure	148
b) Las rocas del Horst del Socorro	149
2) El Paleozoico fosilífero	149
a) El Devoniano	150
b) El Permo-Carbonífero	150
Las riodacitas de Urumita-Villanueva	151
EL MESOZOICO	152
1) Mesozoico inferior (Juratriásico). Formación La Quinta	153
a) Los conglomerados	153
b) Rocas volcánicas ácidas recrystalizadas asociadas con areniscas	154
b') Las Tobas recrystalizadas	154
b'') La micropegmatita	154
c) Las areniscas	155

d) Tobas interestratificadas con areniscas	156
e) Las volcanitas asociadas a los sedimentos de La Quinta	156
2) Mesozoico superior. Cretácico	156
a) La formación detrítica	156
b) La formación calcárea	157
EL CENOZOICO	157
Las terrazas del río Manaure	157
Conclusiones: Geología Histórica - Tectónica	157
PARTE II	159
LAS MINERALIZACIONES CUPRÍFERAS	159
Generalidades	159
1) Las localidades mineras principales (San José, El Seno, Zeppelin, Ovejo)	159
Geología y Petrografía	159
a) San José, Quitafrió	160
b) El Seno	161
c) Zeppelin	163
d) El Ovejo	164
Aspectos de las mineralizaciones	164
Alteración de las rocas ígneas	166
Las mineralizaciones	166
Los minerales metálicos	163
Las gangas	169
Paragénesis	170
Edad y clasificación del yacimiento	172
Localidades mineralizadas de menor importancia	172
A) Impregnación en las areniscas	172
B) Venas de relleno de fisuras	173
PARTE III	174
PROSPECCIONES GEOQUÍMICAS	174
I. GENERALIDADES	174
Arroyo Las Piletas	174
Seno- Zeppelin	175
II. GEOQUÍMICA DEL SUELO	176
III. GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS	177
Interpretación de los perfiles	177
A) Máximo a campana regular	178
B) Máximo de pendientes fuertes y amplitud pequeña	178
C) Máximo asimétrico	178
El Seno	178
Perfil I	181
Perfil II	181
Perfil III	181
Perfil IV	181
Perfil V	181
Perfil VI	182

Zeppelin	182
Perfil A	182
Perfil B	183
Perfil C	183
Perfil D	183
Conclusiones	183
RESULTADOS Y CONCLUSIONES	185
Geología	185
Exploraciones mineras	185
REFERENCIAS	187

G R A F I C O S

Mapa N° 1.—Esquema tectónico de la Serranía de Perijá, entre Codazzi y Villanueva.

Mapa N° 2.—Esquema geológico de la Serranía de Perijá, entre Codazzi y Villanueva.

Mapa N° 3.—Mapa geológico de la zona con indicios de cobre.

Mapa N° 4.—Mapa preliminar de El Seno.

Mapa N° 5.—Mapa geológico de la colina de Zeppelin.

Mapa N° 6.—Mapa geológico de la colina del Ovejo.

Plancha 1A.—Anomalía con máximo a campana regular.

Plancha 1B.—Anomalía con máximo de pendientes fuertes y amplitud pequeña.

Plancha 1C.—Anomalía con máximo asimétrico.

Plancha II.—Perfiles geoquímicos de El Seno.

Plancha III.—Perfiles geoquímicos de Zeppelin.

R E S U M E N

Desde hace tiempo se conocían indicios de mineralización en la zona de la Serranía de Perijá, comprendida entre los pueblos de Molino (Guajira), Codazzi (Magdalena) y la frontera venezolana. En toda esta región se hizo un estudio geológico y petrográfico que puso en evidencia la presencia de las siguientes formaciones: Paleozoico, una masa riodacítica, una formación de edad Juratriásica llamada "La Quinta" y Cretácico. Hacen parte de las formaciones paleozoicas: calizas, esquistos y cuarcitas de edad devoniana y permo-carbonífera. Las riodacitas tienen su origen en el ciclo orogénico que afectó las formaciones paleozoicas antes de la deposición de los sedimentos continentales mesozoicos. A la formación "La Quinta" pertenecen areniscas rojas de sedimentación continental, y de granulometría variada; en estas areniscas se hallan intercalaciones discordantes de rocas volcánicas y subvolcánicas. Al cretácico pertenecen calizas más o menos horizontales. Algunas fallas con rumbo aproximado norte-sur afectan la región. La parte más alta de la Serranía tiene estructura sinclinal. La mineralización (cobre nativo, cuprita, carbonatos básicos y calcocita) se encuentra en las rocas de la formación "La Quinta", en las areniscas, y también en las intercalaciones andesíticas y microgábricas. La mineralización es del tipo de impregnación (disseminated copper). Se hizo un estudio minero-genético y geoquímico de las áreas mineralizadas. Las localidades que parecen tener las mejores posibilidades económicas son las llamadas "El Seno" y "Ovejo".

R I A S S U N T O

Nella Zona della Serranía de Perijá compresa tra le località Molino (Guajira), Codazzi (Magdalena) e il confine venezolano si conoscevano da tempo indizi di mineralizzazione cuprifera. Su tutta la regione si é svolta una campagna di ricerca geologico-petrografica che ha messo in luce la presenza dei seguenti terreni; Paleozoico, una massa riodacitica, una formazione di età giura-triassica e cretaceo. Al Paleozoico appartengono calcari, scisti e quarziti di età devoniana e permo-carbonifera. Le riodaciti si fanno risalire al ciclo orogenetico che ha sollevato i terreni paleozoici, prima della deposizione dei sedimenti continentali mesozoici. La formazione "La Quinta", di età giura-triassica, é composta soprattutto da arenarie rosse di tipo continentale e di granulometria variabile; rocce vulcaniche e subvulcaniche di tipo mesosilicico sono intercalate in discordanza con le arenarie. Al cretaceo appartengono calcari trasgressivi in giacitura piú o meno orizzontale. Alcune faglie di direzione approssimativamente Nord-Sud disturbano la regione. La parte piú alta della catena ha struttura sinclinale. La mineralizzazione (rame nativo, cuprite, carbonati basici e calcocite) interessa le rocce della formazione La Quinta, sia le arenarie, sia specialmente le intercalazioni andesitiche e microgabbriche, ed é di tipo di impregnazione (disseminated copper). Sugli indizi di mineralizzazione si é svolto uno studio minero-genetico e geochimico. Le località che sembrano avere le maggiori prospettive per lo sfruttamento minerario sono quelle denominate "El Seno" e "Ovejo".

R E S U M É

Dans la zone de la Serranía de Perijá comprise entre les villages Molino (Guajira) et Codazzi (Magdalena) et la frontière du Vénézuéla, sont connus depuis longtemps des indices de minéralisation cuprifère. Sur toute cette région nous avons fait une étude géologique et pétrographique qui a mis en évidence, la présence des terrains suivants: Paléozoic, une masse riodacitique, une formation dite "La Quinta" d'âge jura-triassique et du Crétacé. La Paléozoic comprend des calcaires, des schists et des quartzites d'âge dévonienne et permo-carbonifère. Nous approchons les riodacites au cycle orogénique qui a intéressé les terrains paléozoïcs avant la sédimentation de La Quinta. Cette dernière formation se compose surtout de grès rouges continentales de granulométrie variable; des roches volcaniques et subvolcaniques mésosiliciques se trouvent intercalées en discordance dans les grès. Au cretacé appartiennent des calcaires transgressifs plus ou moins horizontaux. Des failles de direction à peu près N-S intéressent la région. La partie la plus élevée de la chaîne présente une structure synclinale. La minéralisation (cuivre natif, cuprite, carbonates basiques et calcosine) intéresse les roches de la formation La Quinta, surtout les intercalations andésitiques et microgabbriques. Il s'agit d'une minéralisation de type d'imprégnation (disseminated copper). Sur les indices de minéralisation nous avons conduit une étude minéragénétique et géochimique. Les endroits qui paraissent présenter les meilleures perspectives au point de vue économique sont "El Seno" et "Ovejo".

A B S T R A C T

Some mineralized copper bearing outcrops were known in the zone of Serranía de Perijá between the villages of Molino (Guajira) and Codazzi (Magdalena), and the Venezuela border. In this zone a geological and petrographic survey has been carried on by the geologists of the Colombian National Geological Service. This survey has demonstrated the presence of the following formations: Paleozoic, a complex of riodacite, a formation of Jura-triassic age called "La Quinta", and Cretaceous. To the Paleozoic formation belong limestones, schists and quartzites of Devonian and Permo-carboniferous age. The riodacites have their origin in the orogenic cycle which uplifted the paleozoic layers before the deposition of the mesozoic continental sediments. The La Quinta formation is chiefly composed of red continental sandstones, with unconformable intercalations of volcanic and sub-volcanic rocks. To the Cretaceous belong transgressive, nearly horizontal limestones. Some N-S faults disturb the formations. The summit of the chain has a synclinal structure. The mineralization (native copper, cuprite, basic carbonates and chalcocite) is confined in the La Quinta sandstones and chiefly in the andesitic and microgabbro intercalations, and is a disseminated copper impregnation. A minerogenetic and geochemical study has been carried on in the mineralized areas. The localities where it seems there are good possibilities of economic mining are those called "El Seno" and "Ovejo".

P A R T E I

INTRODUCCION Y GENERALIDADES

El presente estudio consigna las investigaciones geológicas y mineras en la vertiente occidental de la Serranía de Perijá, en la parte comprendida entre los pueblos de Molino, al Norte, y de Becerril, al Sur. Estas investigaciones tenían como fin:

- Elaborar un mapa geológico de escala 1 : 100.000 de toda la región.
- Localizar todos los indicios de cobre.
- Estudiar estos indicios con relación a la geología regional.
- Precisar la naturaleza de estos indicios y el tipo de mineralización.
- Conceptuar sobre su valor económico e indicar el tipo de investigaciones sucesivas, si fuera el caso.

Estos diferentes objetivos se alcanzaron en tres meses de trabajo de campo, seguidos de los estudios necesarios de laboratorio. Durante este período se hicieron también investigaciones geológicas de reconocimiento en el Macizo de Santa Marta y en el sur de la Península de la Guajira.

Las comisiones de campo tuvieron lugar:

La primera, con la participación de los señores Alvarez, Champetier de Ribes *, Duque, Pagnacco, Radelli, Weecksteen *;

La segunda, con la participación de los señores Champetier de Ribes *, Cucalón, Pagnacco, Radelli, Weecksteen *, Muñoz y Valdiri.

Los trabajos de laboratorio se efectuaron en dos meses, y comprenden estudios de petrografía, minerografía, análisis químicos y fotogrametría.

Estudios anteriores.

Sobre la geología de la Serranía de Perijá, especialmente acerca de su lado venezolano, existe una literatura abundante cuya parte esencial se encuentra en el Léxico estratigráfico de Venezuela (5).

Ultimamente, Hea y Whitman (3) ha publicado algunos estudios estratigráficos y petrográficos sobre la parte oriental de la Serranía, examinando, a veces, también el lado colombiano. Estos estudios presentan algún interés, pero su utilización es muy difícil debido a que los autores nombrados han subdividido las formaciones con mucho detalle, pero sin elaborar mapas geológicos, así que no se pudo efectuar una correlación.

* Geólogos de la Misión Técnica Francesa.

Mucho más interesante es el estudio tectónico de la región, publicado por J. B. Miller (4).

Al tratar de la vertiente colombiana, nos referimos más que todo a los trabajos de Wokittel (7 y 8), que comprenden un estudio geológico regional a grandes rasgos de la Serranía de Perijá y un estudio minero de los indicios de cobre entre Molino y San Diego.

Morer y Nicholls (6) tienen un estudio de reconocimiento del área.

Teniendo en cuenta los datos de Wokittel y Morer, el Servicio Geológico Nacional, División del Ministerio de Minas y Petróleos, emprendió una nueva campaña de investigación geológica que constituye el objeto de este trabajo.

Lineamientos geográficos de la región.

La Serranía de Perijá alcanza, en el sector estudiado, alturas de 3.000 metros o más por encima de la planicie de Valledupar, en frente de la majestuosa Sierra de Santa Marta, que llega a los 5.700 metros.

Los primeros relieves a lo largo de la carretera Codazzi-La Paz son por lo general escasos en vegetación boscosa; se encuentra solamente pasto pobre, que periódicamente los nativos queman al fin de la estación seca.

La selva se encuentra entre los 1.000-1.500 metros, y de este nivel en adelante se hace muy densa.

En los alrededores de La Paz una terraza de varios kilómetros de ancho penetra muy profundamente hacia el interior de la Sierra (aproximadamente 10 kms.) y vela todas las formaciones más antiguas. Al fondo de esta terraza se halla el pintoresco pueblo de Manaure.

Más al norte, otra terraza separa las localidades de Urumita y La Jagua.

Al borde del valle, los ríos están casi siempre secos, debido a que las aguas se infiltran con mucha facilidad en las terrazas o en zonas de falla. Los únicos ríos que tienen regularmente agua son aquellos que, colectando grandes volúmenes, bajan de la parte central de la Serranía.

El clima es muy caliente en el valle. Para encontrar un clima agradable hay que ascender por lo menos a los 1000 metros sobre el nivel del mar.

La penetración hacia el interior de la Serranía sólo se puede hacer siguiendo por caminos de herradura; lo restante es muy difícil, debido a la vegetación y a los precipicios que se encuentran. Los caminos de herradura tampoco son muchos, por ser la región en general poco poblada. Los principales pueblos se hallan todos en la planicie, a lo largo de la carretera hacia Riohacha (Villanueva, Urumita, La Paz, San Diego, Codazzi); con la sola excepción de los pueblos de Manaure y San José de Oriente, que se hallan al desemboque de dos valles profundos que terminan en la terraza de Manaure.

La Paz se halla hoy en día conectada con Valledupar por una carretera pavimentada.

Condiciones de trabajo.

A causa del clima muy caliente, las condiciones de trabajo son bastante duras. A esto se suman las dificultades de penetración (vegetación, precipicios) tan pronto como se desee salir de los caminos. Por esto, fue necesario prever en esta región la rotación de varios equipos humanos.

En la zona se consigue con facilidad mano de obra para pequeños trabajos (trincheras, etc.).

Estudio fotogeológico de la Serranía de Perijá.

Por faltar mapas topográficos de la parte de la Serranía de Perijá, al norte del Paralelo de Manaure, la base topográfica de esta región fue elaborada íntegramente en el Servicio Geológico Nacional, por uno de nosotros (Weecksteen), haciendo uso de fotos aéreas y siguiendo el método del "Templet".

Como la triangulación que existe en la región no ha sido todavía localizada en las fotos aéreas, los puntos fijos fueron tomados en los mapas existentes, al oeste y al sur de la región elaborada, según dicho método.

La elaboración de este mapa topográfico, con base en las fotos, presentó problemas bastante complicados, los cuales se deben de una parte al relieve muy accidentado que se manifiesta en distorsiones apreciables; de Oeste a Este, en 16 kms., se encuentran desniveles de 3.000 metros. Otra dificultad se debe a la superposición insuficiente de las fotografías por el distanciamiento muy grande entre las líneas de vuelo. A pesar de las dificultades anteriores, la base topográfica elaborada puede considerarse suficiente, si se tiene en cuenta la escala de la publicación. A pesar de lo dicho, hay que hacer notar la existencia de una zona en la cual las nubes cubrieron una parte de los afloramientos del cretáceo, cerca de la frontera con Venezuela. Esta frontera está trazada siguiendo la línea "divortium aquarum", y su localización es bastante precisa.

Descripción fotogeológica de las formaciones.

I. EL PALEOZOICO

En la parte N de la región estudiada; se trata de una formación en relieve que da lugar a montículos elevados de formas más bien redondeadas, por lo general no cubiertos de bosques.

La hidrografía es de "mallas anchas"; los valles presentan flancos abruptos y rocosos. La esquistosidad se observa raramente en las fotografías aéreas, con excepción de los casos de cambios abruptos en la topografía.

Desde el punto de vista estructural, el paleozoico aparece al Este de una falla grande de rumbo de NE-SO al Norte, que hacia el Sur pasa a ser SSE.

Las formaciones paleozoicas están en su mayoría limitadas por fallas, con algunas excepciones en las cuales éstas parecen continuar por debajo de La Quinta, y corresponden a "horsts".

Una franja estrecha de Paleozoico no fosilífero se observó también, por debajo de la formación La Quinta, al E de Casacará.

En las fotografías aéreas esta formación no presenta una morfología característica, pero se distingue de los terrenos de La Quinta, que se halla al W por su cubierta de selva.

El límite E de esta formación está muy bien definido por el contacto con los estratos de La Quinta, mientras que los límites N y S son más bien hipotéticos. En el terreno, la disposición de esta formación y la de La Quinta sugiere un contacto discordante.

II. LA QUINTA

a) *Riodacitas.*

Desde el punto de vista fotogeológico, estas rocas se parecen un poco a las del paleozoico, por tener las mismas formas redondeadas, debido a la erosión granular, mientras que se diferencian de aquéllas por el tono grisoso de los afloramientos. En el mapa, las zonas constituídas por riodacitas están caracterizadas por la falta de estratos y de buzamientos.

Al E de Urumita, ellas aparecen en el núcleo de una estructura anticlinal de La Quinta, lo que corresponde muy bien a la posición estratigráfica observada en el terreno.

Al S de San Diego aflora una estrecha franja de riodacita, comprendida entre los sedimentos de La Quinta y la falla, que limita el "horst" paleozoico de Socorro.

b) *Areniscas rojas y conglomerados.*

En sentido fotogeológico, esta formación aflora típicamente a lo largo del borde occidental de la Serranía de Perijá. Sus principales características son: color muy claro y redícula hidrográfica muy ramificada, la cual muchas veces en las zonas de selva da lugar a verdaderos túneles entre la vegetación.

Su erosión recuerda la de las formaciones esquistosas.

Los estratos no son verdaderamente observables sino únicamente en aquellos valles que penetran profundamente en la formación. En las otras partes su presencia se deduce bastante bien por la topografía, pero es posible cometer algunos errores siguiendo este método indirecto.

Hacia el interior de la Serranía estas características son menos claras; la formación se presenta en las fotografías como más masiva, y la distinción entre La Quinta y el Paleozoico es muchas veces difícil. Lo anterior parece ser más una función de la pendiente topográfica que una variación de facies litológicas.

Cerca de la frontera con Venezuela, La Quinta está constituída por una serie de estratos horizontales, o con buzamiento muy débil. En este sector la formación da lugar a altiplanicies sin vegetación característica (Cerro Pintado, Sabana Rubia).

Al E de Casacará los sedimentos de La Quinta también dan lugar a altiplanicies sin vegetación, con paredes extremadamente pendientes, casi insuperables. Los buzamientos son muy débiles y los estratos están cortados por muchas fallas. En la planicie al N y al W de Codazzi aparecen por fin montículos aislados constituídos por series muy regulares de estratos de areniscas rojas que dan lugar a grandes estructuras.

III. CRETACEO

Se nota una distinción marcada entre las facies que aparecen a lo largo del borde occidental de la Serranía de Perijá, las localizadas cerca de la frontera con Venezuela y al E de Becerril.

a) *Borde occidental.*

Los estratos cretácicos calcáreos se diferencian muy bien en las fotografías aéreas de los de La Quinta. Constituyen estructuras sinclinales, en las cuales la retícula hidrográfica es mucho menos estrecha que en los terrenos donde aflora la formación La Quinta. La vegetación tiene en estos terrenos distribución muy homogénea, mientras que en los de La Quinta sólo se halla en los valles. La distribución regular de los estratos se observa muy claramente; algunos estratos más duros dan lugar a crestas continuas.

En resumen, la facies fotogeológica de las calizas cretácicas está caracterizada por la continuidad de los estratos, que no son tan finamente erosionados como los de La Quinta.

Hacia el S, después de una interrupción entre San Diego y Codazzi, las calizas cretácicas afloran nuevamente en estratos típicos bastante continuos, dando lugar a algunas estructuras. Al W de Becerril fue colectada una *Trigonia hondaana* Lea en las calizas cretácicas. (¿Aptiano?)

b) *Frontera venezolana.*

Al E de Villanueva: los estratos sub-horizontales de la formación La Quinta están cubiertos por una faja de calizas, también horizontales. Las calizas de color gris claro forman un escarpe visible desde Valledupar. Se trata de calizas fisuradas con muchas dolinas. Los buzamientos indicados en el mapa son muy débiles.

c) *E. de Becerril.*

Al E de Becerril: entre este poblado y el límite E del mapa, el río Maracas constituye el límite entre dos facies muy diferentes del Cretáceo. Al W de este río se halla la misma facies que en el borde occidental, en la cual se encontró un *Acanthoceras* (Cenomaniano). Al E, las calizas cretáceas se presentan con una facies muy diferente de altiplanicies poco elevadas, con buzamiento débil, recubiertas de una vegetación silvestre muy densa. Los estratos presentan varias ondulaciones de menor amplitud, un retículo de diaclasas muy característico y fenómenos de disolución del carbonato.

IV. AFLORAMIENTOS AL BORDE DE LAS TERRAZAS

Entre La Paz y Manaure, al borde de las terrazas, aparecen muy pocos afloramientos, y no es posible, sobre las fotografías, determinar con seguridad su naturaleza. Por eso mismo, se ha preferido reunirlos aquí bajo el título "afloramientos al borde de las terrazas". En la parte SW de la zona de las terrazas, su naturaleza (riodacítica) ha sido determinada en el terreno. Por lo demás, parece tratarse esencialmente de terrenos de la formación La Quinta, menos en la parte oriental, en donde

el sinclinal cretácico de Manaure parece continuar por debajo de la terraza misma.

EL GEOSINCLINAL PALEOZOICO

1) *Paleozoico inferior.*

La base de la serie paleozoica aflora, en la Serranía de Perijá, en dos franjas estrechas de rumbo aproximado NS, y están limitadas por fallas subverticales.

La primera y más importante de éstas se halla al E de Manaure y constituye los primeros rasgos de la cordillera propiamente dicha: está en contacto al W con los sedimentos del Cretáceo, al E con la serie paleozoica fosilífera.

La segunda se encuentra al E de El Socorro y está en contacto, tanto en el E como en el W, con sedimentos mesozoicos; constituye por lo tanto un verdadero "horst", que será llamado "Horst del Socorro". Por lo que se refiere a la litología, a pesar de muchos caracteres comunes, por falta de una posibilidad de correlación segura, será conveniente tratar por separado las rocas de la región de Manaure y las del horst del Socorro.

a) *Las rocas de la zona de Manaure.*

Se trata de rocas de origen detrítico (areniscas cuarzosas y cuarzo-feldespáticas) que después de una clastesis han sufrido un metamorfismo de bajo grado.

La textura esquistosa puede estar o no presente, según se trate de areniscas feldespáticas o puramente cuarzosas. La estructura es grano-blástico-cataclástica pseudoporfiroblástica. En los puntos en que la clastesis ha sido menor, se reconocen los siguientes minerales: cuarzo, cantidades variables de feldespatos y escasos elementos filíticos, especialmente clorita, moscovita y sericita; como accesorios se observa circón, en granos bastante redondeados y pequeños granos de minerales de cobre.

El cuarzo se halla en granulaciones menudas, entre las cuales se alojan plaquitas de moscovita y clorita alotriomórfica, o porfiroblastos. Siempre tiene el cuarzo extinción fuertemente ondulada.

Entre los feldespatos se reconocen los sódico-cálcicos (por lo general oligoclasa) y el potásico. En donde la clastesis ha sido más fuerte, el feldespato, especialmente el potásico, ha desaparecido dando origen a una masa de minerales filíticos, en los cuales se hallan inmergidos granos de cuarzo.

Contemporáneamente, la roca adquiere un aspecto más esquistoso y una exfoliación en escamas. Se revela un metamorfismo de bajo grado en el origen de delgadas capas de clorita en facies locales más ricas de elementos ferro-magnesianos.

En una de las muestras colectadas en el valle del río Manaure, en la parte inferior de su curso, se puede ver bajo el microscopio un filoncito delgado de cuarzo discordante.

b) *Las rocas del "Horst del Socorro"*.

El tipo litológico predominante es una arenisca arcósica afectada por metamorfismo, cuyo grado corresponde al de la zona de las micacitas superiores.

La roca tiene textura ligeramente esquistosa, estructura granoblástico-cataclástica, y se compone de abundante cuarzo, feldespato potásico (ortosa y microclina), plagioclasa, sericita, poca moscovita y epidota.

El cuarzo se halla en granulaciones, en las cuales se alojan plaquitas micáceas, o también en alotrioblastos, muchas veces con estructura de mosaico, y tiene extinción fuertemente ondulada, debido a un pronunciado fenómeno de clastesis.

Hay que pensar en que el feldespato potásico y la plagioclasa son minerales residuales o persistentes; la transformación ortosa-sericita y la sausuritización de la plagioclasa con origen de zoisita no es completa; la sericitización de la plagioclasa apenas está en una fase inicial.

A menudo los feldespatos se encuentran en granos de evidente carácter detrítico; se reconocen en tal caso las maclas de Karlsbad en la ortosa, enrejadas en la microclina, y las de la albita, en la plagioclasa (oligoclasa).

Las transformaciones indicadas tienen desarrollo bastante profundo en los granos pequeños de la matriz y un desarrollo menor en los cristales mayores, en los cuales éstas empiezan siguiendo superficies de menor resistencia: fracturas, planos de macla.

En donde la clastesis es acentuada, lo es por lo tanto también la blastesis, y se originan así abundantes masas irregulares de sericita en las cuales flotan restos de cristales de feldespatos más o menos alterados y muchas veces corroídos por cuarzo. La moscovita, variable en cantidad según las zonas de una misma sección, se presenta en láminas bien desarrolladas, o bien en estructuras fibrosas alargadas y distorcidas; es posible que en este segundo caso se trate de un mineral residual.

Los accesorios más comunes son óxidos de hierro, apatito y circón.

Además de éstas, se encuentra en la misma estructura una facies calcárea, representada por calcarenitas cataclásticas. Al examen macroscópico sobre secciones pulidas de la roca, es fácil observar elementos detríticos, más o menos redondeados, inmersos en una matriz fina.

Bajo el microscopio, estas dos partes resultan ambas constituidas de material calcáreo y se observa con facilidad también un fenómeno cataclástico, debido al cual los elementos calcáreos detríticos están intensamente fracturados, y en algunos casos la clastesis ha sido suficiente para desplazar entre sí los diferentes fragmentos, que se hallan inmersos sin orden ninguno en la matriz. Como consecuencia de estos fenómenos dinámicos la roca ha podido también ser atravesada por una pequeña inyección de cuarzo.

Desde el punto de vista estratigráfico, es posible que estas rocas intensamente cataclásticas y ligeramente metamórficas corresponden a la "Serie de Perijá" de los geólogos venezolanos.

2) *El Paleozoico fosilífero.*

La serie paleozoica fosilífera aflora en la vertiente W de la Serranía de Perijá, al E de la franja constituida por las rocas ya descritas, de las

cuales está separada por una falla subvertical de rumbo aproximadamente NS.

a) *El Devoniano.*

La parte inferior de la serie fosilífera está constituida por rocas ligeramente metamórficas, de origen tobáceo, que se pueden observar con facilidad en el valle del río Manaure.

Estas son rocas de grano extremadamente fino y con superficies de esquistosidad algo brillantes por la presencia abundante de sericita, de color variable entre el negruzco, el verde y el rojizo oscuro. Contienen una fauna bastante bien conservada, en la cual se reconocen lamelibranquios y braquiópodos (¿Spirifer?)

Por sus caracteres litológicos, paleontológicos y por su posición estratigráfica con respecto a las formaciones Permo-carboníferas, esta formación puede corresponder a la formación "Caño Grande" del "Grupo Cachimiri", según la nomenclatura propuesta por los geólogos que han trabajado en Venezuela.

Al hacer un examen microscópico, las rocas resultan constituidas por un fieltro de laminillas isorientadas de sericita y por una masa muchas veces irresoluble, a veces aparentemente isotropa, en la cual el solo mineral reconocible fácilmente es el cuarzo, quedando en duda la presencia de feldespatos.

El cuarzo se halla en granos diminutos de formas muy irregulares, de baja esfericidad y redondez, muchas veces en pequeños lentejones arqueados, muy pocas veces en cristales automorfos.

Faltan huellas de cataclasis, lo cual está comprobado por la buena conservación de los fósiles.

El conjunto de estos caracteres —falta de cataclasis, ligero metamorfismo, bajo grado de redondez y esfericidad del cuarzo— parece demostrar que estas rocas tienen un origen tobáceo más bien que detrítico.

b) *El Permo-carbonífero.*

b-I) *La formación calcárea.*

Suprayacente al Devónico tobáceo se halla en la misma región una formación calcárea de espesor considerable.

Se trata de calizas grises, que al golpearlas emanan un olor fétido, estratificadas en bancos de un metro o más, muchas veces con abundantes fósiles, que parecen corresponder a la formación venezolana "Palmarito".

Contienen faunas de microforaminíferos pertenecientes probablemente a la familia de las fusulinas, pequeños lamelibranquios, restos de amonitas (¿Orthoceras?), gasterópodos, crinoideos y corales, cuyo estudio detallado permitirá sin duda llegar a la división de la formación en términos de tiempo-roca.

La caliza está en algunas partes disuelta, pudiéndose observar cuevas con estalactitas.

Su origen sin duda es químico-orgánico. Está constituida casi por completo de calcita; la mayoría en diminutos granos, pero también existen algunos cristales mayores con trazas típicas de exfoliación.

Repartidos sin ningún orden dentro de la masa calcárea se encuentran además algunos cristales alotriomórficos de calcedonia, derivada de la cristalización de sílice coloidal.

Además de la facies puramente calcárea, hacen parte de la formación algunos niveles de margas escamosas; lo que tiene interés, porque estos niveles son responsables de algunas complicaciones tectónicas que se observan en el detalle, por haber dado lugar, por su mayor plasticidad, a fenómenos de tectónica de despegamiento.

b-II) *La formación tobácea.*

La parte superior de la serie paleozoica está constituida, al E de Manaure (entre Manaure y San José de Oriente) por rocas de color oscuro y grano finísimo, con fósiles abundantes (crinoideos y corales).

El examen microscópico de este tipo litológico permite reconocer una gran cantidad de granos de cuarzo esparcidos dentro de una mesostasis diminuta absolutamente irresoluble, aun bajo la mayor magnificación microscópica y pequeñas laminillas de minerales filíticos (¿sericita, moscovita?)

El cuarzo tiene a veces formas irregulares, esfericidad y redondez bajas; otras veces es idiomórfico o se encuentra en forma de delgados lentejones, alargados y arqueados. La mesostasis tiene colores de interferencias bajos, relieve variable y a veces parece contener feldespatos; en algunos casos también se presenta parcialmente isótropa.

Las laminillas de minerales filíticos son transparentes con un solo Nicol, tienen colores de interferencia amarillentos y son isorientadas.

Algunas cavidades de forma rómbica, más o menos perfecta, están ocupadas por calcita. Tal como se describió, la roca anterior podría ser considerada una pelita, en la cual, después de una fuerte cataclasis, se ha desarrollado un metamorfismo de bajo grado, pero al concepto anterior se opone la conservación perfecta de los fósiles y la presencia de cuarzo automorfo; se puede pensar, por lo tanto, que esta roca se depositó como toba en ambiente marino, provocando el exterminio de toda forma de vida y que después sufrió un ligero metamorfismo.

Las riodacitas de Urumita-Villanueva.

Una gran masa de riodacita aflora al E de los pueblos de Urumita y Villanueva; afloramientos del mismo tipo se hallan también al W del "Horst" de Socorro; aunque en el valle de Medialuna se encuentre una gran cantidad de cantos rodados de la misma roca. En esta zona nunca se observó la riodacita *in situ*.

La posición estratigráfica de estas rocas es un problema muy delicado. El límite superior está muchas veces marcado por delgados niveles conglomeráticos con elementos riodacíticos, que ya pertenecen a la formación La Quinta, pero, también durante la deposición de La Quinta, como se verá más adelante, hubo manifestaciones efusivas ácidas (tobas); esta masa de lava, por lo tanto, hay que interpretarla como el correspondiente a la parte principal del complejo fenómeno efusivo ya empezado en el Paleozoico.

Por las razones anteriores, aunque nunca se pudo observar la riopacita atravesar a los sedimentos del Paleozoico, es correcto presumir que ella es posterior a los sedimentos paleozoicos, pero anterior a los mesozoicos.

La composición de las riopacitas es sensiblemente constante.

Se trata de rocas masivas, claras o débilmente rosadas, de estructura porfirítica.

Bajo el microscopio, en sección delgada, se observan en una mesostasis diminuta clara, fenocristales de plagioclasa y cuarzo (ortosa y sanidina están subordinados), láminas de biotita decoloradas de dimensiones medias o pequeñas y masas de clorita de forma prismática, en las cuales segregaciones de óxidos de hierro demarcan los bordes y los planos de exfoliación del anfíbol, de cuya alteración la clorita misma deriva.

La mesostasis es difícilmente resoluble: se aprecian abundantes granos de cuarzo; son raros pequeños cristales de plagioclasa, productos laminares, escamosos y a veces fibrosos, con colores de interferencia bajos, que en su mayoría parecen ser cloritas y muchas veces esferulitas.

En algunas partes de esta masa se observan con un solo nicol turbideces que con nicoles cruzados adquieren un color rojizo.

La plagioclasa (oligoclasa) se halla en idiomorfos maclados como la albita. El cuarzo automorfo presenta, especialmente en los cristales mayores, fuertes fenómenos de reabsorción.

Ortosa y sanidina son mucho menos abundantes y tienen, especialmente la sanidina, carácter idiomórfico.

Es muy abundante, por lo contrario, una mezcla eutéctica entre ortosa y plagioclasa, que da lugar a grandes estructuras en las cuales la plagioclasa se halla íntimamente inmersa en la ortosa huésped.

En algunas muestras se encuentra también epidota ferrífera, en cristales de dimensiones medianas a pequeñas, con fuerte relieve y colores de interferencia anómalos y fuertes.

Los accesorios son muy escasos y están representados más que todo por óxidos de hierro y apatito.

EL MESOZOICO

Un importante cambio de las condiciones ambientales demarca el paso del Paleozoico al Mesozoico; a la sedimentación marina se sustituye para largo tiempo una sedimentación continental, hasta que aparezcan otra vez las facies marinas típicas con la transgresión cretácica.

Es probable que unas de las causas que produjeron estas nuevas condiciones sean intrusiones profundas, de las cuales las riopacitas de Urumita-Villanueva serían testigos superficiales. Esta es una interpretación que se basa, sea en las huellas de metamorfismo comprobado en los sedimentos paleozoicos (y ausentes por completo en el Mesozoico) o bien en la discordancia que existe, aunque no siempre observable fácilmente entre estos terrenos, la cual fue anotada también por Kundig en la base de su sección tipo de la formación La Quinta (5), a la cual corresponden, como se verá, los terrenos mesozoicos precretácicos del valle del río Cesar.

1) *Mesozoico inferior (Juratriásico). Formación La Quinta.*

Esta formación consiste en sedimentos de origen continental, de edad precretácica, por lo general de color rojo. Estos sedimentos son desde hace tiempo familiares a los geólogos colombianos, para quienes constituyen genéricamente la formación Girón. Existe cierta ambigüedad acerca del significado y de la posición estratigráfica de esta formación, que nunca ha sido bien definida. Esta ambigüedad, que en los últimos años ha ido aumentando, se debe en particular a los descubrimientos paleontológicos de Brükner (2) en el "Girón" del Departamento de Santander, los cuales indicarían una edad carbonífera.

Al contrario, la secuencia continental o subcontinental de la Serranía de Perijá está limitada entre el Paleozoico Superior y el Cretácico; por lo tanto, corresponde estratigráficamente a la formación La Quinta de los autores venezolanos, a la cual también corresponde, en cuanto se refiere a ambiente sedimentario y contenido de materiales volcánicos.

Una descripción detallada de esta formación es muy difícil: las rocas presentan macroscópicamente un aspecto muy uniforme; el contenido paleontológico es muy escaso y por lo general ausente, así que faltan en el terreno niveles guía que permitan reconocer con seguridad sus diferentes partes, desplazadas por la tectónica terciaria.

Por otra parte, una descripción de este tipo, además de sobrepasar los límites de este trabajo, probablemente no sería muy útil, debido al carácter mismo de la formación.

A continuación nos limitaremos por lo tanto a caracterizarla, indicando sus facies más características, y en particular aquellas susceptibles de aportar luces acerca de la geología regional.

El carácter de esta formación es prevalentemente arenáceo, pero, además de las rocas de origen puramente detrítico, son muy abundantes las de origen volcánico y las rocas híbridas, que resultan de la íntima asociación de una parte arenosa y de una volcánica.

En conclusión, se pueden reconocer las siguientes facies:

- a) Conglomerados;
- b) Areniscas y rocas volcánicas ácidas recrystalizadas;
- c) Areniscas;
- d) Tobas interestratificadas con areniscas;
- e) Areniscas, tobas y lavas básicas.

a) *Los Conglomerados.*

Conglomerados con guijarros de lavas ácidas son comunes en la base de las areniscas, cerca al contacto con las riodacitas, y deberían corresponder a la parte inferior de la formación. Se trata, por lo general, de unidades de poco espesor, en las cuales, empotrados en una matriz arenosa rojiza, sobresalen, por su color claro, elementos redondeados de roca volcánica.

Estos conglomerados se pueden observar, por ejemplo, a lo largo del camino que va desde Urumita al punto geodésico N^o 597, y del que de Villanueva llega hasta la localidad llamada Africa y al W del "Horst" del Socorro.

b) *Rocas volcánicas ácidas recristalizadas asociadas con areniscas.*

En el contacto (de falla) con el "Horst" del Socorro se hallan, asociadas a las areniscas, rocas de origen volcánico, en las cuales se pueden reconocer dos facies: tobas ácidas recristalizadas y micropegmatitas que provienen de la devitrificación de un vidrio ácido antiguo.

A pesar de que faltan elementos seguros de correlación, parece lógico pensar que debido a que el volcanismo mesozoico siempre es muy básico, estas rocas correspondan a una parte basal de la formación La Quinta y que representen el último producto de la actividad volcánica que había llegado al máximo en el Paleozoico.

b') *Las tobas recristalizadas.*

Se trata de rocas claras, de estructura porfirítica, la que se debe a la presencia de fenocristales feldespáticos de color rosado en una mesostasis diminuta, que con facilidad se puede confundir con verdaderas lavas. Proviene de la consolidación de los productos eruptivos volcánicos muy finos, y tienen carácter de "welded tuffs".

Con el examen microscópico se reconocen: una matriz diminuta, cuarzo en granos diminutos que deriva de procesos de devitrificación, cristales mayores de cuarzo automorfo, plagioclasa ácida con la macla de la albita (oligoclasa), feldespato potásico, "lapilli" fisurados debido al enfriamiento, algunas láminas de biotita muchas veces decoloradas, clorita y apatito como accesorios. En algunos puntos se hallan, cementadas en la mesostasis, algunas pequeñas masas compuestas esencialmente de microlitos de plagioclasa, que se pueden interpretar como material solidificado en la chimenea volcánica y expulsado en el momento de la erupción.

Se encuentra, además, calcita cristalina en filoncitos no orientados que a veces se hinchan en formas irregulares. Es muy probable que esta calcita se deba a la recristalización de material calcáreo depositado junto con las tobas, en cuyo caso indicaría deposición de las tobas en ambiente acuático, en vez que una inyección posterior.

La roca contiene también restos orgánicos: madera silicificada, perfectamente reconocible por su típica estructura, y glóbulos de naturaleza aparentemente vegetal, muchas veces rodeados por una corona de cuarzo secundario, raramente sustituidos por calcedonia. El conjunto de estos caracteres indica deposición de las tobas en ambiente subcontinental.

b'') *La micropegmatita.*

Es una roca que deriva de la devitrificación de un antiguo vidrio.

Tiene grano fino y color rojizo. Se compone de cuarzo, ortosa y plagioclasa ácida (albita). La ortosa y la plagioclasa son idiomórficas y macladas; la ortosa presenta maclas de Karlsbad, y la plagioclasa polisintéticas o de la albita-periclina.

Al observar a través del microscopio con un solo nicol, ambos feldespatos presentan un aspecto turbio, debido a un comienzo de alteración.

La ortosa es mucho más abundante que la plagioclasa.

El cuarzo, alotriomorfo, cementa y penetra a los feldespatos, dando lugar a una estructura de interpenetración con las formas más complejas.

Localmente, en esta masa fundamental, se encuentran esferulitas. Los accesorios más difundidos son apatito y granos de material opaco, probablemente óxidos de hierro.

Esta roca se halla en filoncitos irregulares atravesando las areniscas.

c) *Las areniscas.*

Parece ser esta la facies más abundante en la formación La Quinta. Son areniscas rojas, compactas, de grano fino, de fractura conoidea, que se pueden clasificar como "red-beds" estratificados en bancos de espesor variable.

Su composición mineralógica es más bien uniforme.

Cuarzo, en granos poco redondeados, y feldespatos, especialmente sódico-cálcicos ácidos, constituyen la casi totalidad de la roca. El cemento puede ser ferruginoso, calcáreo-ferruginoso, calcáreo o arcilloso. El diámetro medio de los granos no pasa los 0,1 mm. Lo descrito anteriormente es el tipo litológico predominante, pero son muchas las particularidades observables en los estratos.

La estratificación cruzada es frecuente y es necesario hacer resaltar que ésta se observa preferentemente a medida que se nota aumento de la granulometría, en más o menos delgados niveles rudáceos.

Otro carácter importante es la presencia de conglomerados locales, con elementos angulosos, poco clasificados, que no están separados de ningún tipo intermedio de la roca fina en la cual se hallan inmersos y que hacen pensar en una sedimentación especial, debido a corrientes rápidas, ocasionales.

La definición precisa del ambiente en el cual estas rocas han sido depositadas es un problema que presenta ciertas dificultades.

La relativa constancia de la granulometría, junto con la fineza del grano, hacen pensar muchas veces en sedimentos eólicos.

La presencia de feldespatos, poco o no alterados, sugiere condiciones áridas, porque en clima diferente éstos hubieran sido alterados.

Lo dicho hace pensar en un ambiente desértico, en cuyo caso las facies conglomeráticas, tratadas anteriormente, se podrían explicar como producidas por corrientes originadas por lluvias torrenciales poco frecuentes.

A la tesis anterior se oponen dos hechos, a saber:

Primero: que recientemente se ha reconocido que suelos rojos se forman hoy en día en regiones calientes y húmedas, es decir, en condiciones de oxidación rápida.

Segundo: presencia de más o menos abundante cemento calcáreo, que parece difícil explicar por completo con fenómenos diagenéticos sobre una parte calcáreo-clástica derivada de la erosión de los terrenos paleozoicos.

En último análisis, si se tienen en cuenta todas estas observaciones, el ambiente deposicional de la formación La Quinta parece haber sido un ambiente subcontinental de clima caliente, en parte probablemente sub-

aéreo o quizá sometido a fuertes variaciones estacionales de humedad, en parte cubierto por aguas bajas, en su mayoría dulces o salobres.

d) *Tobas interestratificadas con areniscas.*

Existen intercalaciones tobáceas en diferentes niveles de la serie arenácea, las cuales se reconocen con dificultad en el terreno, porque no se diferencian de las areniscas por ningún carácter macroscópico. Son constatables únicamente por examen microscópico.

Se componen de una mesostasis diminuta en la cual están inmergidos pequeños cristales de cuarzo automorfo, feldespatos y minerales filíticos, especialmente láminas de biotita, que faltan por lo general en las rocas detríticas.

No se observan los fenómenos de recristalización y devitrificación que caracterizan las rocas piroclásticas descritas a comienzo de este capítulo y que aparecen en la base de la formación La Quinta.

e) *Las volcánitas asociadas a los sedimentos de La Quinta.*

Se trata de rocas volcánicas o básicas, de carácter prevalentemente andesítico, muchas veces con tendencia basáltica.

Se hallan intercaladas en los sedimentos ya descritos, en unidades stratigráficas concordantes y discordantes, representando por lo tanto un fenómeno efusivo posterior, por lo menos en una parte de la sedimentación de los terrenos clásticos de la formación La Quinta, anterior al Cretáceo calcáreo suprayacente, si se tiene en cuenta que esta formación no tiene intercalaciones de lavas.

Estas rocas se hallan de una manera especial a lo largo de una franja más o menos continua desde el Cerro Quitafrió (Sur de San Diego) hasta Urumita. Manifestaciones, menos importantes y no continuas, se encuentran tanto al Norte como al Este de los relieves de la Serranía de Perijá propiamente dicha.

Por ser estas rocas la sede de las manifestaciones cupríferas, cuyo estudio ha sido el motivo primordial de este trabajo, su descripción será tratada con más detalle en el capítulo dedicado al estudio de las mineralizaciones.

2) *Mesozoico superior. - Cretácico.*

Otro importante cambio paleogeográfico demarca el paso al Mesozoico superior. El ambiente continental que había ocasionado por largo tiempo la sedimentación de la formación La Quinta, es invadido por el mar cretácico y contemporáneamente termina la actividad volcánica.

a) *La formación detrítica.*

La parte inferior del Cretácico está constituida por una formación detrítica que corresponde al comienzo de la transgresión.

Cuando no se encuentran verdaderos conglomerados, resulta muy difícil diferenciarla de los sedimentos de la formación La Quinta, con la cual tiene en común muchos caracteres.

Estratigráficamente, corresponde a la formación Río Negro de los geólogos venezolanos.

Probablemente también hacen parte de esta formación los sedimentos clásticos que se encuentran, como base del Cretácico calcáreo, en la carretera de San Diego a Manaure, en donde se hallan asociados conglomerados y areniscas finas bien estratificadas y plegadas.

b) *La formación calcárea.*

Concluida así la transgresión marina, empieza la sedimentación cretácica en su forma más típica, químico-orgánica, dando origen a una formación calcárea.

Se trata de calizas gris-claras, con un gran contenido fosilífero. Entre las muchas faunas fósiles que estas calizas contienen, son característicos particularmente unos pelecípodos de abundante ornamentación, gracias a los cuales estas calizas siempre se pueden diferenciar perfectamente de las paleozoicas.

Localmente en la masa calcárea se observan (por ejemplo cerca de Manaure) particularidades sedimentarias, como bloques redondeados, en el interior de niveles margoso-escamosos, que hacen pensar en una sedimentación bajo condiciones especiales, probablemente corrientes de turbidez.

Las calizas constituyen por lo general sinclinales interrumpidos por fallas, yacentes sobre la formación La Quinta, y también sobre formaciones más antiguas, en particular sobre la riodacita.

Debido a las dislocaciones terciarias, se encuentran las calizas desde el valle del río Cesar, hasta las más altas estribaciones de la Cordillera (por ejemplo, en el Cerro Colorado).

EL CENOZOICO

Las terrazas del río Manaure.

Importantes terrazas se encuentran en la parte inferior del río Manaure, entre el pueblo homónimo y su confluencia en el río Cesar.

Se trata de una formación reciente, posiblemente de edad pliocénica, porque el ciclo de erosión cuaternario dejó abundantes huellas en la morfología de esta misma formación.

Están constituídas por diferentes materiales, especialmente cantos rodados de andesita, riolita, esquistos, cuarcitas y areniscas, mal cementados, pero también se encuentran algunos niveles de areniscas cuarzosas perfectamente cementadas, cuyo origen no ha sido bien entendido.

Conclusiones: Geología Histórico-Tectónica.

De acuerdo con los resultados de nuestros trabajos, la historia geológica de esta parte de la Serranía de Perijá comprende las etapas siguientes:

La sedimentación marina del Paleozoico, con predominio de facies calcáreas.

El volcanismo tuvo varias erupciones durante este período, lo cual se manifiesta por intercalaciones tobáceas en los sedimentos marinos.

Al final del Paleozoico, tuvo lugar una fase tectónica que produjo deformaciones de gran amplitud, acompañadas de fracturas en la cubierta Paleozoica. En esta era no parecen existir plegamientos propiamente dichos. Tal vez es esta una de las razones por las cuales las direcciones paleozoicas no aparecen claramente en nuestro mapa geológico. De otra parte, es difícil precisar cuáles son las fallas que pertenecen a este ciclo tectónico, debido a que la mayor parte de ellas han sido puestas otra vez en movimiento por la tectónica terciaria.

Aproximadamente en la misma época se sitúa la erupción de las riolacitas (Media Luna, Manaure, Urumita, Villanueva).

Discordancia y deposición de las areniscas rojas de la formación La Quinta sobre un relieve riolítico no completamente erodado.

Hacia la parte final de la deposición de las areniscas rojas, erupción de lavas con tendencia básica, que pueden causar basculamientos en la formación La Quinta.

Transgresión del Cretáceo, que empieza hacia el final del Jurásico con deposición de facies de transición. Todas las formaciones precedentes están cubiertas por esta transgresión.

Tectónica terciaria que causó el levantamiento de la Serranía, en bloques limitados por grandes accidentes longitudinales, que se encuentran en ambas vertientes de la cadena montañosa. La tectónica terciaria no produjo plegamientos propiamente dichos.

Los accidentes mayores tienen aproximadamente la misma orientación de la cadena montañosa. En nuestro mapa geológico están representados por la gran *falla Botella-Manaure*, que hace subir al Este terrenos de edad paleozoica, fuertemente milonitizados en la zona de Manaure. Esta falla desvía al Sur de Manaure, para tomar rumbo SSE. Todo el bloque situado al Este de la falla Botella-Manaure ha sido levantado conservando las diferentes formaciones en su posición stratigráfica y produciendo así la estructura general de la parte central de la cadena montañosa paralela a Manaure. Esta estructura aparece como un sinclinal "perché" Mesozoico (La Quinta y Cretáceo) yacente en discordancia sobre el Paleozoico.

Esta estructura general está acompañada por múltiples accidentes secundarios, que ha sido imposible detallar a la escala a la cual se hizo el trabajo.

En la región de Socorro (San Diego-Medialuna) el Paleozoico forma un pequeño "horst" al interior de los estratos rojos de La Quinta.

Cierto número de accidentes de rumbo EW también aparece en el estudio fotogeológico. Resulta difícil pronunciarse acerca de la edad exacta de estas fallas. Algunas pueden ser contemporáneas, otras posteriores de la grande fase tectónica.

A este propósito la gran terraza de Manaure indica que algunos movimientos tectónicos se produjeron en tiempos bastante recientes. Es posible se trate de un rejuvenecimiento de fallas EW antiguas; este rejuvenecimiento y el basculamiento reciente pueden explicar también el afloramiento anómalo de zonas mineralizadas de diferente profundidad (zonas oxidadas menos elevadas que las de cementación).

P A R T E I I

LAS MINERALIZACIONES CUPRIFERAS

Generalidades.

Indicios de mineralización cuprífera se encuentran en una vasta zona del valle del río Cesar y en el Alto Magdalena, y en la Baja Guajira. La zona mineralizada se extiende desde el Municipio de Codazzi (Magdalena) hasta el de Molino (Guajira) sobre una longitud de aproximadamente 100 kms.

Los indicios principales se hallan en la vertiente occidental de la Serranía de Perijá; otros de menor importancia se hallan, en la misma situación geológica, a lo largo del borde meridional del Macizo de Santa Marta, en la localidad Camperucho, en donde existen trabajos mineros de pequeña entidad, ya abandonados y en su mayoría derrumbados.

De todas maneras el mayor número de localidades que presentan afloramientos de rocas mineralizadas se halla en la vertiente oriental del valle, es decir, en las estribaciones de la Serranía de Perijá.

Las localidades más importantes, de Sur a Norte, son: San José, entre Codazzi y San Diego, en donde existen algunas trincheras de pequeñas dimensiones en la localidad de Quitafrió. El Seno, al Este de San Diego; Zeppelin, al Noreste de San Diego; el Ovejo, entre La Paz, Manaure y San Diego, dentro del valle del río Manaure; Gallinazo, al Este de Urumita; La Botella, al Este de Villanueva, en donde existen algunos túneles abandonados; y la localidad situada al Este de Molino y al Noreste de Villanueva.

Entre éstos, los más interesantes y que por lo tanto serán tratados con mayor detalle, son: los de San José-Quitafrió, el Seno, Zeppelin y Ovejo, los cuales obviamente representan diferentes manifestaciones de una sola provincia geológico-minera.

- 1) *Las localidades mineras principales (San José, el Seno, Zeppelin, Ovejo).*

Geología y Petrografía.

La región estudiada está constituida por las rocas arenáceas de la formación "La Quinta", las cuales están atravesadas por manifestaciones volcánicas e hipoabisales (con manifestaciones metálicas), que, en sentido geológico, se pueden interpretar como el producto de un volcán compuesto lineal o de fisura.

Por encima de estos terrenos yace en discordancia el Cretáceo calcáreo, estéril en cuanto se refiere a la mineralización.

Las lavas son de tipo andesítico, con tendencia basáltica de color rojizo. Ellas constituyen el techo de las facies hipoabisales y atraviesan, interstratifican o intruyen las areniscas, dando lugar a áreas donde se pueden observar asociaciones íntimas entre roca volcánica y arenisca, en casi igual cantidad.

También la composición de las rocas hipoabisales varía de diorítica a gábrica.

Establecido así el cuadro general de la zona mineralizada, se pasa a continuación a examinar por separado las diferentes localidades que en detalle presentan ciertas diferencias.

a) *San José-Quitafrió.*

La serie geológica local está constituida por microgabros cuarcíferos cubiertos por lavas y por sedimentos arenáceos de la formación La Quinta.

Los microgabros cuarcíferos constituyen gran parte de la colina de San José y reaparecen más al Oeste en el pequeño relieve de Quitafrió.

Estas rocas tienen estructura holocristalina ipidiomórfica y presentan carácter ligeramente traquítico en la disposición de los cristales alargados de plagioclasa. El grano es medio a fino.

Al estudiarse al microscopio, resulta la siguiente composición mineralógica:

Componentes esenciales: plagioclasa, piroxeno uralitizado (?), clorita originada de la alteración de olivino y anfíbol, cuarzo y ortosa.

Accesorios: apatito, circón, titanita, siderita, minerales de cobre, óxidos de hierro.

La plagioclasa se halla en idiomorfos alargados, por lo general maclados según albita y pertenecen a dos generaciones; los fenocristales de primera generación tienen composición de 50 An, mientras que los cristales menores de la segunda son más ácidos (35-40 An).

Cuarzo y ortosa se hallan en la roca en cantidad subordinada con respecto a la plagioclasa.

La ortosa forma cristales de pequeñas dimensiones, y por lo general no tiene maclas. Muchas veces se halla asociada con cuarzo, constituyendo material intersticial de carácter micropegmatítico; en este caso ambos minerales se originaron de la devitrificación de un vidrio que representa la parte más ácida de la roca.

Por cuanto se refiere a los minerales coloreados, se reconocen penina, con colores azulosos de interferencia, y un mineral con trazas muy finas de exfoliación, bastante relieve, incoloro con un solo nicol, con colores de interferencia a veces amarillos anaranjados, otras veces más elevados e irregularmente repartidos, ángulo de extinción $Z:c$ variable entre 20° y 40° , que se puede interpretar como piroxeno más o menos completamente uralitizado. Es posible que la alteración hidrotermal, si no ha sido completa, también haya seguido el desarrollo: piroxeno-anfíbol (uralita)-clorita. Se reconocen además varios fenocristales de olivino, por lo general completamente alterados a antigorita.

Entre los accesorios merece recordar la siderita, de la cual se encuentran algunos granos alotriomórficos y que es de origen tardío.

Las lavas que cubren estas rocas hipoabisales son andesitas piroxeno-olivínicas con tendencia basáltica, de estructura microlítica, por lo general de color gris-rojizo.

Su composición mineralógica es la siguiente:

Minerales esenciales: Plagioclasa en gran cantidad, piroxeno y olivino alterado a clorita.

Accesorios: ortosa, cuarzo, minerales metálicos, calcita, esferulitas. La plagioclasa tiene composición 50 An en algunos fenocristales, 35 An en los cristales menores.

El *Piroxeno*, casi incoloro y con bastante relieve con un solo nicol, es una augita con ángulo de extinción $Z:c = 35-40^\circ$.

Como olivino original se interpretan algunos cristales con la forma característica de los de este mineral, completamente alterados a antigorita, que contienen además abundantes segregaciones de óxidos de hierro.

La *ortosa* se halla en pequeños cristales, a veces con la macla de Karlsbad. El *cuarzo* es intersticial y se encuentra en granos diminutos. La calcita es secundaria.

b) *El Seno*.

Faltan en esta localidad las facies hipoabisales y las areniscas están atravesadas sólo por rocas efusivas, las cuales presentan cierta variabilidad de punto a punto.

En el arroyo del Potrero se hallan andesitas con textura microlítica y con cristales vidriosos y vacuolares mostrando la misma orientación.

Al microscopio, estas rocas resultan constituidas esencialmente por microlitos de plagioclasa (35-40 An), inmersos en una masa vidriosa rica en productos ferruginosos de color rojizo, y de algunos cristales de olivino alterados a clorita; los minerales accesorios son: clorita, calcita, turmalina y óxidos de hierro; de éstos, parte de la clorita, la calcita y la turmalina son de origen tardío.

La clorita se encuentra como producto de alteración de minerales ferromagnesianos, en cuyo caso se trata por lo general de la variedad penina, o también al borde de la calcita entre ésta y la masa fundamental de la roca. En el segundo caso se trata de una variedad incolora que se halla en pequeñas láminas irregulares.

La turmalina, de la cual se tratará en detalle al hablar de las gangas, cristaliza especialmente en las vacuolas de la roca.

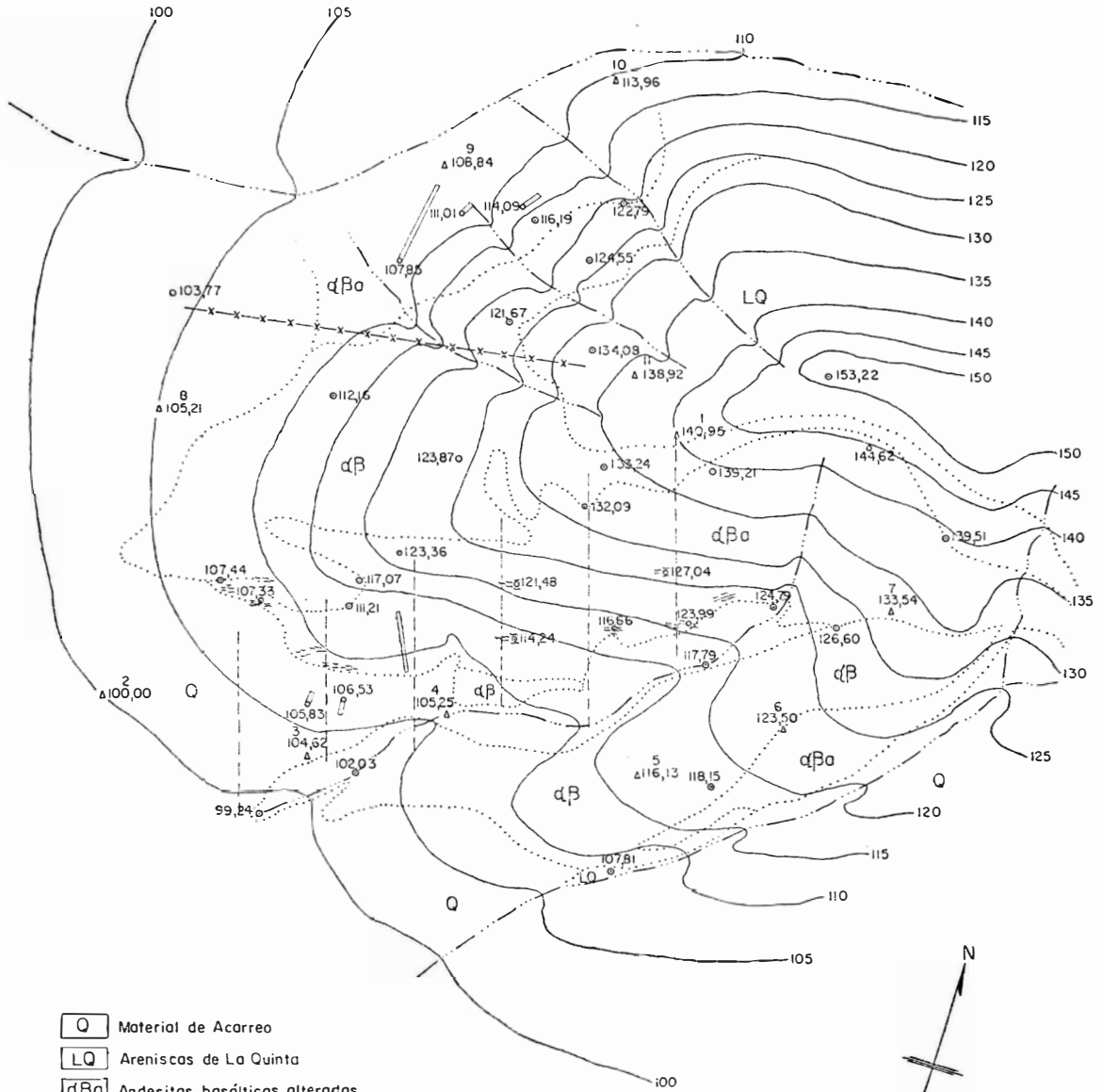
En las cercanías de la finca de El Seno, en ambas vertientes del valle, las lavas tienen menor cantidad de vidrio, son más compactas y no vacuolares; presentan estructura microlítica y las texturas fluidales se hallan sólo en algunos puntos, en tanto que en otros los microlitos de plagioclasa, que también aquí es el mineral más abundante, tienen orientación irregular. En estas rocas también se encuentra clorita, y la calcita está por lo general ausente; se observan abundantes granos y filoncitos de epidota ferrífera, y además se encuentra turmalina rellenando microfracturas.

En las facies fluidales se observa que la corriente ha sido interrumpida por la presencia de óxidos de hierro de segregación magmática, alrededor de los cuales están dispuestos los microlitos de plagioclasa.

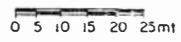
Hacia la localidad La Riga, las volcanitas presentan características y facies diferentes, es decir, estructura microporfírica, que se debe a la presencia de fenocristales feldespáticos en una masa menuda y parcialmente vidriosa que contiene abundantes esferulitas.

Los fenocristales están en la realidad constituidos de un agregado, muchas veces alterado, en el cual predomina la plagioclasa, a la que se asocia el feldespato potásico distribuido irregularmente.

MAPA PRELIMINAR DEL SENO DEPTO. DEL MAGDALENA



- Q Material de Acarreo
- LQ Areniscas de La Quinta
- αβa Andesitas basálticas alteradas
- αβ Andesitas basálticas
- Lentejones cupríferos epidotizados
- - - - - Líneas de muestreo geoquímico
- Trinchera
- · - · - Arroyo
- ▲ 112,2 } Estaciones levantamiento topográfico, con su elevación s.n.m.
- 99,24 }



Dibujó: Clara Q. de Paule

La masa fundamental es diminuta y se reconoce en ésta: granos de augita, cloritas, granos de cuarzo, óxidos de hierro, esferulitas y vidrio.

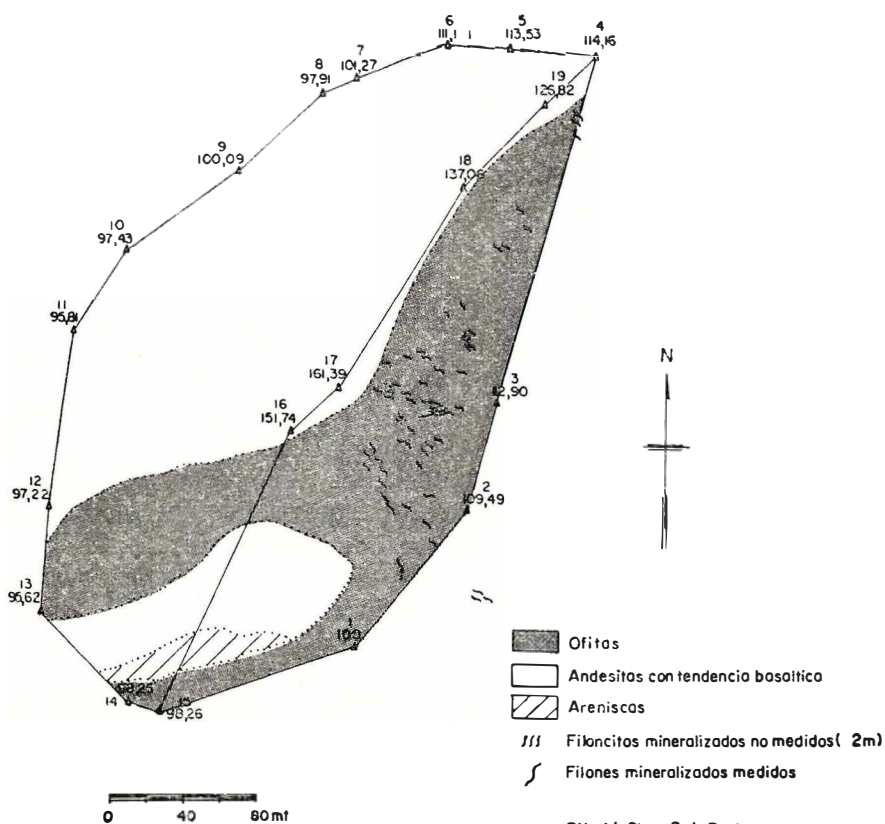
Son muy evidentes en la roca las huellas de una clastesis que permitió la invasión de cuarzo automorfo y de calcita; con este mismo hecho dinámico parecen estar relacionadas las manifestaciones cupríferas que se hallan próximas a estas rocas en las areniscas de la formación La Quinta.

c) Zeppelin.

La pequeña colina de Zeppelin está constituida por ofitas, cubiertas por lavas y por paquetes de areniscas de la formación La Quinta, incluidas en las rocas cristalinas, cuyo contacto está demarcado por calcita cristalina de origen tardío.

Las ofitas (diabasas olivínicas) están ubicadas en la vertiente Este de la colina. Son rocas de color oscuro, de grano fino, que a causa de la acción atmosférica meteorizan en bolas más o menos redondeadas.

CROQUIS GEOLOGICO DE LA COLINA DE ZEPPELIN



La estructura de estas rocas es microdiabásica, lo cual se debe a un acceso de plagioclasas, entre las cuales se alojan cristales de augita. Además de plagioclasa y piroxeno, se encuentran, entre los componentes de estas rocas, fenocristales de olivino, por completo alterados a serpentina laminar (antigorita).

La plagioclasa tiene composición de labradorita y se presenta en microlitos maclados, según albita.

La augita se halla en granos alotriomórficos, incoloros con un solo nicol, amarillentos bajo nicoles cruzados y con ángulo de extinción $Z:c = 40^\circ$.

Las lavas tienen textura intersertal y caracteres intermedios entre los de una andesita y de un basalto.

Se componen casi por completo de microlitos de plagioclasa básica (andesina-labradorita), entre los cuales se aloja vidrio, granos de óxidos de hierro, algunos diminutos granos de epidota ferrífera y pocos cristales de olivino por completo alterado a clorita (antigorita).

d) *El Ovejo.*

Las rocas que afloran en esta localidad son muy parecidas a las descritas. Son rocas básicas hipoabisales con las mismas formas de meteorización que las de Zeppelin, lavas básicas y areniscas.

Hay que hacer resaltar que en la vertiente W de la colina, las lavas, además de atravesarlas, han penetrado íntimamente las areniscas, dando lugar muchas veces a rocas híbridas, en las cuales, algunas porciones de areniscas se hallan incluídas en la roca volcánica, dando lugar a una especie de red.

Aspecto de las mineralizaciones.

Las manifestaciones cupríferas que se hallan en este sector en las rocas ígneas, aunque difieren ligeramente una de otra en los minerales presentes y en la roca encajante (rocas hipoabisales, rocas efusivas), son muy parecidas en la forma y en el tipo.

En el terreno se presentan de la siguiente manera:

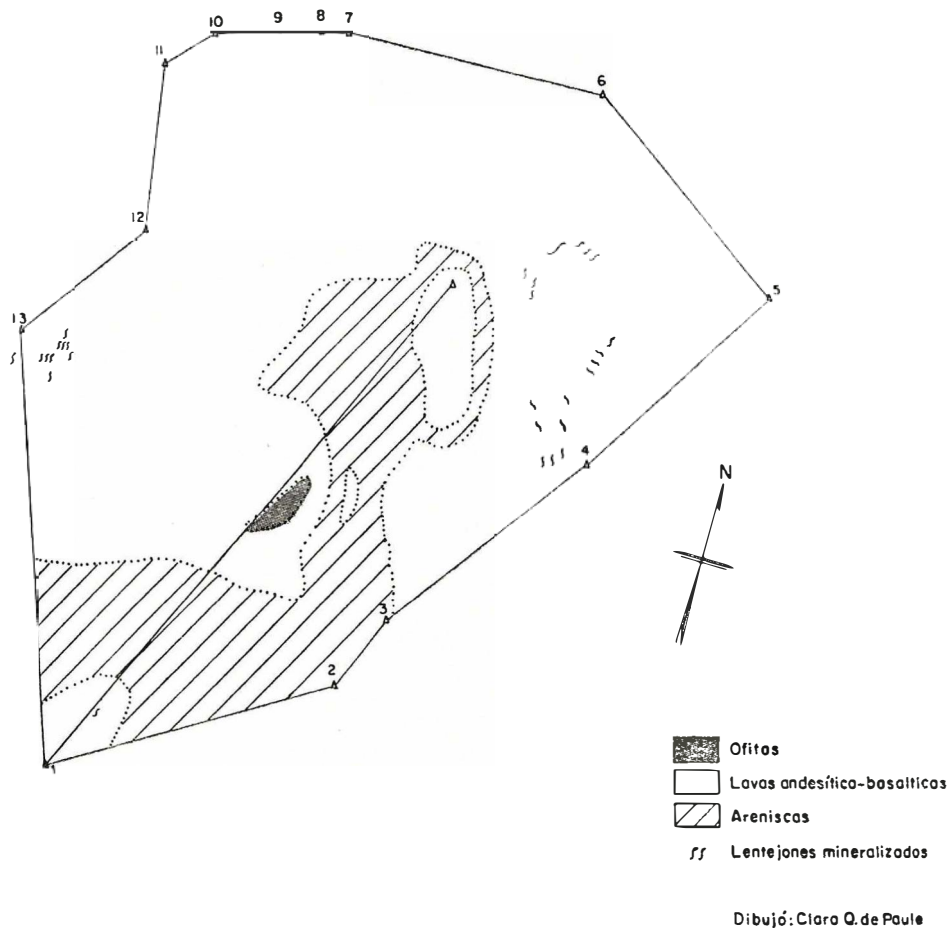
En las rocas ígneas intercaladas en la formación La Quinta se observan áreas más o menos extensas, de un color claro con un ligero tinte verdoso, en las cuales la roca está muy alterada y friable.

En estas zonas se desarrolló la mineralización (revelada actualmente por pequeños lentejones de diferentes dimensiones), de una roca por completo epidotizada y silicificada, que muy pocas veces alcanzan los 15-20 metros de longitud y los 40-50 cms. de espesor.

Por lo que se observa en algunas trincheras ejecutadas, no parece que estos lentejones o filoncitos continúen en la profundidad. Ellos por lo general se terminan a pequeña distancia de la superficie, así que se puede pensar que su tercera dimensión alcance como máximo a algunos metros.

El rumbo general de estos cuerpos es E-W. Siempre tienen "sola-pas" perfectamente reconocibles y sobresalen de la roca volcánica normal por su mayor dureza, debida probablemente a la fuerte silicificación secundaria.

CROQUIS GEOLOGICO DE LA COLINA DE EL OVEJO
(SERRANIA DE PERIJA)



Esta observación explica también el porqué se conservan en el interior de los lentejones los minerales de cobre: las aguas superficiales no pudieron en realidad circular fácilmente en esta roca compacta, y sólo provocaron fenómenos de oxidación, sin transporte hacia abajo de todos los minerales disueltos. Se encuentran por lo tanto en estos filoncitos casi solamente minerales oxidados, especialmente carbonatos hidratados (azurita y malaquita), óxidos (cuprita y tenorita), y cobre nativo. Los sulfuros son muy escasos, y con cierta frecuencia sólo se encuentra calcocita en el Cerro del Ovejo, en tanto que los sulfuros primarios (calcopirita, bornita, cubanita) están casi completamente ausentes.

Es necesario observar que no todos los lentejones epidotizados contienen minerales de cobre y que no en todas las zonas de rocas volcánicas alteradas se hallan lentejones epidotizados. Se encuentran muchas veces zonas con rocas volcánicas alteradas por completo o casi sin lentejones epidotizados (en particular entre El Seno y Zeppelin) y otras con muy escasos lentejones epidotizados y casi todos estériles.

Alteración de las rocas ígneas.

En la zona en examen las rocas ígneas se presentan, como ya se dijo muchas veces, profundamente alteradas.

Esta alteración afecta a veces extensas áreas (por ejemplo, valle entre La Riga y Zeppelin). Otras veces la alteración se observa en zonas más reducidas, de formas irregulares, interrumpidas por zonas de roca no alterada, o también estratos volcánicos intercalados en los terrenos arenáceos. Son éstas, como se dijo, las zonas en las cuales se desarrolló la mineralización.

Las soluciones hidrotermales, en realidad, además de aportar los minerales cupríferos, han provocado en la roca una alteración profunda, así que su color y su compactación han sido variados notablemente con respecto a la roca fresca. Se presentan con un color verde claro, verde claro grisoso o también blancuzco, y siendo completamente descompuestas, su estudio microscópico resulta prácticamente imposible.

En estas rocas no se encuentran por lo general minerales de cobre, que, por su fácil lixiviabilidad, han sido transportados a zonas más profundas. Sin embargo, se encuentran en cantidad relativamente abundante minerales oxidados de hierro, como goetita, limonita, etc., los cuales son característicos de las partes superiores de todos los yacimientos metálicos y, en particular, de los yacimientos cupríferos, por derivar sus óxidos de la descomposición de la calcopirita, debido a la circulación de aguas superficiales.

La presencia de estas zonas alteradas indica por lo tanto un fenómeno hidrotermal mucho más grande que el señalado por las manifestaciones cupríferas filonianas.

La magnitud de la mineralización no se debe limitar *a priori* por lo que se puede ver en la superficie, porque aun en el caso de una impregnación metálica primaria débil, este tipo de roca podría haber facilitado una concentración supergénica grande.

Las mineralizaciones.

Del estudio microscópico de varias secciones pulidas, obtenidas de muestras colectadas en las localidades estudiadas, resulta que los minerales cupríferos se hallan en lentejones epidotizados, en forma de impregnación.

Los fenómenos de sustitución de los minerales de la roca encajante son muy escasos, pero son más desarrollados entre los diferentes minerales metálicos, y entre éstos y las gangas, debido a los fuertes fenómenos de oxidación.

El esquema general de la impregnación es el siguiente:

Al principio hubo la formación de muchas fracturas pequeñas, debidas al enfriamiento relativamente rápido de la roca y a la fuerte alteración hidrotermal que se produjo inmediatamente antes de la mineralización que tuvo como consecuencia un gran aumento de la porosidad y permeabilidad en las rocas. Así se abrió el camino para que las soluciones mineralizantes circularan y depositaran sus sales metálicas.

El resultado de esta mineralización fue el relleno de las pequeñas cavidades existentes en la roca y la sustitución de algunos minerales

silíceos por sulfuros primarios de hierro y cobre. Después estos sulfuros, por acción de las aguas oxidantes en circulación, fueron transformados en óxidos, carbonatos hidratados y cobre nativo, que son los minerales que se encuentran en el presente.

La mineralización descrita es por lo tanto parecida al tipo "Disseminated Copper", la cual es el resultado de la impregnación de extensas zonas de rocas cristalinas con pequeñas concentraciones de sulfuros de cobre y hierro, que debido a fenómenos de oxidación, lixiviación y enriquecimiento supergénico pueden dar origen a cuerpos de concentración mineral, económicamente explotables en forma de "manto". El "manto" económico puede hallarse a diferentes profundidades, lo cual es función de las condiciones climatéricas y paleoclimatéricas de la región. Su límite superior es por lo general bien definido, en tanto que el inferior se desvanece hacia la zona de los sulfuros primarios.

En el caso de la Serranía de Perijá, donde toda la roca volcánica es alterada, friable y porosa, puede que haya tenido origen una mineralización de este tipo; en tal caso, a la mineralización primaria habría seguido el enriquecimiento de cobre, fenómeno muy común en los yacimientos de este mineral, especialmente en los del tipo "Disseminated Copper".

Este fenómeno se debe a la circulación, en el terreno, de aguas ricas en oxígeno y en carbonato, las cuales ejercen una fuerte acción oxidante y disolvente sobre sulfuros.

Estos son transformados en sulfatos y luego disueltos.

La presencia de carbonatos y bicarbonatos en las aguas superficiales favorece la precipitación de los carbonatos hidratados de cobre, tipo malaquita y azurita, en las zonas más altas del yacimiento, mientras que donde hay abundancia de oxígeno, se forma cobre nativo y óxidos tipo cuprita y tenorita.

En la zona inferior llamada de cementación, en la cual ya falta el oxígeno, el cobre es precipitado de las soluciones ricas en sulfatos que provienen de la zona de oxidación en forma de sulfuro (calcocita y covelita).

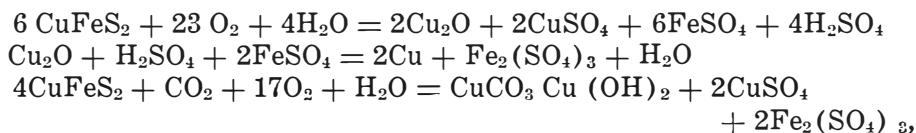
La presencia de sulfuros primarios de hierro y cobre facilita esta precipitación, sea por metasomatosis, o bien por acción del ácido sulfídrico proveniente de su disolución.

Los sulfatos de hierro que acompañan a los de cobre, en las soluciones en "descensum", se enriquecen progresivamente, debido a la precipitación del cobre, hasta llegar a un estado de equilibrio que da lugar a su propia precipitación.

Se forma así, por debajo de la zona con calcocita, una zona con sulfuros dobles de hierro y cobre, más ricos en cobre en la parte superior y en hierro en la inferior. En otras palabras: la zona de cementación está formada, de arriba hacia abajo, de una primera zona con calcocita; luego una segunda, en la cual prevalece la bornita; después una tercera, en la cual prevalece la calcopirita, y de ésta se pasa por grados a la zona con sulfuros primarios no enriquecidos.

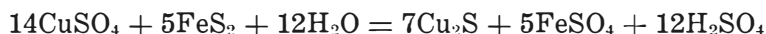
Las reacciones químicas que se producen durante estos procesos no son todavía bien conocidas. De todos modos, el proceso se puede indicar en la forma siguiente:

a) Para la zona de oxidación:



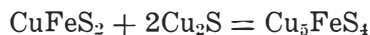
en donde se ve cómo al empezar con la calcopirita, en ambiente superficial rico en oxígeno, agua y anhídrido carbónico, se obtienen malaquita, cuprita, cobre nativo, ácido sulfúrico y soluciones ricas en sulfatos de hierro y cobre.

b) Para la zona de cementación:



El sulfato de cobre que proviene de la zona de oxidación, reaccionando con la piritita primaria, da lugar a calcocita.

La calcocita, en reacción con la calcopirita primaria, da lugar a bornita:



La importancia de la zona de cementación, en este tipo de yacimientos, se debe a que aunque muchas veces la mineralización primaria no alcanza a porcentajes de mineral económicamente explotable, estos porcentajes se pueden encontrar, debido al enriquecimiento secundario en la zona de cementación, y el yacimiento puede ser explotable.

Los minerales metálicos.

Todos los minerales metálicos que se hallan en los afloramientos son secundarios y derivados de los primarios debido a circulación de aguas oxidadas superficiales. Se encuentran en los afloramientos minerales de hierro y cobre, lo que indica que son originarios de sulfuros dobles de los dos elementos.

El cobre nativo siempre se halla en granos, a menudo de grandes dimensiones, que muchas veces son idiomórficos. Se observa por lo general en el borde de los granos de cobre nativo una corona de óxido (cuprita), derivado de la alteración del metal.

La cuprita, además de la forma que se describió en el párrafo anterior, se halla en venillas delgadas, en los espacios intergranulares de la ganga, en fisuras menores o también en cristales más o menos idiomórficos diseminados en la ganga.

Los carbonatos, *malaquita* y *azurita*, se encuentran en venitas o en incrustaciones en las fracturas de la roca.

La calcocita es más bien escasa. Se halla con cierta frecuencia sólo en la localidad El Ovejo, mientras que en las otras está ausente o representada sólo por restos pequeños profundamente alterados.

La forma de los cristales es prismática, de sección rómbica.

No contiene desmezclas de bornita, ni da lugar con este mineral a cristales mezclados. Por lo tanto, se puede concluir con toda seguridad

que la temperatura de formación del sulfuro de cobre es inferior de los 105°C, es decir, que también este mineral es de origen secundario.

También se observaron, en la localidad de San José, algunos pequeños cristales de *tenorita*, asociados a cuprita, y con el mismo origen de ésta.

Los minerales de hierro están representados por *hematita* y *goetita*. La primera se halla en cantidad relativamente abundante sólo en San José, El Seno y Zeppelin. Se encuentra por lo general en pequeños cristales idiomórficos microgranulares o microlaminares.

Estos cristales presentan a menudo fenómenos de maclas laminares de tres órdenes, que presentan ángulos de 60° entre sí.

Los cristales tienen en su mayoría forma isodiamétrica, por lo cual es probable se trate de martita, es decir, de un pseudomorfismo de la hematita sobre magnetita. Por lo tanto este mineral, o por lo menos los cristales que pertenecen a la variedad martita, tiene un origen distinto del de los demás minerales presentes, por cuanto el paleosoma, magnetita, se encontraba con toda probabilidad en las lavas, antes de la mineralización con sulfuros, como producto de segregación magmática.

La *goetita* está mucho más difundida que la hematita en todas las localidades mineralizadas. Pertenece a la variedad terrosa, por lo que está íntimamente asociada a limonita y lepidocrocita.

Los minerales primarios (protores) están ausentes. Sólo en la localidad de El Ovejo se observaron algunos diminutos granos microscópicos de calcopirita.

Calcocita primaria, bornita y especialmente calcopirita, debieron ser los minerales primarios que han dado origen a los supergénicos descritos.

La alteración de los minerales primarios fue gradual: de los sulfuros primarios a calcocita secundaria, luego a cobre nativo, y por último a cuprita.

Esta alteración gradual se reconoce gracias a la presencia de los restos dejados por los diferentes minerales. A veces se observan cristales de calcocita secundaria reducidos a una corona periférica, mientras en su parte central se halla a un núcleo de cobre nativo en cuyos bordes se formó un anillo de cuprita, estructura que prueba la sucesión (calcopirita), calcocita, cobre nativo, cuprita.

Las gangas.

Se describen en el presente párrafo las gangas que acompañan a los minerales metálicos en las localidades indicadas.

Epidota acompaña siempre la mineralización en los filoncitos, en los cuales es a menudo éste el mineral más abundante, mientras que están menos repartidos en las rocas encajantes. Constituye granos alotriomórficos, con fuerte relieve y colores de interferencias intensos y variables dentro de un mismo cristal. En la roca encajante se halla de la misma manera o también en delgados filoncitos.

Con anterioridad a la epidotización se produjeron:

- 1) Un fenómeno de *cloritización*, con origen en laminillas irregulares de antigorita, perfectamente transparentes, las cuales se desarrollan desde las salbandas hacia el centro del filón.

2) La *sericitización* de las plagioclasas; y

3) Una alteración que ha dado *origen a minerales arcillosos* en las rocas encajantes.

En algunos casos parece que junto con la epidotización hubo un pequeño aporte de cuarzo (cuarzo I, alotriomórfico).

Estos minerales hacen parte de una primera mineralización sin minerales metálicos. Posteriormente hubo una segunda mineralización con aporte de cuarzo (II), minerales metálicos y barita.

El cuarzo (II) muy abundante, es alotriomórfico y sin duda posterior a la epidota; además de penetrar en las rocas epidotizadas, incluye partes de éstas hasta en algunos centímetros de diámetro y las atraviesa en delgados filoncitos.

La *barita* es blanzuca, y bajo el microscopio se presenta en grandes estructuras radiadas; es transparente y fuertemente relieveada con un solo nicol, y bajo nicoles cruzados tiene colores desde amarillentos a parduscos.

En una segunda fase de más alta temperatura se formó clorita coloreada y se depositaron turmalina, cuarzo (III) y calcita.

La *clorita* (penina) se encuentra en láminas bien desarrolladas, de color verdusco muy pálido, pleocroismo poco sensible, colores de interferencia bajos y sensiblemente uniáxica.

La *turmalina* tiene color oscuro y constituye prismas de diferentes dimensiones, muchas veces reunidos en asociaciones radiadas.

Siempre muy relieveada, es a veces fuertemente pleocroica de amarillo vivo a fuerte amarillo pálido o al incoloro, con $o > e$; otras veces el pleocroismo apenas es perceptible.

Bajo nicoles cruzados presenta colores muy vivos y una estructura zonar muy marcada.

El *cuarzo* (III) está caracterizado por su fuerte idiomorfismo.

Algunas veces es pecilítico e incluye todos los minerales mencionados en lo anterior.

La *calcita* sólo se halla en algunas muestras y penetra en los intersticios y en las cavidades, dando lugar a pequeñas masas de forma irregular.

Paragénesis.

Del estudio microscópico en luz tanto reflejada como transmitida de las muestras colectadas, resulta la siguiente sucesión paragenética:

En las rocas volcánicas consolidadas, a causa de su enfriamiento y de pequeños movimientos se originaron pequeñas fracturas, de rumbo general EW.

Posteriormente gran parte de la roca volcánica sufrió una alteración profunda, debido a la circulación de aguas epitermales, procedentes de un receptáculo magmático, que no es necesario sea el mismo que causó la formación de las rocas volcánicas.

Las soluciones epitermales subieron a través de las fisuras de enfriamiento e impregnaron la roca a través de los espacios intergranulares.

El aporte de estas soluciones es nulo desde el punto de vista económico, mientras que desde el punto de vista mineralógico se observa la deposición de abundante clorita.

Soluciones epidotíferas se difundieron por toda la roca, especialmente en donde ésta había perdido su compactibilidad, debido a la alteración. La epidota se concentró por lo tanto principalmente en las fracturas EW, en donde la brecha de fricción, por su fuerte porosidad, constituyó el ambiente más favorable para la deposición de este mineral.

Cuarzo en alguna cantidad acompaña en ciertos puntos a la epidota.

Después de la epidotización hubo la deposición de los minerales metálicos, sulfuros de cobre y sulfuros dobles de cobre y hierro, llevados por soluciones mesotermales. Junto con los minerales metálicos subieron cuarzo y barita: el primero antes de los sulfuros, la segunda después.

Toda la roca alterada, por su débil compactación, teóricamente puede haber sido afectada por la impregnación, pero ésta ha sido naturalmente más fuerte en las fracturas con brecha de fricción, que presentaban una porosidad mucho mayor.

A esta fase mineralizante siguió otra con aporte de clorita, turmalina, cuarzo y calcita, en el mismo orden en que se mencionan.

El cuarzo provocó una fuerte silicificación de los lentejones epidotizados y su endurecimiento, a lo cual se debe que estos lentejones se ven actualmente en relieve entre las rocas encajantes no silicificadas.

Todos los minerales depositados han sufrido posteriormente una ligera cataclasis, por efecto de pequeños movimientos tectónicos. Debido a esto, se encuentran minerales cupríferos oxidados en delgadas venillas.

La circulación de las aguas superficiales, la erosión y la acción de la atmósfera provocaron sucesivamente la oxidación de los minerales primarios y su lixiviación con transporte hacia abajo.

En la superficie sólo permanecieron los minerales oxidados en los lentejones epidotizados que, por su mayor compactación, no han permitido la lixiviación completa, la cual hubo en las rocas menos compactas. De manera esquemática, los eventos que produjeron la mineralización de algunas áreas entre el cerro Quitafrió y el cerro El Ovejo se pueden resumir así:

- I fase tectónica:* Formación de fisuras EW.
- I. Subida: alteración de las rocas (clorita).
 - II. Subida: epidota (a veces con cuarzo I).
- I fase mineralizante:* Cuarzo II.
- III. Subida: Cu, Fe sulfuros.
 - Barita.
 - Clorita (coloreada).
 - Turmalina.
- II fase mineralizante:* Cuarzo III.
- Calcita.
- II fase tectónica:* Cataclasis de los minerales.

Oxidación, lixiviación y enriquecimiento supergénico.

Edad y clasificación del yacimiento.

Del conjunto de hechos observados, el origen de la mineralización resulta ser posterior a las rocas volcánicas e independiente de éstas.

Esta afirmación se basa en los siguientes hechos:

a) La paragénesis no tiene ningún carácter subvolcánico (paragénesis telescópica, en la cual están representados todos los estados magmáticos; propilitización de las rocas, etc.).

b) La forma del yacimiento no es filoniana, como habría que esperar en el caso de un yacimiento subvolcánico.

c) La presencia de la turmalina, que se halla en granitos considerados terciarios en la zona cercana de la Alta Guajira, atravesando formaciones análogas a las de la Serranía de Perijá.

Además, esta hipótesis está sugerida por el normal esquema de las mineralizaciones andinas (esmeraldas de Colombia, Cerro de Pasco en Perú, Pulacayo en Bolivia, Chuquicamata en Chile, para no recordar sino las más conocidas) todas relacionadas con el magmatismo terciario.

Hay por lo tanto que suponer la presencia de un batolito terciario en la profundidad, con el cual se pueda correlacionar el origen de las mineralizaciones en la Serranía de Perijá.

El yacimiento puede por lo tanto ser considerado como de impregnación de rocas silicáticas, mesotermal y de edad terciaria.

Localidades mineralizadas de menor importancia.

Además de las localidades mineralizadas descritas en los capítulos anteriores, existen en el valle del río Cesar otros indicios de importancia menor. Algunos de estos han sido antiguamente explotados, pero debido a la escasez de mineral, a los bajos porcentajes y a la irregularidad de la mineralización, la explotación se encuentra hoy abandonada.

Hay dos tipos fundamentales de manifestaciones cupríferas secundarias en la región:

A) Impregnación en las areniscas.

B) Venas de relleno en fisuras.

A) Impregnación en las areniscas.

En donde las areniscas rojas de la formación la Quinta tienen un grano más grueso del normal y una porosidad más elevada, se observa a veces una ligera impregnación de la roca por parte de minerales de cobre, más que todo carbonatos hidratados. De otra parte, en las fisuras de la roca se depositaron incrustaciones de mineral debidas a soluciones "per descensum".

Como efecto de la circulación de las soluciones, la roca resulta fuertemente endurecida y forma pequeños relieves alargados de rumbo definido (muchas veces EW).

Debido al fuerte color verdusco que tomaron las areniscas, estas manifestaciones llamaron la atención del hombre desde épocas muy antiguas y han sido el objeto de explotaciones a pequeñísima escala.

Entre estas localidades hay que recordar: La Riga y El Socorro, en la región de San Diego; el cerro de la Palangana, al Este de Molino.

Los minerales presentes en estas manifestaciones son más que todo malaquita y azurita, pero en localidad Palangana se encuentran, además de los carbonatos, buenas cantidades de calcocita y covelita que, debido a sus características, también se pueden atribuir a soluciones "per descensum". En esta localidad siempre se hallan algunos cristales de cubanita, sulfuro doble de cobre y hierro de origen hipogénico, pero profundamente alterados y sustituidos por calcocita supergénica.

En El Socorro también se encuentran cobre nativo y cuprita.

B) *Venas de relleno en fisuras.*

En la localidad La Botella, 15 kms. aproximadamente al E de Villanueva, en el río Villanueva, se encuentran pequeñas venas de algunos centímetros de espesor, mineralizadas con calcocita, neodigenita y bornita.

Estas venas se encuentran en un cuerpo de roca volcánica (30 × 50 m aprox.), intruído en las areniscas de La Quinta, cerca de una zona de contacto entre éstas y las volcanitas, dentro de una zona fallada.

El relleno de las venas es por lo general masivo, a causa de que la ganga cuarzosa es escasa. Casi siempre las venas tienen salbandas bien definidas, pero muchas veces la roca alrededor ha sido sustituida por calcocita, formando cuerpos masivos, de dimensiones reducidas.

Crisocola y malaquita impregnan la roca más o menos en toda parte cerca de los afloramientos mineralizados.

Es interesante anotar que aproximadamente un centenar de metros arriba de los afloramientos con calcocita, la arenisca ha sido impregnada por malaquita y crisocola en forma igual a la que se describió en las localidades La Riga y El Socorro.

En la zona intermedia entre estos afloramientos superiores e inferiores se hallan pequeñas trazas de mineralización.

En los afloramientos inferiores, cerca del lecho del río Villanueva, han sido ejecutados en tiempos pasados algunos trabajos mineros de cierta importancia. Todavía existe un túnel que penetra aproximadamente 50 metros en la montaña, siguiendo las venas mineralizadas. Otros dos túneles han sido excavados algunos metros más abajo del principal.

El origen de la mineralización de esta zona no es diferente del que se describió para las localidades principales, debido a que en toda la región alrededor se encuentran filoncitos de roca epidotizada, más o menos estériles desde el punto de vista económico, pero similares absolutamente a los descritos para las localidades principales.

La diferencia está en que aquí, en lugar de la zona de oxidación encontramos una zona mucho más profunda, en el límite entre la de los sulfuros primarios y la de cementación.

Lo dicho resulta del estudio microscópico de las muestras colectadas en las afueras y en el interior de los túneles.

Se encuentra aquí calcocita supergénica y bornita hipogénica, pero con fuerte prevalencia de la primera, lo que pone en evidencia que estamos en el límite inferior de la zona de cementación con calcocita.

No se puede afirmar con seguridad si la neodigenita es de origen primario o secundario, pero es probable que como está asociada con la

calcocita, sea derivada de intercambios entre ésta y la bornita, es decir, que sea de origen secundario.

La poca covelita, que se halla siempre en la roca encajante y nunca en las venas, parece más bien de origen supergénico.

Para completar, hay que recordar, entre las manifestaciones cupríferas secundarias, las de Gallinazo y Camperucho.

Gallinazo, situado a 10 kms. aproximadamente al SE de Urumita, tiene aspectos muy similares a los descritos para las localidades de alrededor de San Diego. Aquí también se encuentran rocas volcánicas, más o menos alteradas, asociadas con areniscas, pero la epidotización, además que a lentejones alargados, da lugar a bolsas más grandes.

Se encuentran aquí los mismos minerales que en la zona de San Diego, pero en cantidades muy reducidas.

En Camperucho, localidad situada en el lado occidental del valle del río Cesar, a unos cincuenta kilómetros de Valledupar, cerca de la carretera de Santa Marta, se encuentran impregnaciones de malaquita y azurita en rocas tanto volcánicas como arenáceas.

Hace varios años han sido ejecutadas en esta localidad algunas excavaciones que hoy en día se encuentran abandonadas y parcialmente derrumbadas.

Entre el material extraído de estos pozos se encuentran muestras mineralizadas con calcopirita.

P A R T E I I I

PROSPECCIONES GEOQUIMICAS

I. GENERALIDADES

Del estudio geológico y microscópico de la mineralización (véase parte II), resulta que la zona más favorable en la Serranía de Perijá, para las posibilidades de explotación minera, es la de San Diego. En esta zona se hizo un trabajo inicial de prospección geoquímica para poder sugerir, si los resultados fuesen favorables, investigaciones futuras.

Tres proyectos de prospección geoquímica han sido ejecutados en esta zona: el primero en el valle del arroyo Las Piletas; el segundo en El Seno y el tercero en Zeppelin.

Arroyo Las Piletas.

Al Este de San Diego se halla una pequeña zona plana aluvial de unos 10 kms. de largo y de dos a cinco de ancho. Dicha zona está compuesta por aluviones arenáceo-terrosos, transportados y sedimentados por el arroyo Las Piletas y retrabajados por el mismo río, de manera que ahora constituyen una terraza grande, más o menos plana.

Los aluviones de este río son bastante permeables y porosos, a pesar de que sean a menudo cementados.

En estos aluviones se halla una capa freática perenne que está sometida a variaciones de nivel durante el año, causadas por la alteración de estaciones secas y de lluvia (verano e invierno).

Durante el verano esta capa está a una profundidad no muy distante de la superficie y aflora en unos puntos del lecho del río.

Si debajo de estos aluviones se encontraran rocas mineralizadas con cobre, las aguas freáticas, que suben por los poros capilares, podrían haber facilitado una dispersión de soluciones ricas en cobre. Los aluviones en este caso llevarían un contenido en cobre mayor del normal.

Para ver si efectivamente debajo de los aluviones existen rocas mineralizadas con cobre, se hizo un muestreo sistemático de ellos y se analizaron las muestras tomadas.

Fueron muestreadas cuatro líneas paralelas con rumbo norte-sur, a distancia de quinientos metros una de otra. Las muestras fueron tomadas a lo largo de cada línea a cincuenta metros una de otra, y a una profundidad de más o menos un metro de la superficie.

Seno - Zeppelin.

En estas localidades no fue posible estudiar la dispersión del cobre en el suelo, debido a la falta casi total de éste. Hubo entonces que estudiar el contenido en cobre de las rocas en los varios sitios donde afloran, más o menos alteradas.

El fin de este trabajo no era el estudio de la dispersión primaria del cobre alrededor del cuerpo de mineral, sino reconocer la presencia de anomalías de contenido en cobre de las rocas superficiales, que han sido alteradas por las soluciones termales. Estas anomalías demostrarían la existencia efectiva de una impregnación metálica de la roca, que después ha desaparecido por causa de la lixiviación.

En otras palabras, este estudio no tuvo otro fin que el de descubrir la existencia de restos o trazas de la impregnación primaria.

Por lo tanto, se han excluido a propósito los filoncitos epidotizados cuya determinación no tendría ningún significado para el fin del trabajo, y, además, habría turbado los valores.

Las muestras fueron tomadas a lo largo de trincheras excavadas hasta una profundidad de 30-50 cms., lo cual ha permitido obtener muestras de roca muy poco o nada alteradas por la meteorización.

Las muestras fueron tomadas con continuidad, colocando en talegos distintos las muestras de cada metro.

Se procedió en esta forma, aunque parezca excesivo el trabajo, por dos motivos: para eliminar hasta donde fuera posible la subjetividad del muestreo, y para poder más tarde reconocer y excluir los valores fuertes debidos a la presencia de los filoncitos epidotizados, que son de ancho pequeño y de rumbo más o menos perpendicular al de las líneas de muestreo. De esta manera, el número de las muestras incluidas por el mayor contenido en cobre de los filoncitos epidotizados es uno o dos no más. Lo cual permite separar los valores altos originados por la presencia de filoncitos, de las verdaderas anomalías de contenido en cobre de las rocas.

En la localidad El Seno se muestrearon seis líneas paralelas con rumbo aproximado NNW-SSE, distantes 18 metros una de otra, por una longitud de 40 metros aproximadamente.

En la localidad Zeppelin se muestrearon cuatro líneas paralelas con rumbo NNE-SSW, distantes 10 metros una de otra, por una longitud de un centenar de metros. Estas líneas se encuentran en la pendiente SE de la colina de Zeppelin.

Para la determinación del contenido en cobre de las muestras, se usó el método colorimétrico de la biquinolina.

Este método fue estudiado e introducido en la práctica por Breckenridge, Lewis y Quick en el año 1939, y fue perfeccionado después por sabios de varios países.

El método de la biquinolina tiene muchas ventajas sobre los métodos colorimétricos tradicionales, como sería el ditizone y otros, pues no hay ningún metal que pueda interferir con el cobre.

El método usado en este trabajo es un poco diferente del sugerido por Almond (1).

Las muestras, después de haber sido pulverizadas, fueron disueltas en agua regia en lugar de ácido clorhídrico, y a cada tubo de ensayo se añadió unas gotas de solución saturada de cloruro férrico, para activar la reacción. Además, los "patrones" fueron preparados en solución acuosa y siempre se conservaron al abrigo de los rayos ultravioletas, pues la acción de éstos es sumamente fuerte en la región de Bogotá, debido a la altura (2.600 m), y causan por lo tanto una rápida alteración de los colores.

II. GEOQUIMICA DEL SUELO

Como se ha explicado en el capítulo precedente, el fin de la prospección geoquímica en las terrazas aluviales del valle del arroyo Las Piletas fue el reconocimiento de la presencia de anomalías de contenido en cobre en los aluviones, para poder establecer si las rocas subyacentes a éstos son mineralizadas o no.

Como las muestras fueron tomadas con malla muy grande (500 m por 50 m) no hubo la posibilidad de dibujar mapas con curvas isoanómalas en esta región.

Sin embargo, se diseñaron unos perfiles geoquímicos, que indican el tenor en cobre de los aluviones a lo largo de las líneas de muestreo.

Estos perfiles se pueden ver en la Plancha I.

Como fácilmente se puede notar, los tenores de las muestras colectadas, con pocas excepciones, son mayores del valor del contenido normal de fondo ("background") que en este tipo de aluviones tendría que ser de 0.005%, es decir, de 50 partes por millón (ppm).

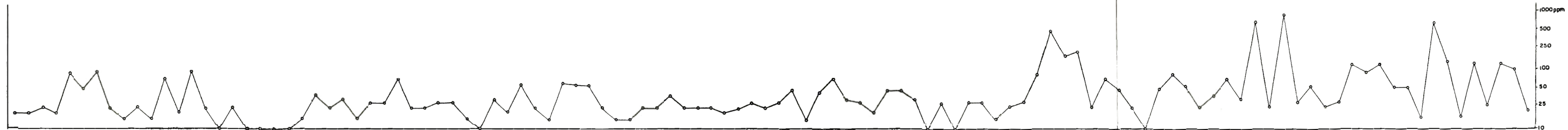
Además, las curvas no tienen oscilaciones fuertes, lo cual demuestra que se trata de un tenor alto que se difundió en los sedimentos aluviales después de la formación de éstos, no proveniente de las rocas madres de los sedimentos.

El hecho de que el tenor en cobre del suelo sea bastante alto puede ser explicado con las dos hipótesis siguientes:

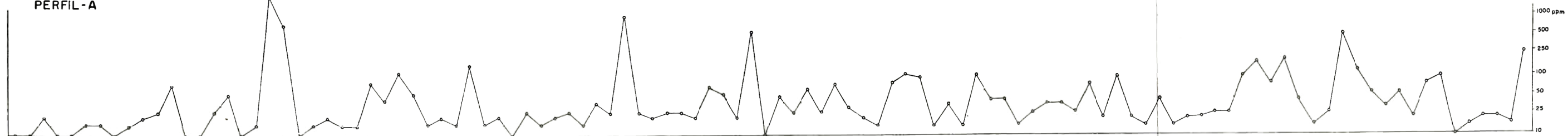
1) Las aguas del río se han enriquecido en sales de cobre al pasar las zonas mineralizadas que se encuentran más arriba del plano aluvial, y estas sales se han difundido en los aluviones.

2) Las rocas en sitio que se hallan debajo de los aluviones son mineralizadas con cobre, y esta mineralización dio lugar a la difusión del cobre en los aluviones, debido a la circulación de las aguas de superficie.

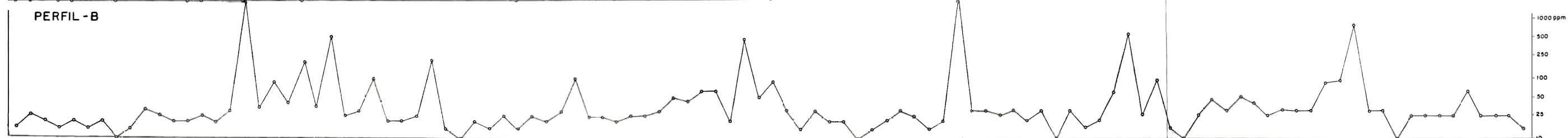
Por medio de los trabajos hechos hasta ahora, no se puede establecer la importancia de la mineralización, su forma, la ubicación de los máximos de los tenores, ni los mínimos de profundidad.



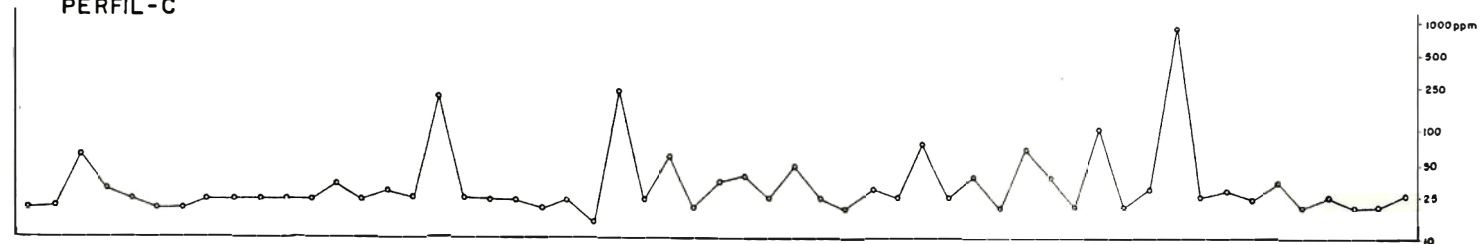
PERFIL - A



PERFIL - B



PERFIL - C



PERFIL - D

PERFILES GEOQUIMICOS DE ZEPPELIN



Se sugiere entonces una segunda prospección geoquímica de malla mucho más reducida. Por ejemplo, 100 metros de distancia entre las líneas y 10 metros de distancia entre las muestras de una misma línea.

Este trabajo permitiría cartografiar las anomalías con curvas isoanómalas. Se podrá entonces obtener indicaciones más precisas sobre la ubicación, importancia y distancia de la superficie de los cuerpos mineralizados.

Donde las anomalías sean más marcadas, se podrá, más tarde, muestrear líneas intermedias a las ya muestreadas con distancia de 50 o 25 metros, una de otra. Esto permitirá cartografiar con mayor exactitud las curvas isoanómalas en las zonas más interesantes.

Será conveniente, ante todo, hacer algunos análisis de las muestras del agua del arroyo Las Piletas, colectadas arriba del plano aluvial, para excluir la posibilidad de ser cierta la primera hipótesis enunciada, es decir, que la difusión del cobre sea originada por las aguas del río.

Después de haber hecho estas prospecciones geoquímicas, será necesario ejecutar unas perforaciones en los puntos de anomalía máxima, para comprobar la presencia del cuerpo mineralizado, su extensión y su volumen.

III. GEOQUIMICA DE LAS ROCAS

Interpretación de los perfiles.

No es posible, con los resultados de este estudio, construir mapas con curvas isoanómalas en las localidades Seno y Zeppelin.

En realidad, la fuerte irregularidad de las anomalías, la desproporción entre la distancia de las líneas y de las muestras en la misma línea no permite la correlación entre las anomalías que se encuentran en dos líneas contiguas. Por lo tanto, se elaboraron perfiles geoquímicos que indican el contenido en cobre de las rocas a lo largo de las líneas muestreadas.

Estos perfiles se pueden ver en las Planchas II y III.

Estos perfiles se construyeron tomando como abscisa la distancia entre las muestras, y como ordenada el contenido en cobre de las muestras en partes por millón (ppm).

En estos perfiles queda entendido que la correspondencia entre las concentraciones en cobre y la posición de las muestras existe solamente en los puntos que tienen el valor medio del tenor en un metro de línea, y no en los empalmes de los puntos.

Para las ordenadas se escogió la escala logarítmica, pues esta escala es más adaptable, dentro de ciertos límites, a la sensibilidad del método de análisis usado.

Se han eliminado los valores menores de 10 ppm, siendo la sensibilidad del método, en este campo, muy escasa y subjetiva.

Para la interpretación de los perfiles es necesario tener en cuenta solamente las partes arriba de la línea del "background", que en este tipo de rocas mesosilícicas está alrededor de las 55 ppm.

Los valores debajo de esta línea no tienen ninguna importancia, siendo ellos indicativos de zonas no anormales.

Las partes del perfil que se encuentran arriba de la línea del "background" pueden presentar diferentes aspectos. Se describen en seguida los tres tipos principales:

A) *Máximo a campana regular* (Plancha IA).

El valor del máximo no es muy fuerte (500 - 1.500 ppm). La característica más importante de este tipo de anomalía es la grande amplitud.

Este tipo de perfil indica una variación más o menos regular del contenido de cobre en la roca por una longitud de al menos tres metros.

Esto significa una verdadera anomalía del tenor de cobre en la roca, que demuestra la presencia de residuos de una antigua impregnación, desaparecida por lixiviación.

B) *Máximo de pendientes fuertes y amplitud pequeña* (Plancha IB).

En este tipo de anomalía se encuentra un valor máximo por lo general muy fuerte, es decir, alrededor de 1.000 - 3.000 ppm. y una amplitud de uno o dos metros no más.

Esta anomalía es originada por un cuerpo mineralizado de dimensiones limitadas, de fuerte tenor cerca de la superficie.

En el caso particular de la zona en estudio, estos cuerpos mineralizados no pueden ser sino los lentejones o filoncitos epidotizados, que corresponden muy bien a las características delineadas en el precedente párrafo.

Para el fin de este trabajo, estas anomalías no tienen importancia, y entonces tienen que ser distintas de las otras.

C) *Máximo asimétrico* (Plancha IC).

Si se unen las dos anomalías A y B, la resultante es una curva más o menos asimétrica, llevando un máximo muy fuerte y con pendiente fuerte de un lado y regular de otro.

Las anomalías de este tipo son por lo tanto debidas, ya sea a la presencia de un lentejón epidotizado, o a un residuo de impregnación de la roca.

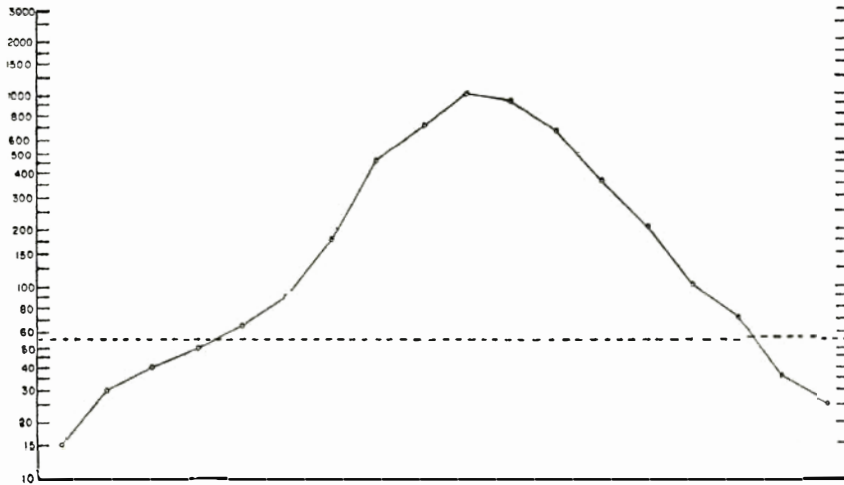
Estas anomalías también tienen importancia, puesto que muestran la existencia de una impregnación de la roca, desaparecida por lixiviación.

La importancia de la distinción de los tres tipos de anomalía tiene su razón a causa del fin que se persigue con este trabajo. Es en realidad necesario distinguir las anomalías originadas por los lentejones de las que indican una verdadera anomalía del tenor de cobre en las rocas.

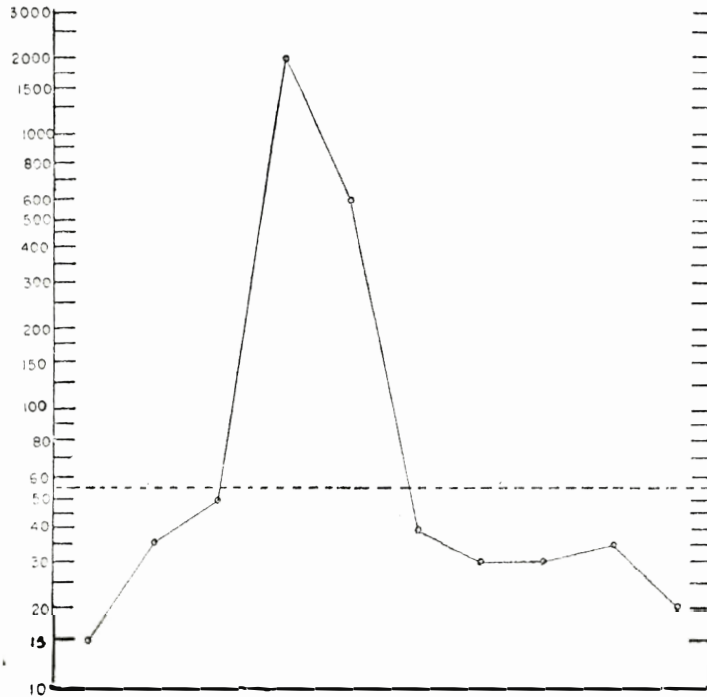
Pero esta distinción no es siempre muy fácil, como en los casos teóricos presentados anteriormente. Al contrario, la interpretación de las anomalías es frecuentemente muy dudosa.

El Seno (véase Plancha II).

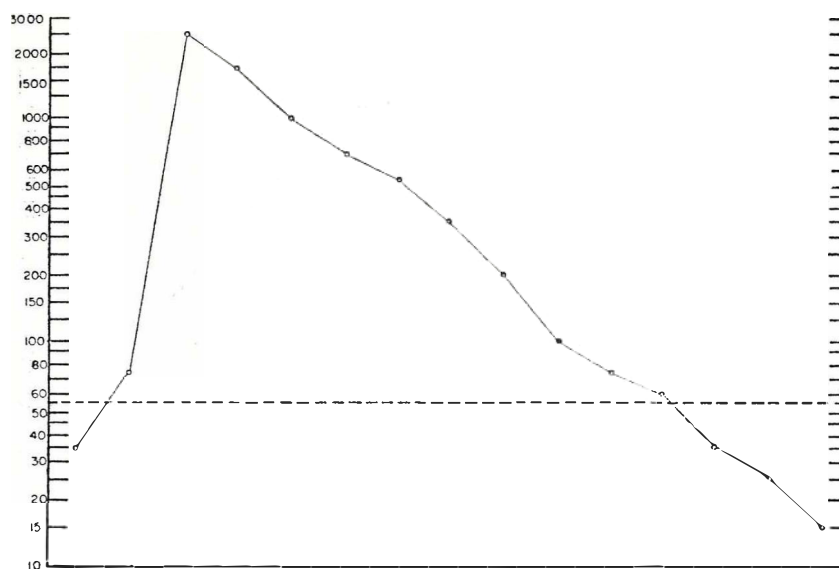
La característica más notoria al observar los perfiles de las líneas de muestreo de esta localidad es una fuerte irregularidad de las anomalías de contenido de cobre en las rocas.



PLANCHA I A
ANOMALIA CON MAXIMO A CAMPANA REGULAR



PLANCHA I B
ANOMALIA CON MAXIMO DE PENDIENTES FUERTES Y AMPLITUD PEQUEÑA



PLANCHA I C
ANOMALIA CON MAXIMO ASIMETRICO

Para que se entienda esta irregularidad, es necesario tener en cuenta el origen de estas anomalías. No son, en realidad, halos primarios, como ya se dijo en el capítulo de las generalidades, sino residuos de una antigua impregnación.

La causa de la desaparición casi total de esta impregnación es la lixiviación de los minerales de cobre, la que fue favorecida por la porosidad de la roca que ha permitido la circulación de las aguas oxidadas de superficie.

El tenor actual de la roca en la superficie deriva por lo tanto de la porosidad de ésta, y la irregularidad de la distribución del metal, deriva de las fuertes variaciones de porosidad de la roca.

En realidad la roca que se encuentra en esta localidad es una lava superficial que si en unos puntos es bastante compacta, en otros es muy granulada.

Por esto se explica la presencia de anomalías digitales (perfiles IV y V y anomalías Nos. 8 y 9, y perfil VI N^o 15), es decir, anomalías que no presentan un solo máximo, sino dos o más, divididos por mínimo que, a veces, pueden estar también debajo de la línea de background.

Estos mínimos son originados por aumentos de porosidad muy locales, regulares en este tipo de roca volcánica, y por lo tanto no interrumpen la individualidad de la anomalía.

Además, hay que anotar que el tenor de cobre baja a valores muy débiles (5, 10 o 15 ppm), que no se pueden explicar en este tipo de roca mesosilícica sino con una fuerte porosidad.

Por lo que se refiere a la distinción de las varias anomalías geoquímicas, reveladas por estos perfiles, en los tipos delineados arriba, muy frecuentemente se encuentran dificultades e incertidumbres. Pero casi siempre se pueden distinguir las anomalías de tipo B, es decir, las que, por ser originadas por los lentejones epidotizados, hay que excluir.

Perfil I

La primera anomalía de este perfil (Nº 1) es evidentemente asimétrica, y entonces puede ser atribuida sin duda al tipo *C*.

Las anomalías 2 y 3 interesan respectivamente una longitud de 2 y 3 metros y llevan máximos respectivamente de 3.000 y 3.500 ppm. Estos valores altos y la escasa longitud de la anomalía pueden ser atribuidos a lentejones epidotizados, aflorante el primero y subaflorante con dimensiones mayores el segundo. Estas anomalías son por lo tanto de tipo *B*.

Perfil II.

Las anomalías Nos. 4 y 5 de este perfil, debido a su pequeña amplitud, son de tipo *B*.

La Nº 6 es una anomalía digitada de fuerte amplitud (7 metros) con dos máximos de 350 ppm. Sin duda, esta anomalía pertenece al tipo *A*.

La Nº 7 es de determinación dudosa entre el tipo *A* y el tipo *C*. En realidad, se encuentran en esta anomalía la asimetría típica del tipo *C*, pero no los valores fuertes originados por la presencia de lentejones mineralizados.

Perfil III.

En este perfil no se encuentran anomalías. Además, más de la mitad de los valores son muy bajos (5, 10 o 15 ppm.) Lo cual demuestra que por esta línea la porosidad en el área es muy fuerte.

Perfil IV.

Todas las anomalías de este perfil son digitadas.

La anomalía Nº 8 tiene dos máximos de 1.750 y 450 ppm. e interesa una longitud total de línea de cinco metros. Siendo el máximo más fuerte el valor perteneciente al primer metro de la anomalía, esta es asimétrica y entonces de tipo *C*.

La Nº 9 tiene tres máximos: uno de 200 y los otros dos de 1.500 ppm. Siguiendo la línea que une estos tres máximos, se nota que la anomalía es asimétrica, y por lo tanto pertenece al tipo *C*.

La Nº 10 es de catalogación dudosa entre el tipo *A* y el tipo *C*, por las mismas razones de la anomalía Nº 7 del perfil II. También ésta es de forma digitada, pero muy ligeramente (200 - 75 - 85 - 90 ppm.)

Perfil V.

Las anomalías de este perfil no tienen forma digitada.

La Nº 11 es de tipo *C*, asimétrico; pero se podría añadirle el pequeño máximo que está a su izquierda, de tal manera que esta anomalía resultaría de tipo *A* digitado.

La Nº 12 interesa no más que un metro de línea, con un valor de 850 ppm. Por lo tanto, se trata de una anomalía de tipo *B*.

Desafortunadamente, la anomalía Nº 13 está al final de la línea. No se puede por lo tanto decir de cuántos metros sea su amplitud. Podría pertenecer, sea al tipo *A*, o al tipo *C*.

Perfil VI.

Reaparecen en este perfil las anomalías digitadas.

La N^o 14, o bien la N^o 15, son de tipo A, siendo la primera de tres metros de amplitud y la segunda de seis.

Es interesante notar aquí cómo la porosidad de la roca, indicada por los valores bajos del contenido en cobre, está sujeta a variaciones fuertes en el sentido transversal al rumbo de las líneas.

En el perfil I, excluyendo los primeros 15 metros que se encuentran en roca arenácea, los valores bajos en contenido de cobre (5, 10 y 15 ppm) son alrededor del 22% del total; en el perfil II, excluyendo aquí también los primeros 9 metros por la misma razón, son el 40%; en el perfil III son el 72½%; en el IV el 51%; en el V el 281½%, y en el VI el 261½%.

Siendo estos valores proporcionales a la porosidad, se puede decir que ésta tiene un máximo que corresponde a la línea III y que baja regularmente en ambos lados.

Zeppelin (véase Plancha III).

Observando los perfiles geoquímicos de Zeppelin, se nota una mayor regularidad en la distribución de cobre en las rocas, que en El Seno.

Además, el número de valores alrededor de 10 ppm. es el 191½% del total, mientras que en El Seno era el 38%. Esto tiene su explicación en el tipo de roca que se encuentra en Zeppelin, que es muy diferente de la del Seno. Aquí se encuentran en realidad rocas subvolcánicas de textura y compactabilidad más regulares que las del Seno. Por lo tanto, la porosidad es mucho menor y mucho menos variable localmente. Por esto los valores de los tenores en cobre son mucho más regulares que en El Seno, y los valores bajos son mucho más escasos.

Si la roca de Zeppelin hubiese sido impregnada por soluciones cupríferas, la lixiviación de los minerales de cobre habría sido muy regular y muy poco intensa.

Aquí también se pueden dividir las anomalías en los tres tipos delineados A, B y C, pero se presentan frecuentemente dificultades.

Perfil A.

La primera anomalía de cierta importancia en este perfil se encuentra desde 76 m hasta 79 m. Esta anomalía presenta incertidumbre para catalogarla en el tipo A o el tipo C. Tiene dos máximos de 450 y 200 ppm, divididos por un mínimo de 175 ppm. Por lo cual es una anomalía digitada, pero sólo ligeramente.

Las anomalías 2 y 3 se observa que interesan no más que en un metro de longitud cada una, con máximos respectivamente de 675 y 875 ppm. Se trata entonces de una anomalía de tipo B.

La 4 tiene una amplitud de tres metros de línea, con valor no muy fuerte (125 - 90 - 125 ppm.) Es entonces una anomalía de tipo A, ligeramente digitada.

La 5 tiene un máximo de 600 ppm y una amplitud de dos metros. Se trata entonces de una anomalía de tipo B.

Perfil B.

La primera anomalía de este perfil, la N^o 6, es de tipo *B*, teniendo un máximo de 2.000 ppm y una amplitud de dos metros.

La anomalía 7 puede también ser de tipo *B*. Interesa un metro de longitud, con un valor de 150 ppm. El lentejón que dio origen a esta anomalía tiene que ser muy pequeño y muy pobre, debido al escaso valor del tenor de cobre encontrado.

Las anomalías 8 y 9 son parecidas a la 7. Tienen amplitud de un metro cada una, pero tienen máximos respectivamente de 900 y 550 ppm. Son por lo tanto de tipo *B*.

La 10 interesa tres metros de longitud, con valores de 75, 100 y 90 ppm. Se trata entonces de una de tipo *A*.

La 11 es de catalogación dudosa entre el tipo *A* y el tipo *C*. Tiene amplitud de cuatro metros y dos máximos de 150 y de 175 ppm. *Es digitada*.

La 12 interesa dos metros de longitud con un máximo de 450 ppm. Se puede entonces catalogar ésta al tipo *B*.

Perfil C.

Las anomalías 13, 15 y 17 de este perfil son de tipo *B*, debido a su amplitud de un metro cada una, y sus máximos (2.000 - 200 - 2.000 ppm). Para la 15 valen las mismas observaciones hechas para la 7 del perfil *B*.

Las 14 y 16 al contrario son de tipo *C*, y ambas digitadas. A la 14 se podría añadir los dos altos que están a ambos lados, y así esta anomalía sería de tipo *A*.

La 18 es de catalogación dudosa entre los tipos *A* y *C*. Es digitada con dos máximos de 550 y 90 ppm. La asimetría no es muy marcada.

La 19 es de tipo *C*. Interesa tres metros de longitud y tiene un máximo de 750 ppm.

Perfil D.

Las tres únicas anomalías de este perfil, la 20, la 21 y la 22, son de tipo *B*. En efecto, tienen una amplitud de un metro cada una, pero la 20 y la 21 tienen máximos no muy fuertes (220 y 225 ppm, respectivamente), como ya se anotó para la anomalía 7 del perfil *C*. La 23 tiene un máximo de 850 ppm.

CONCLUSIONES

Recapitulando lo expuesto en los capítulos precedentes, resulta que en El Seno, en 250 metros totales de líneas muestreadas, hay 10 anomalías de tipo *A* y *C* y 5 de tipo *B*, mientras que en Zeppelin, en 382 metros totales de líneas muestreadas, las anomalías *A* y *C* son 8 y las *B* son 13.

Entonces, debido a la presencia de anomalías *A* y *C* en las dos localidades, se puede decir que en ambas hubo una impregnación de las rocas por soluciones cupríferas. Sin embargo, en la localidad El Seno, las anomalías *A* y *C* son más numerosas; tienen valores máximos más fuertes,

interesan un mayor número total de metros de longitud (18.8%, contra 6.3%).

Además, la porosidad de la roca es mucho más fuerte en la localidad El Seno que en Zeppelin, como se ha dicho en el capítulo precedente. Entonces, es lógico pensar que la impregnación y la lixiviación de los minerales de cobre haya sido mucho más fuerte en la primera localidad que en la segunda.

De todo esto se puede concluir que:

1) Las rocas volcánicas de la localidad El Seno han sido impregnadas por soluciones cupríferas, de manera bastante fuerte. Pero debido a la gran porosidad de la roca, esta impregnación ha desaparecido. Lo cual hace pensar que en profundidad se halle una zona no lixiviada y además enriquecida por el cobre proveniente de la zona superior.

2) En Zeppelin la impregnación y la lixiviación han sido menos fuertes debido a la mayor compactabilidad de la roca (subvulcanitas); lo cual hace pensar que el tenor que se encuentra ahora en la roca sea muy poco diferente del que se encontraba antes de la lixiviación. Entonces, a profundidad tendremos una zona no lixiviada, de muy bajo tenor y ligeramente enriquecida, de tal manera que no se pueden esperar tenores de utilidad económica.

Aplicando estos resultados a las otras dos localidades mineras principales, San José y Ovejo, se puede pensar "a priori" que la primera, por ser semejante, en tipo de roca, a Zeppelin, no tenga, como ésta, interés desde el punto de vista minero, mientras que la segunda, donde se encuentran rocas parecidas a las de El Seno, sí debe ser interesante desde el punto de vista de la explotación minera.

No me parece útil desarrollar otras búsquedas geoquímicas en las localidades Zeppelin y Seno, puesto que en Zeppelin es muy poco probable encontrar minerales útiles, y en El Seno es muy difícil llegar a una delimitación cartográfica más o menos exacta de las anomalías, debido a su gran irregularidad.

Además, no parece necesario delimitar con precisión las anomalías en el área de El Seno, siendo éstas, como ya hubo ocasión de decir varias veces, restos de una impregnación desaparecida por lixiviación. La limitación de estas anomalías, aun cuando fuere posible, no sería de ninguna utilidad para la localización del cuerpo mineralizado. Al contrario, indicarían zonas de menor lixiviación, y por lo tanto de menor enriquecimiento a profundidad.

Pero parece útil desarrollar una prospección geoquímica, hecha de la misma manera que las que ya se hicieron, en la localidad de Ovejo, para establecer si en realidad también aquí hubo impregnación de las rocas por soluciones cupríferas y lixiviación.

Es ahora necesario ejecutar unas cuantas perforaciones en la localidad de El Seno y en la localidad de Ovejo, si allí el resultado de las prospecciones geoquímicas fuese positivo. Estas perforaciones serán de corazón continuo, donde el tenor sea económicamente útil para asegurar la efectiva existencia del cuerpo mineralizado, su profundidad, tenor y espesor.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para concluir este estudio se desea hacer resaltar los principales resultados obtenidos, tanto desde el punto de vista geológico como minero, y así dar alguna idea en lo que se refiere a la continuación de los trabajos en la región.

Geología.

Se elaboró un mapa geológico a escala 1 : 100.000 de la región comprendida entre el río Molino, al norte, y Becerril, al sur. Se tomó como base topográfica la del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", complementada al E y al N hasta la frontera venezolana. Este mapa topográfico ha sido realizado por medio de fotos aéreas. El mapa geológico se elaboró por medio de la interpretación de las fotos aéreas y de varias secciones de terreno ejecutadas principalmente entre San Diego y Villanueva. A pesar de algunas imperfecciones, que se deben a dificultades de penetración y también a una tectónica fallada muy compleja, este mapa contiene muchos elementos nuevos e interesantes para el conocimiento geológico de la Serranía de Perijá, a saber :

a) La extensión de los terrenos de edad paleozoica en el sector de Manaure (Valles de Manaure y de San José de Oriente) con sus diferentes facies. Se ensayó hacer algunas correlaciones con las formaciones paleozoicas de la vertiente venezolana de la Serranía, pero es evidente que sólo con una cartografía completa de la Cordillera se llegaría a confirmar el valor de estas correlaciones.

b) La presencia del cretáceo que cubre los estratos rojos de La Quinta de la cumbre de la Cordillera en la zona del Cerro Pintado. Este cretáceo había sido mencionado también por Miller (4).

c) El desarrollo de las riodacitas en la base de la serie de La Quinta sugiere la presencia a profundidad de intrusiones graníticas contemporáneas de estas riodacitas. Estos granitos parecen existir en la vertiente venezolana de la Serranía.

Las riodacitas han sido representadas en el mapa geológico con cierta precisión, lo que permite ver que relieves riodacíticos han existido durante toda la deposición de las areniscas rojas de La Quinta.

d) Un gran accidente tectónico más o menos paralelo a la dirección de la cadena ha sido delineado, el cual pone en contacto el paleozoico con terrenos más modernos permo-triásicos y cretácicos. El hace parte del sistema de las grandes fallas longitudinales que ha definido Miller (4) en la vertiente venezolana de la Serranía.

Además, el estudio de laboratorio aportó ideas originales acerca de la petrografía de las rocas sedimentarias y efusivas de la región.

Exploraciones mineras.

La exploración minera tuvo por objeto la búsqueda de indicios de cobre y la localización de yacimientos económicos eventuales. Con este fin se hicieron los siguientes trabajos :

1) Limitación de todos los indicios de cobre entre Molino y Codazzi, es decir, en una área de aproximadamente 1.000 kilómetros cuadrados.

Estos indicios se hallan repartidos en tres zonas:

A) Este de San Diego (Ovejo, Zeppelin, El Seno, San José).

B) Este de Urumita (Gallinazo, Portachuelo).

C) Este de Villanueva (Botella, Molino).

2) Estudio geológico y minero de detalle del sector de San Diego y elaboración de un mapa geológico de todo el sector a escala 1 : 25.000 y otros mapas de mayor escala de las localidades de Ovejo, Zeppelin, El Seno, San José.

Se escogió este sector, tanto por la abundancia y continuidad que aquí presentan los indicios como por su mayor facilidad de acceso.

3) Estudio genético de la mineralización y estudio petrográfico de detalle de los principales puntos con indicios de mineralización.

4) Estudios de geoquímica, tanto en las rocas como en los sedimentos recientes del valle, entre El Seno y San José.

De todos estos estudios, y en particular de los análisis de laboratorio realizados, resulta que:

No existe concomitancia entre el ascenso de las lavas y el de la mineralización cuprífera.

Esta mineralización puede ser bastante reciente, posiblemente de edad terciaria.

Las lavas, por su naturaleza, fueron más o menos favorables a la mineralización.

Los estratos arenáceos rojos de La Quinta, en su mayoría no son favorables con respecto a la mineralización.

Por lo que se refiere a las lavas, las investigaciones de detalle en la zona de San Diego no dejan ver concentración económica alguna en la superficie o en sus alrededores inmediatos. El cobre nativo, los óxidos y los carbonatos que lo acompañan, sólo se hallan dentro de filoncitos o lentejones que representan un porcentaje inferior al volumen total de la roca (menos de 1%).

Los tenores en el interior de estos filoncitos pueden variar de 1 a 5% de cobre metálico, o aún más.

Además, se observó:

Una alteración hidrotermal muy extensa en las lavas de las zonas indicadas arriba.

Ciertas anomalías en el interior de estas zonas, en particular en la de El Seno, que hacen aparecer concentraciones muy débiles en franjas definidas, pero de toda manera altamente superiores al "background". Estas anomalías han sido reveladas por los estudios de geoquímica.

Todo esto hace avanzar la hipótesis de que una parte de las lavas ya ha sido impregnada por soluciones cupríferas, las cuales dieron lugar a una mineralización del tipo "disseminated copper".

Posteriormente, con la erosión, se produjo un fenómeno importante de lixiviación, que hizo desaparecer todos los minerales de cobre contenidos en las lavas.

Esta hipótesis es compatible con nuestras observaciones y con los análisis de laboratorio. Si es correcta, se puede pensar en la existencia a profundidad de zonas de cementación o de zonas de sulfuros primarios.

Puede parecer extraño que en los valles de la región no se manifieste la existencia de estas zonas (menos el caso de La Botella), pero hay que tener en cuenta que estos valles no son muy profundos y que, por otra parte, se sabe que la lixiviación del cobre se opera de manera muy rápida.

Teniendo en cuenta este estudio y los resultados que él aporta, el problema del desarrollo de nuevas investigaciones tiene que ser analizado en función de los siguientes datos:

a) Ninguna concentración económica de cobre existe en la superficie o cerca de ésta en toda la zona estudiada entre Molino y San Diego.

b) Existe la posibilidad de concentraciones a profundidad y de yacimientos explotables económicamente. Esto queda subordinado a la verificación de las hipótesis que se hizo anteriormente.

Esta verificación se puede hacer en forma bastante rápida con algunos sondeos en el sector de San Diego, a saber:

Vertiente W de la colina de El Ovejo.

Valle entre La Riga y Zeppelin.

Terraza entre El Seno y San José.

En el caso de que los sondeos confirmen esta hipótesis, se podría pensar en adelantar una campaña geofísica apropiada para determinar la localización de nuevos sondeos, con el fin de llegar a localizar un yacimiento de interés económico.

En el caso contrario, no parece útil que el Ministerio de Minas y Petróleos adelante investigaciones futuras en este sector.

R E F E R E N C I A S

INFORME N° 1431

- (1) ALMOND, H. (1955).—“Rapid field and laboratory method for the determination of copper in soil and rocks”. U.S.G.S. *Bull* 1036A, T. 136 (1955).
- (2) BRUCKNER, W. D. (1954).—“Note on some fossils from the Girón group in the Río Lebrija valley, Department of Santander, Colombia”. *Journ Paleont*, V. 28, N° 1, pp. 112-113, (1954).
- (3) HEA J. P. y WHITMAN A. B. (1960).—“Stratigraphy and petrology of the pre-Cretaceous sediments of the north-central Sierra de Perijá, State of Zulia, Venezuela”. (Versión en español). *Bol. de Geol. Venezuela*. Publ. Esp. N° 3, tomo 1 (1960).

- (4) MILLER, J. B. (1960).—“Directrices tectónicas en la Sierra de Perijá”. *Bol. Geol. Venezuela*. Publ. Esp. N° 3, tomo I, (1960).
- (5) MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS. DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA, Rep. de Venezuela (1956). “Léxico Estratigráfico de Venezuela”. *Bol. de Geol.* Publ. Esp. N° 1 (1956).
- (6) MORER, J. J. y NICHOLLS, E. (1960).—“Visita a la mina Anima Sola, corregimiento de San Diego, Municipio de Robles, Departamento del Magdalena. Servicio Geológico Nacional. Ministerio de Minas y Petróleos. República de Colombia”. Informe 1358 (1960).
- (7) WOKITTEL, R. (1957).—“Bosquejo geográfico y geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta y de la Serranía de Perijá”, Servicio Geológico Nacional. Ministerio de Minas y Petróleos, República de Colombia. *Bol. Geol.* Vol. 5 N° 3, pp. 28-50 (1957).
- (8) WOKITTEL, R. (1957).—“La información cuprífera de la Serranía de Perijá (Intendencia de la Guajira y Departamento del Magdalena)”, pp. 51-67 (Ver. ref. 7).