

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

EL COBRE

IEC

1984



CONSORCIO

INSTITUTO DE ESTUDIOS COLOMBIANOS

PROPIEDAD
Sección Documentación
y Divulgación
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

INTEGRAL
INGENIEROS CONSULTORES

254
(757-260)

572 52
I59c
1984
Ej.1



EL COBRE

ESTUDIO DE INVENTARIO MINERO

553.43
I59c
1984
Ej.1



INSTITUTO DE ESTUDIOS COLOMBIANOS

CONSORCIO



ESTUDIOS PARA LA FORMULACION DEL
PLAN NACIONAL DE DESARROLLO MINERO

EL COBRE
(Estudio de Inventario Minero)

Elaborado por:
Area Técnica



Bogotá, Septiembre de 1984

E L C O B R E

1. Introducción
2. Usos del cobre
3. La industria del cobre
 - 3.1 Algunos aspectos económicos
 - 3.2 La industria del cobre en Colombia
4. Yacimientos de cobre
5. Pórfidos cupríferos colombianos
 - 5.1 Pórfidos cupríferos del Sub-Cinturón Oriental
 - Mocoa (Putumayo)
 - California (Santander)
 - El Infierno - Río Chílí (Tolima)
 - 5.2 Pórfidos Cupríferos del Sub-Cinturón Occidental
 - Pantanos - Pegadorcito (Antioquia)
 - Acandí (Chocó)
 - Murindó (Chocó)
 - Río Andágueda (Chocó)
 - Nudillas (Antioquia)
 - 5.3 Pórfidos Cupríferos del Sub-Cinturón Central
6. Otros tipos de mineralizaciones
 - 6.1 Depósitos submarinos exhalativos, tipo Kuroko
 - El Roble (Chocó)
 - 6.2 Yacimientos metasomáticos de contacto
 - Mina Vieja y El Sapo (Tolima)
 - Otros "Skarns"



- 6.3 Yacimientos varios
 - Mineralizaciones de La Guajira y Cesar.
 - Alisales (Nariño)
 - Otras manifestaciones
- 7. Evaluación del Prospecto Mocoa
 - 7.1 Generalidades
 - 7.2 Evaluación preliminar
 - 7.3 Observaciones a la evaluación preliminar
- Bibliografía y referencias

- ANEXO No.1 Modelo de un pórfido cuprífero cordillerano
- ANEXO No.2 Resumen de los principales pórfidos cupríferos de Suramérica.

LISTA DE CUADROS

- | | |
|-------------|---|
| Cuadro No.1 | Recursos Mundiales de Cobre |
| Cuadro No.2 | Distribución del Consumo de Cobre en EEUU. |
| Cuadro No.3 | Exportaciones Colombianas de Concentrados de Cobre. |
| Cuadro No.4 | Tonelaje y Valor de las Importaciones Nacionales. |
| Cuadro No.5 | Valor CIF de las Importaciones de Cobre |
| Cuadro No.6 | Ciclo de Financiación de un Proyecto Minero |
| Cuadro No.7 | Proyecto Mocoa. Resultados de la Simulación para la Explotación |
| Cuadro No.8 | Proyecto Mocoa. Costos de Capital y Operación para una Explotación a Ciclo Abierto. |
| Cuadro No.9 | Proyecto Mocoa. Evaluación Económica de las dos Alternativas de Producción. |

EL COBRE

1. Introducción

Al igual que el oro, el cobre tiene la propiedad de encontrarse en algunas ocurrencias en su forma simple como metal nativo. Fue esta la causa de que el hombre del Neolítico, 6000 años A.C., lo conociera aunque todavía no supiera usarlo.

Tribus habitantes de regiones montañosas como la península del Sinaí y del Cáucaso, donde se encontraba cobre nativo, obtuvieron el metal por recolección, la forma más primitiva de minería, y lo intercambiaron por alimentos sobrantes en las culturas que se desarrollaron en los valles fértiles del Eufrates, Tigris y Nilo.

Para el año 3.500 A.C. ya se había establecido en Mesopotamia una cultura que usaba considerables cantidades de cobre. Lo mismo acaeció en Egipto, pero medio milenio más tarde. Entre los años 3500 y 2500 A.C. las gentes del Cercano Oriente y Norte de Africa vivieron en una Edad del Cobre, en la cual el metal se utilizaba en la confección de armas tales como puntas de lanzas y puñales, y herramientas tales como hachas, hoces y anzuelos.

El conocimiento de los metales se difundió hacia la India y hacia Europa. Hacia el año 2.000 A.C. se considera que

Europa estaba en plena Edad del Cobre y que en año 2400 A.C ya había minería de cobre en Almadén, España,

A la Edad de Cobre le sucedió la Edad del Bronce. Hacia el año 1500 A.C. el bronce ya se conocía en Europa, de donde se extendió al Cercano Oriente. Esto se debió a que el estaño requerido para alearlo con el cobre era más bien común en Europa pero desconocido en el Asia.

Las culturas basadas en el cobre fueron reemplazadas por las que usaban bronce, ya que las herramientas y armas fabricadas de la aleación eran de calidad superior. Tómese por caso la espada: esta arma se derivó de la daga y su evolución fue posible al disponerse de bronce, material que es mucho más tenaz que el cobre y en consecuencia, podía fabricarse un arma más larga y esbelta que no se quebraba tan fácilmente.

Aunque el hierro también era conocido en las culturas mencionadas, los secretos de su obtención y metalúrgica no fueron descifrados hasta el año 1400 A.C., por cuanto su punto de fusión supera en 400°C el de cobre. Fueron los Hititas en el Cercano Oriente quienes resolvieron este problema y así surgió la Edad de Hierro.

El origen de la palabra cobre no es bien claro pero parece que tenga que ver con el nombre de la isla de Chipre, donde se le extraía y donde aún existen depósitos asociados al complejo de Troodos.

Por milenios el volumen de cobre utilizado por el hombre fue relativamente bajo. La producción del metal a principios del siglo pasado no llegaba a las 20.000 toneladas anuales (lo que hoy es la producción mensual de una mina mediana).

Inglaterra fue el principal productor de cobre hasta 1850. De allí en adelante lo fue Chile hasta 1883, cuando los Estados Unidos tomaron el liderazgo el que sólo perdieron temporalmente durante la crisis económica de 1930.

Los nativos sudamericanos, especialmente en Chile, explotaban el cobre antes de la venida de los españoles. La primera explotación colonial data del año 1601.

Con el advenimiento de la electricidad en 1840 se inició una nueva era para el cobre, debido principalmente a la alta conductividad eléctrica del metal y a su abundancia relativa en la naturaleza.

En el año 1904 marca una fecha importante en la industria del cobre, al iniciar Chile y los Estados Unidos la explotación de los yacimientos llamados pórfidos cupríferos, pues hasta ese entonces sólo se explotaban los yacimientos de alta ley. Con la explotación de los pórfidos cupríferos se hizo uso de las llamadas economías de escala, que permiten extraer económicamente el cobre de yacimientos de baja ley pero de gran volumen de mineral. De los 7.0 millones de toneladas de cobre que anualmente se producen en la actualidad, unos 5 millones provienen de este tipo de yacimientos.

El cobre se extrae de los yacimientos de pórfidos cupríferos principalmente mediante excavaciones a cielo abierto que alteran el paisaje en forma notable. Por cada tonelada de mineral (mena) es preciso extraer un tonelaje mayor de material estéril, el que es necesario depositar en otro sitio. Como el cobre está generalmente en forma de sulfuros, para su separación requiere destruir la liga que lo une al azufre, lo que se logra por métodos pirometalúrgicos que generan grandes cantidades de gases sulfurosos que van a la atmósfera. En las operaciones de fusión y refinación se generan volúmenes altos de escoria que también deben depositarse en la superficie del terreno. Por estas y otras razones, la metalurgia del cobre causa preocupaciones entre los defensores del medio ambiente.

Para el año de 1985 se estima que la capacidad de producción mundial de cobre será de unos 12 millones de toneladas métricas, de las cuales aproximadamente 2 millones de toneladas (16.5%), corresponderían a Suramérica. Si embargo se estima que la producción real sólo alcanzará el 65% de la capacidad instalada.

El mundo cuenta con reservas de cobre estimadas en 494 millones de toneladas, suficientes para abastecer la demanda durante las próximas décadas. Los recursos de cobre son sin embargo mucho mayores, del orden de las 2300 millones de toneladas, como se muestra en el Cuadro No.1.

CUADRO No.1
 RECURSOS MUNDIALES DE COBRE
 (En millones de toneladas métricas)

	<u>Reservas</u>	<u>Otros*</u>	<u>Total</u>
<u>Norteamérica</u>			
Estados Unidos	92	290	382
Canadá	32	109	141
Otros	30	27	57
Total	154	426	580
<u>Suramérica</u>			
Chile	97	172	269
Perú	32	36	68
Otros**	10	64	74
Total	139	272	411
<u>Europa y Cercano Oriente</u>			
Total	22	36	58
<u>Africa</u>			
Zaire	24	27	51
Zambia	33	64	97
Otros	12	18	30
Total	69	108	178
<u>Asia</u>			
Total	27	64	91
<u>Oceanía</u>			
Total	23	54	77
<u>Economías Centralizadas</u>	60	172	232
Total mundial en áreas continentales	494	1.133	1.627
Total mundial nódulos marinos	----	689	689

Fuente: Boletín 671 U.S.B.M. 1980

*Incluye los recursos no descubiertos (Hipotéticos y especulativos).

** El yacimiento colombiano de Mocoa en el Putumayo tiene sólo 0.87 millones de toneladas de cobre.

2. Usos del Cobre

El cobre es uno de los metales esenciales en la vida moderna. Se le conoce como metal de prosperidad ya que su consumo marcha a la par con la electrificación.

Por causa de una de sus propiedades más notables, la alta conductividad eléctrica, el advenimiento de la era eléctrica en el siglo pasado incrementó vertiginosamente el uso del cobre. Alrededor de un 60% del consumo mundial del cobre se destina a la industria eléctrica, a la manufactura de motores eléctricos, generadores, aparatos de control, navegación y comunicación y a los sistemas de distribución de la energía eléctrica. En los últimos años se han utilizado sustitutos del cobre, tales como la fibra de vidrio y el aluminio que se utiliza por razones económicas en las líneas de conducción de alto voltaje.

Una segunda propiedad del cobre, su resistencia a la corrosión (al igual que sus aleaciones), hacen de este metal un material de múltiples usos en la industria de la construcción, tales como en techos y plomería y en la fabricación de objetos ornamentales de bronce, latón y lámina de cobre. La industria de la construcción consume el 18% de la producción mundial de cobre.

Otra propiedad del cobre, su alta transmisibilidad del calor, lo hace especialmente útil en los sistemas de aire acondicio

nado y maquinaria agrícola. En estas aplicaciones se usa un 9% del cobre producido en el mundo.

La industria militar hace uso de un 4% de su producción en la confección de vainillas para balas, fusibles de proyectiles y aparatos de control de fuego.

Los usos misceláneos del cobre se distribuyen entre la industria química, el arte y la decoración y la acuñación de monedas.

En el Cuadro No.2 se presenta la composición del consumo de cobre en los Estados Unidos, principal consumidor mundial de cobre.

CUADRO No.2

DISTRIBUCION DEL CONSUMO DE COBRE EN E.E.U.U.

Industria Eléctrica	58.2%
Industria Construcción	18.2%
Fabricación de maquinaria y equipos	9.0%
Transporte	8.6%
Ornamentos	1.0%
Otros Usos	5.0%

3. La Industria del Cobre

Hasta el año de 1981 los Estados Unidos ocuparon el primer lugar en la producción mundial de cobre con 1,538.000 toneladas métricas, seguido por Chile con 1.081.000 toneladas métricas (Engineering and Mining Journal, 1983). Durante

los años 1982 y 1983 Chile ha tomado el liderazgo con un 20% (1.250.000 tons) de la producción mundial, seguido en su orden por Estados Unidos (18.5%), La Unión Soviética (un 18%), Canadá (10%), Zambia (8.5%), Zaire (5.6%), Perú (5.8%) y otros (13.6%).

La producción de estos países proviene en alto porcentaje de grandes minas. Así, en los Estados Unidos 5 minas generan el 45% del metal y 25 el 94%; la gran mayoría del cobre Chileno proviene de 4 minas de Codelco, la empresa estatal del cobre, cada una de ellas con los siguientes tonelajes anuales de producción de cobre: Chuquicamata 0.51 millones, El Teniente 0.27 millones, El Salvador 0.08 millones y Andina-Río Blanco 0.05 millones. La producción del Zaire se concentra en 10 minas y la de Zambia en 15.

En general, y por razón de la baja ley de los minerales en los pórfidos cupríferos, cada mina dispone de una planta de concentración como parte de sus instalaciones de beneficio, lo que permite la eliminación en forma de colas de un 98% del tonelaje extraído de la mina. El restante 2% son los concentrados de cobre en los que el contenido de este metal es de un 25% comparado con un 1% (o menos) en los minerales (cabeza). Algunas empresas están integradas verticalmente y disponen también de plantas de fundición y refinación, así como de los mecanismos de comercialización del producto.

Las compañías productoras pueden optar por vender sus productos como concentrados o llevar el proceso de extracción hasta cobre refinado. Hay países como el Japón, Bélgica y Alemania Occidental, cuya producción de cobre proviene en gran parte de los concentrados que compran a países productores de mineral. En un principio los países menos desarrollados vendían casi todo el cobre en forma de concentrados, pero con el advenimiento del nacionalismo estos países han establecido sus plantas de fundición y refinación. Es así como en 1980 las naciones miembros del Consejo Intergubernamental de Países Exportadores de Cobre, CIPEC, produjeron el 33% y exportaron el 20% de mineral y concentrado a nivel mundial. Estos mismos países produjeron el 29% y exportaron el 79% del cobre blister* comercializado en el mundo en tanto que para el cobre refinado esas cifras fueron de 19% y 58% respectivamente (Melo, 1984).

Las transnacionales aún juegan un papel importante en la industria mundial del cobre. En los Estados Unidos las compañías productoras del metal son parte de grandes empresas dedicadas a diversas actividades.

* Cobre producido por fundición con una pureza entre 96 y 99%

En 1967, Chile, Perú, Zambia y Zaire establecieron el CIPEC con fines tales como la realización de estudios de mercadeo, la difusión de los avances tecnológicos sobre el cobre y como órgano consultivo para controlar las fluctuaciones extremas en los precios del cobre. Con los países que más tarde se asociaron, el CIPEC en 1979 dominaba el 40% de la producción de cobre en el mundo y el 72% del comercio de exportación de los productos de concentración y fundición del metal. Sin embargo, intereses diversos principalmente de orden nacional, han impedido a veces el cumplimiento de los fines para los que se creó la entidad, ya que el cobre es la fuente más importante de divisas de algunos países (91% en Zambia, 61% en Zaire, 55% en Chile y 24% en Perú). Por esta circunstancia se han buscado otros mecanismos de regulación de precios a través del Acuerdo Internacional del Cobre, AIC, pero se ha tropezado con la oposición de países como Estados Unidos y Canadá que controlan el 30% de la producción mundial.

Hasta 1978 los precios del cobre eran dictados por los grandes productores (Kennecott y Anaconda de los EEUU), pero desde entonces existe un mecanismo de precios de acuerdo con el New York Commodity Exchange (Comex) y el London Metal Exchange, LME.

3.1 Algunos Aspectos Económicos

La industria extractiva del cobre es una industria intensiva en requerimientos de capital. En 1978 por cada tonelada año de capacidad de producción instalada se estimaba una inversión en mina y planta de beneficio del orden de 7.000 dólares (Schroeder, 1980). Otro autor (Kuklis, 1975) estimaba en 8.000 dólares la inversión por tonelada año de molibdeno. Obviamente hoy día esas inversiones son mucho mayores.

Los costos de producción de cobre son variables y dependen del volumen del yacimiento, de sus características físicas y de su ubicación. En 1979 los costos de operación para una mina a cielo abierto se distribuían así: Minería 30%, beneficio 20%, transporte, fusión y refinación 20%, descubrimiento, desarrollo y gastos generales 30%.

El consumo de energía en los Estados Unidos en 1978 fue de 177×10^{12} BTU para una producción de 1.869.000 toneladas métricas de cobre refinado, lo que equivale a 28.000 KW-hora/ton. aproximadamente (Schroeder y Jolly, 1980). En esta cifra está incluida toda la energía requerida por los procesos mineros de transporte y metalúrgicos. La minería consume el 19% de la energía, la concentración el 38%, la fusión el 34% y la refinación el 9%.

Uno de los costos de la extracción futura de cobre tendría que ver necesariamente con la eliminación de los gases sulfurados y la restauración del medio ambiente.

La demanda por cobre se divide en demanda por cobre primario y demanda por cobre secundario o chatarra. En razón a incentivos para el reciclaje la demanda por chatarra crece a una tasa mayor que la demanda por cobre primario; así, la tasa de crecimiento de la demanda por chatarra en el mundo es del 50%, mientras que la tasa de crecimiento por cobre primario es del 3.6%. La tasa de crecimiento de la demanda total por cobre en el mundo es del 3.9%.

Con estos índices se espera que para 1990 la demanda total de cobre sea de 11 millones de toneladas, de las cuales 8.5 millones corresponderán a cobre primario. (En 1983 se produjeron cerca de 7 millones de toneladas de cobre primario).

3.2 La Industria del Cobre en Colombia

En Colombia no existe una industria productora de cobre propiamente dicha, aunque se hayan adelantado algunas explotaciones minerales a pequeña escala para la producción de concentrados con destino a la exportación. Según las estadísticas oficiales las exportaciones nacionales de concentrados de cobre durante los últimos años han sido las siguientes:

CUADRO No.3

EXPORTACIONES COLOMBIANAS DE CONCENTRADOS DE COBRE
(Dólares corrientes)

1972:	163.123	1977:	1.091.173	1980:	3.802.079
1973:	106.304	1978:	2.983.932	1981:	2.731.446
1976:	996.554	1979:	2.812.349	1982:	1.766.706

Fuente: DANE

Desde el punto de vista de transformación, en el país se pueden distinguir dos tipos de industria del cobre, a saber: Una industria "básica" que hace uso de las técnicas de trefilación, extrusión y laminación para la producción de alambrón, barras, etc., y una industria de "Usuarios" como lo es la de la fabricación de motores, transformadores, fumigadoras, extintores, y radiadores.

Los insumos de estas dos industrias provienen de las siguientes fuentes (Vargas y Jaramillo, 1977):

- Chatarra nacional o importada y
- Productos transformados a partir de elementos importados distintos a la chatarra: Alambrón, lingotes, barras y láminas de producción nacional, obtenidos estas últimas ya de la chatarra o bien de los productos transformados antes mencionados.

En el Cuadro No.4 se presenta el tonelaje y el valor de las importaciones nacionales de cobre (incluyendo chatarra) a partir de 1976.

En el cuadro No.5 se indican los valores de las importaciones de cobre refinado y de aleaciones de cobre en la última década.

Uno de los productos de cobre de gran demanda en el país es el sulfato de cobre, del cual hacen uso varias industrias, tales como la galvanoplastia, los textiles, las curtientes, los colorantes cerámicos, los concentrados alimenticios para el ganado y los fungicidas.

CUADRO No.4

TONELAJE Y VALOR DE LAS IMPORTACIONES NACIONALES

Año	Toneladas métricas	Valor CIF Importaciones U.S.\$
1976	6.454	11.535.000
1977	9.330	16.206.000
1978	15.385	25.134.000
1979	13.889	29.148.000
1980	16.736	43.749.000
1981	15.925	43.749.000
1982	14.980	31.519.000
1983	17.362	34.463.000

Fuente: Boletín DANE No.393 de Abril de 1984.

CUADRO No.5

VALOR CIF DE ALGUNAS IMPORTACIONES DE COBRE
(Millones de Dólares)

	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Refinados	1.28	1.32	1.16	1.45	1.69	2.86	3.40	1.34
Aleaciones	----	9.37	0.92	0.74	2.86	2.31	2.40	0.79

Fuente: Rodado, C. 1981.

4. Yacimientos de Cobre

Según Jensen y Bateman (1981), las principales clases de yacimientos de cobre son las siguientes:

1. Magmáticos. Depósitos de cobre y níquel
2. Metasomáticos de Contacto
3. Hidrotermales

- 3.1 Rellenos de Cavidades
 - 3.1.1 En vetas como relleno de fisuras
 - 3.1.2 Relleno de brechas
 - 3.1.3 Relleno de cuevas
 - 3.1.4 Relleno de poros
 - 3.1.5 Relleno de vesículas
- 3.2 De reemplazamiento
 - 3.2.1 Masivos
 - 3.2.2 Filones
 - 3.2.3 Diseminados: Pórfidos cupríferos
- 4. Sedimentarios. Los Kupferschiefers
- 5. Bacteriogénicos: Estratos rojos
- 6. Submarinos exhalativos: tipo Kuroko
- 7. De enriquecimiento supergénico de sulfuros.

En los yacimientos el cobre aparece en cerca de 250 minerales, sin embargo sólo unos pocos tienen importancia económica. En los depósitos de sulfuros primarios la calcopirita (CuFeS_2) es la más abundante, seguida de la calcoocita (Cu_2S), bornita (Cu_5FeS_4), covelita (CuS), y enargita (Cu_3AsS_4)

Durante los procesos de meteorización mediante lixiviación y redepositación en la zona de oxidación, los minerales primarios de cobre pueden producir por enriquecimiento secundario capas o bandas de alto contenido metálico. Los minerales más comunes en tales depósitos oxidados son la crisocola ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), la malaquita $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, y la azurita $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$.

En Colombia existen mineralizaciones de cobre clasificables dentro de varias de las clases de yacimientos antes mencionados, entre las cuales se destacan los siguientes: los pórfidos cupríferos, los hidrotermales, los de tipo Kuroko y los metasomáticos de contacto. A los anteriores habría que agregar las ocurrencias de cobre nativo en basaltos que se conocen en algunos sitios del Chocó. Una descripción detallada de todos estos depósitos puede consultarse en Escorce (1978). En la Figura No. 1 se presenta la localización de las principales mineralizaciones de cobre identificadas en el país.

En el Anexo No. 1 se presenta un modelo ponderado de un pórfido cuprífero comercial del tipo cordillerano.

Como puede concluirse de la información contenida en el Anexo No. 1 los pórfidos cupríferos son yacimientos de gran tamaño y bajos tenores. La mineralización aparece en ellos ya como diseminada o bien en pequeñas venas dentro de rocas porfiríticas intrusivas y volcánicas. La forma de estos yacimientos es la de enrejado de vetas (stockworks) que semejan mantos, esto es de dimensiones horizontales mayores que la vertical, pero a veces tienen forma tubular (brecha pipes). En ocasiones presentan zonación vertical con una capa lixiviada encima, seguida de una zona de enriquecimiento supergenético, debajo de la cual están los sulfuros primarios, si bien la zona de enriquecimiento no siempre está presente. Las rocas huéspedes aparecen alteradas hidrotermalmente hasta

COBRE EN COLOMBIA

- PROSPECTOS
- 1 - Mocoa
- 2 - El Roble
- ▲ MANIFESTACIONES
- 3 - Pantanos-Pegadorcito
- 4 - Murindó
- 5 - Acandí
- 6 - Infierno - Chilí
- 7 - Andes
- 8 - Dolores-Natagaima
- 9 - Piedrancha
- 10 - Patascoy
- 11 - El Pisno
- 12 - Piedrosentada
- 13 - Campoflorido
- 14 - Carra El Cobre
- 15 - La Colonia
- 16 - Farallones de Medina
- 17 - Guachantiva
- 18 - Marmato
- 19 - Cerro de Neiva
- 20 - El Hobo
- 21 - Mina Vieja
- 22 - Los Guayabos
- 23 - Puerto Saldaña
- 24 - San Antonio - Río Tetuán
- 25 - El Dovio
- 26 - Beñe de Umbría
- 27 - La Baja
- 28 - El Carmen
- 29 - Sarranía de Perijá: Los Portales Cerrito - Ojo
- 30 - Cinco
- 31 - Alisales

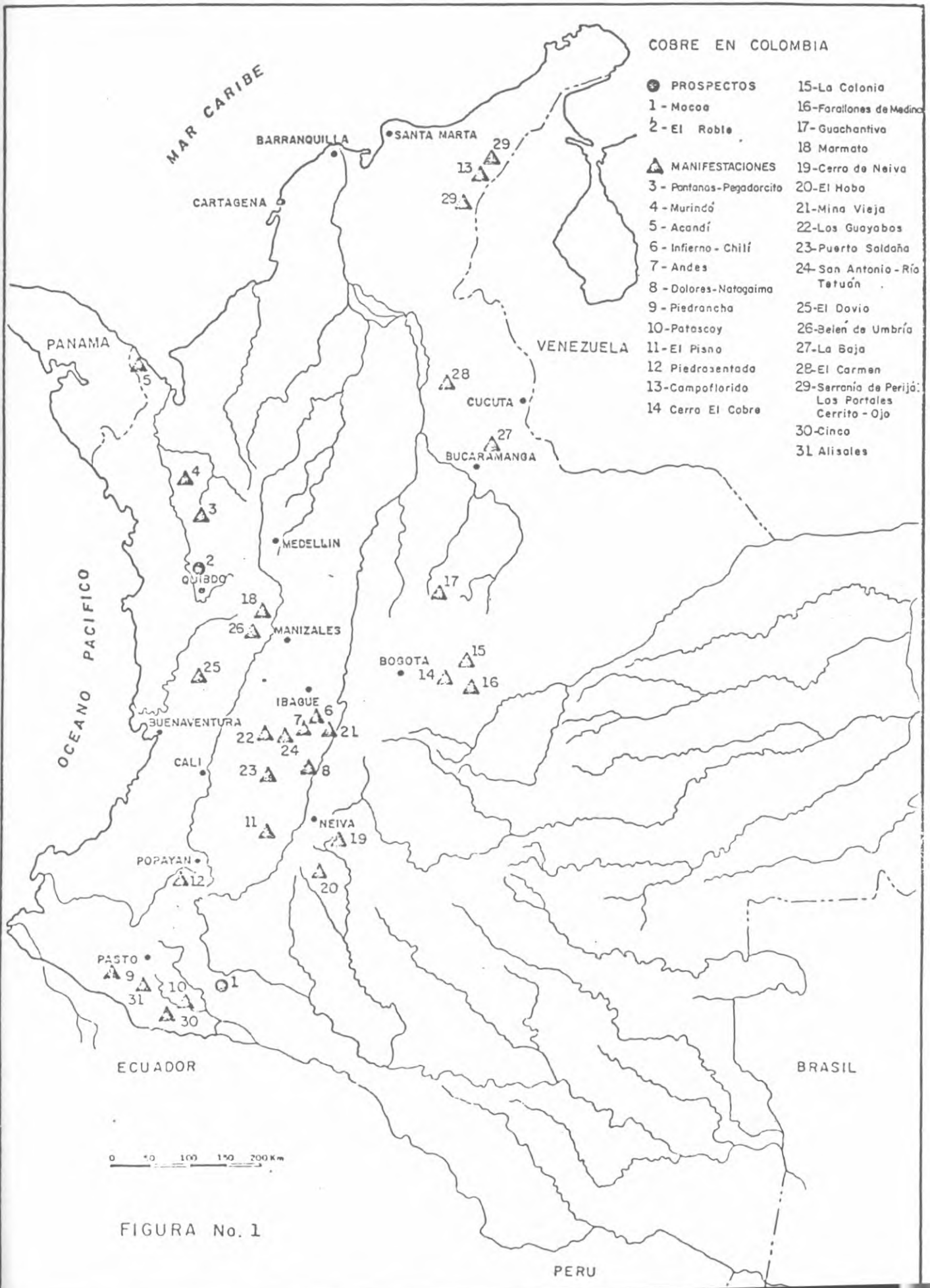


FIGURA No. 1

varias facies siendo las más notables las facies potásica, la argílica, la fílica y la propílica. Mucho se ha especulado en los últimos tiempos sobre el ambiente tectónico bajo el cual se emplazan estos yacimientos y se han propuesto varios modelos. Según Jensen y Bateman (1981) los pórfidos cupríferos sudamericanos son "ejemplos clásicos de los resultados de la acción de una placa oceánica que penetra bajo el límite occidental de América del Sur, lo que trae consigo la generación en el manto superior de cuerpos intrusivos que se levantan y muchos de los cuales están mineralizados". Este sería un proceso que aún estaría ocurriendo, a juzgar por la edad de depósitos como El Teniente en Chile (tipo "brecha pipe") datado como Plioceno (5 millones de años), en contraste con el más viejo de los yacimientos argentinos, el de Paramillos del Sur, de probable edad Triásico.

Los yacimientos de tipo Kuroko son cuerpos de forma lenticular, concordantes con los estratos piroclásticos dentro de los cuales se encuentran emplazados. Estas mineralizaciones presentan bandeamiento y zonación y están relacionadas genéticamente con rocas volcánicas submarinas; se formaron por procesos exhalativos en el fondo de un mar poco profundo en una secuencia que incluyó eventos, tales como: erupción submarina de una roca volcánica de tipo dacítico y cuya acción explosiva produjo piroclastos sobre los que se precipitaron sulfuros (pirita, calcopirita, esfalerita

y galena), resultantes de la reacción de los gases volcánicos con el agua de mar. Luego de su formación los sulfuros fueron cubiertos por sedimentos.

Este tipo de depósito tiene importancia para el país, ya que en el magmatismo del borde occidental de la Cordillera Occidental, especialmente hacia los contactos volcano-sedimentarios, se encuentran condiciones geológicas propicias para su formación. La mina El Roble presenta todas las características de ser un yacimiento de tipo Kuroko, si bien su volumen no es muy grande.

En cuanto a yacimientos metasomáticos de contacto se mencionan en Colombia ocurrencias en el Tolima y Huila, el más conocido de los cuales es el "skarn" de Mina Vieja.

Sobre cobre en filones son numerosas las menciones en la literatura geológica y minera del país, algunos de los cuales se han explotado por su contenido en metales preciosos. Se menciona también manifestaciones de sulfuros que podrían corresponder a depósitos sedimentarios, pero en los que no se ha detectado cobre.

5. Pórfidos Cupríferos Colombianos

Con base a la información geológica disponible se han definido tres sub-cinturones de mineralizaciones del tipo pórfido cuprífero en Colombia (Sillitoe y otros, 1982). Véase Figuras No. 2 y No.3).

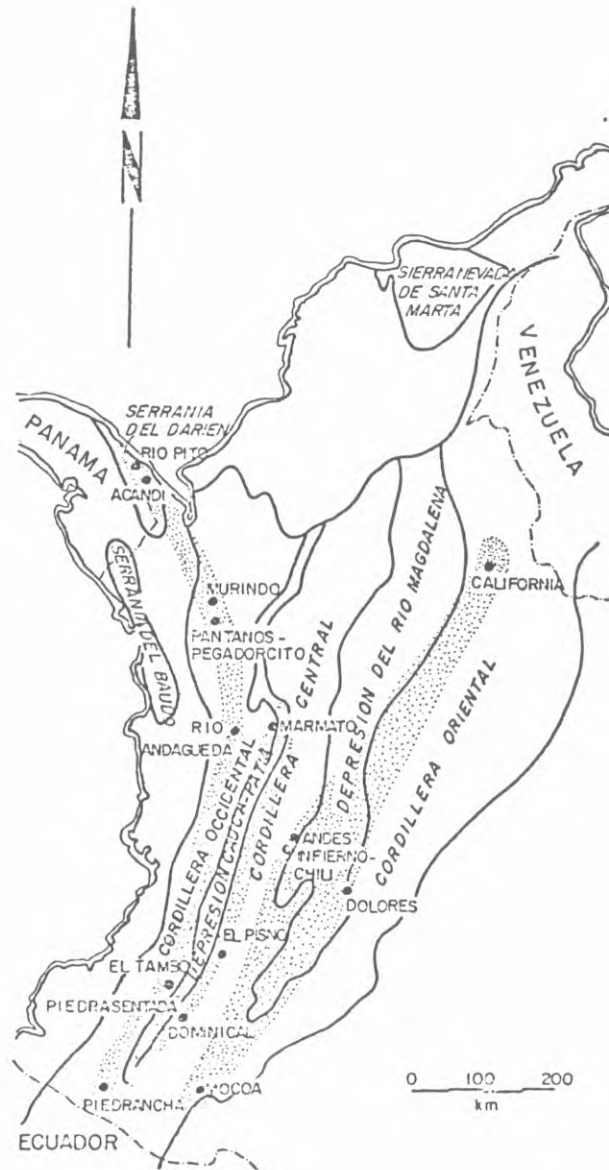


FIGURA N° 2

Localización de los principales prospectos de pórfidos cupríferos en Colombia con respecto a provincias morfoestructurales. El punteado es sólo para resaltar las provincias Occidental y Oriental. Fuente: Sillitoe y otros, Economic Geology Vol; 77, 1.982, 1.838.

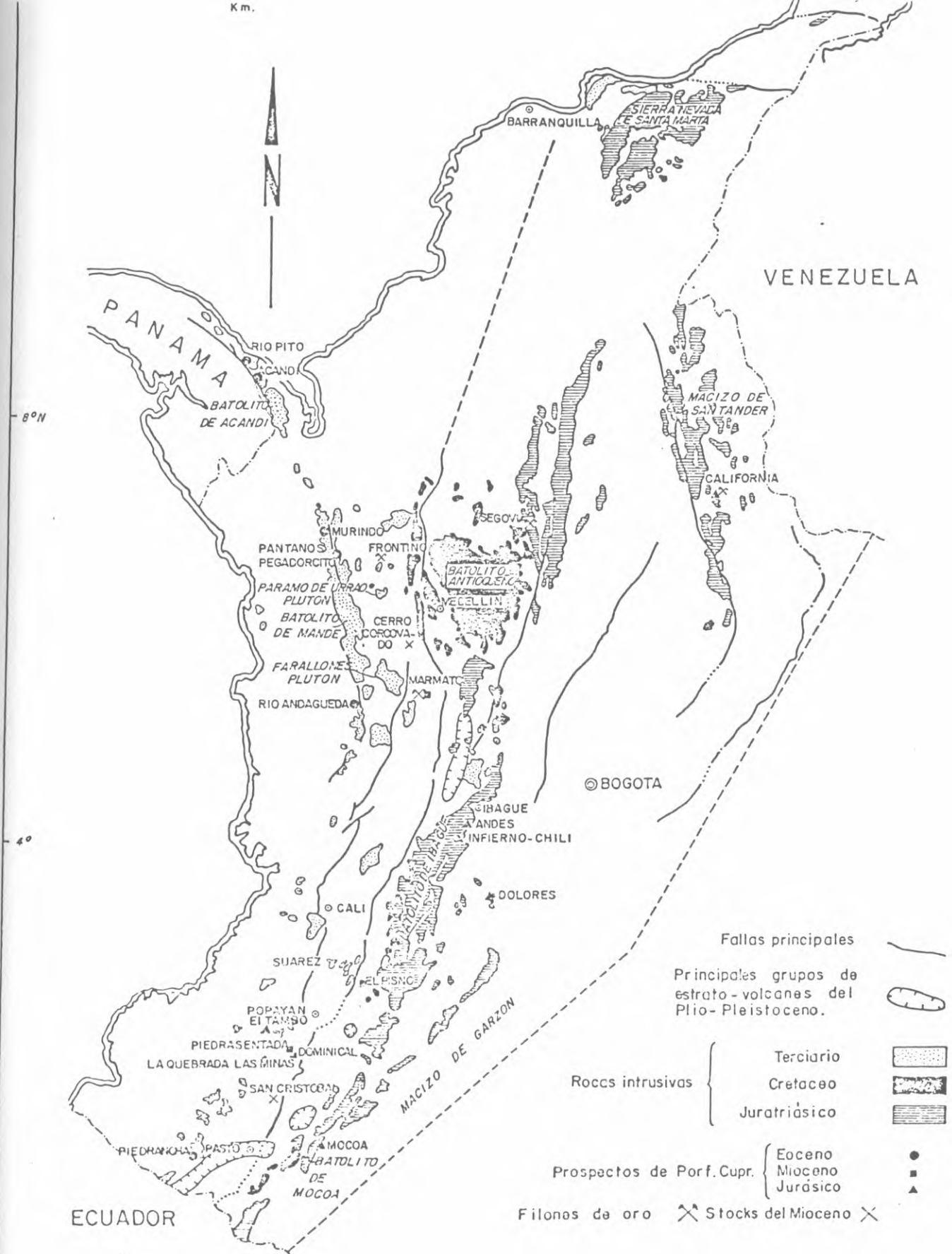


FIGURA N° 3

Localización de los principales prospectos de pórfidos cupríferos en Colombia con respecto a principales cuerpos intrusivos y estrusivos. Fuente : Sillitoe y otros, Economic Geology Vol. 77, 1.982 .

El primero de tales sub-cinturones es el llamado Sub-Cinturón Occidental que se emplazó entre el Eoceno Inferior y Medio, en un ambiente de dominio oceánico dentro de las rocas ofiolíticas que conforman el flanco occidental de la Cordillera Occidental. A este Sub-Cinturón pertenecen los siguientes prospectos:

<u>Nombre del Prospecto</u>	<u>Localización</u>	<u>Edad (K/Ar) en millones de años</u>
Murindó	Antioquia	54.7 ± 1.3
Pantanos-Pegadorcito	Antioquia	42.7 ± 0.9
Acandí	Chocó	48.1 ± 1.0
Río Andágueda	Chocó	
Piedrancha	Nariño	62 ± 6.0

El segundo Sub-Cinturón, denominado Oriental, se originó entre el Jurásico Medio y el Cretáceo Inferior en rocas de ambiente continental pertenecientes al Escudo de Guyana. Geográficamente están localizados en el flanco oriental de la Cordillera Central, en el flanco Occidental de la Oriental y en la bifurcación de las dos cordilleras. Los pórfidos cupríferos hasta ahora reconocidos en este Sub-Cinturón son los siguientes:

<u>Nombre del Prospecto</u>	<u>Localización</u>	<u>Edad (K/Ar) en millones de años</u>
Mocoa	Putumayo	166 ± 4
Dolores	Tolima	166 ± 4
California	N. de Santander	144 ± 3
Infierno-Río Chilí	Tolima	131 ± 2
Andes	Tolima	

El tercer Sub-Cinturón denominado Central está ubicado en los flancos de la depresión Cauca-Patía, en el contacto de los dominios continental y oceánico. Los pórfidos cupríferos todos de edad Mioceno hasta ahora reconocidos en este Sub-Cinturón son los siguientes:

<u>Nombre del Prospecto</u>	<u>Localización</u>	<u>Edad (K/Ar) en millones de años</u>
Piedrasentada	Cauca	17.4 ± 0.4
El Pisno	Cauca	
El Tambo	Cauca	
Dominical	Cauca	
Marmato	Caldas	6.3 ± 0.7

Las mineralizaciones del tipo pórfido cuprífero en general están asociados a rocas de composición dacítica a tonalíticas, las cuales a su vez intruyen otros cuerpos ígneos de dimensión y características de batolitos, tales como los de Mandé y Acandí en la Cordillera Occidental y los de Ibagué y Mocoa en la Cordillera Central. Sin embargo las mineralizaciones en el Sub-Cinturón Central, como se explicará más adelante, no están aparentemente relacionadas a batolitos.

Los patrones de alteración hidrotermal son muy variados: En las mineralizaciones de más alta ley, como en los depósitos emplazados a menor profundidad, son importantes las alteraciones potásicas y sericíticas (Mocoa, Pantanos, Murindó), mientras que en las mineralizaciones de baja ley,

como en el Sub-Cinturón Central, la alteración predominante es la propilítica tipificada por asociaciones de clorita, epidota, albita y calcita.

La mineralización supergénica no aparece bien desarrollada en los pórfidos colombianos, tal vez debido al fuerte levantamiento andino y a las consecuentes altas tasas de erosión.

En lo referente al contenido de metal en los pórfidos colombianos puede afirmarse que, con la excepción del de Mocoa, las informaciones que se disponen son sólo cualitativas. En general, las mineralizaciones son del tipo cobre-molibdeno, con muy bajos contenidos en oro, excepto en un sector en Murindó donde se determinaron valores para oro en muestras de roca y suelos de 2,5 ppm dentro de la zona de alteración potásica y en California, donde muestras de roca tomadas lejos de las vetas auríferas, han dado valores para oro entre 0.1 y 1.2 ppm. La relación cobre molibdeno es variada, siendo la más alta de 6.5/1 en Mocoa.

Se considera que los pórfidos cupríferos colombianos se emplazan en dos diferentes marcos tectónicos: andino y de arco de islas. Al tipo andino pertenecen los yacimientos del Jurásico y Mioceno, es decir los Sub-Cinturones Oriental y Central, emplazados durante la subducción hacia el oriente de la placa oceánica por debajo del continente suramericano de la manera antes explicada (Jensen y Bateman, 1981). Al tipo de arco de islas pertenecen los yacimientos del Sub-

Cinturón Occidental), el cual se extiende hasta Panamá con los varios depósitos existentes en el área del río Pito (Sillitoe y otros, 1982).

Kessler y otros (1977) consideran que la provincia de pórfidos cupríferos panameños se extienden hacia la zona noroccidental de Colombia. Esta provincia se descubrió en 1970 y hasta ahora se han hallado una decena de pórfidos cupríferos, el más notable de los cuales es el de Cerro Colorado, cuyas reservas son como mínimo mil millones de toneladas, con un tenor promedio de 0.65% en cobre y con la particularidad de que porciones considerables del yacimiento contienen un tenor de cobre entre 1 y 3%.

Los depósitos del tipo de arco de islas se encuentran en rocas calco-alcalinas y alcalinas que forman el edificio del arco volcánico y cuyos cimientos está generalmente constituido por rocas toleíticas. Una característica de estos yacimientos es que en las facies cuarzodioríticas tienen la tendencia a ser ricos en oro en tanto que en la granodiorítica la tendencia a ser ricos en molibdeno.

Hasta 1970 se especulaba sobre las razones para que en los Andes septentrionales, de los que Colombia forma parte, no se hubiesen encontrado pórfidos cupríferos, en contraste con los Andes centrales y meridionales (Perú y Chile). En aquella época se creía en razones de índole geológica o que también podía explicarse por el bajo nivel de exploración en la

zona tropical cubierta de bosques y con lluvias abundantes, tan diferente a los desiertos del centro y sur del sub-continente suramericano. Los recientes descubrimientos en Colombia y Panamá tienden a afirmar la segunda explicación.

A continuación se describen los pórfidos cupríferos mejor conocidos en el país:

5.1 Pórfidos Cupríferos del Sub-Cinturón Oriental

Mocoa (Putumayo)

Este yacimiento está ubicado a 10 kilómetros de Mocoa, capital de la Intendencia del Putumayo, en la bifurcación de las cordilleras Central y Oriental, a una latitud de $1^{\circ} 14' 30'' N$ y una longitud de $76^{\circ} 40' 00'' W.$, en una región abrupta y selvática y cuyo relieve se extiende desde las cotas 1100 a 1850 m.s.n.m. Su descubrimiento y exploración fue realizada por INGEOMINAS con asistencia de las Naciones Unidas (Escorce, 1978).

El afloramiento del área mineralizada cubre unos 4 kilómetros cuadrados y sus linderos están definidos por el límite exterior del halo de la pirita. El conocimiento tridimensional del yacimiento se obtuvo mediante perforaciones hasta profundidades entre 400 y 1000 m, con una longitud acumulada total de 15.3000 m distribuidos en 27 pozos a lo largo de secciones localizadas a intervalos de 100 m aproximadamente.

La sobrecapa de descapote (Overburden) varía desde algunos metros en el costado sur del yacimiento hasta centenares de metros en el costado norte. El espesor de la zona mineralizada es variable, desde unos 200 metros al sur hasta una magnitud indeterminada al norte.

Para el cálculo de reservas se estableció una distancia de influencia de 50 metros para cada perforación y la ley de corte adoptada fue de 0,25% de cobre más 0,025% de molibdeno.

Con estos criterios las "reservas geológicas" para Mocoa estimadas por INGEOMINAS son de 247 millones de toneladas métricas con un contenido promedio de 0,4% de cobre y de 0,064% en molibdeno, distribuidas en dos sectores de los cuales el más importante, llamado Sector Norte, contiene 217,6 millones de toneladas métricas con 0,43% de cobre y 0,064% de molibdeno.

La mineralización está relacionada genéticamente con un intrusivo de pórfido dacítico de probable edad Jurásico Superior, emplazado dentro de vulcanitas y sedimentos del Triásico. La roca huésped (las vulcanitas de la Formación Post-Payandé) están alteradas hidrotermalmente a sericita, cuarzo y pirita en un área sub-horizontal de 1,6 kilómetros cuadrados, bordeada externamente por una zona de alteración propilítica. Verticalmente la alteración sericítica se superpone a una alteración potásica.

La mineralización ocurre como diseminaciones, rellenos de brechas y en venas y venillas de espesores inferiores a un centímetro. Los minerales de relleno de las fracturas son cuarzo, pirita, molibdenita, calcopirita, calcita, anhidrita, yeso, feldespatos y otros.

Los sulfuros dominantes son pirita, calcopirita y molibdenita, depositados en tres pulsos de actividad hidrotermal, seguidos por períodos de fracturamiento. En el primer pulso se depositó la pirita, en el segundo principalmente calcopirita y en el tercero molibdenita y cuarzo.

Mocoa puede considerarse como un yacimiento típico de regular tamaño, bajo en cobre pero de alta relación cobre/molibdeno (6.5/1). Por esta razón se le considera como un pórfido cuprífero del tipo cobre-molibdeno y por otro aspecto, el contenido en metales preciosos es muy bajo.

Hasta el presente se ha invertido en la exploración del depósito y en el prediseño minero cerca de 3.851.400 dólares, aportados casi por partes iguales por el Gobierno Nacional y por las Naciones Unidas. FONADE ha financiado en parte la inversión colombiana.

Si bien ya se tiene un conocimiento razonable del yacimiento, la etapa exploratoria aún no ha concluido y faltan estudios, que incluyen perforaciones a una red mucho más cerrada para la delimitación de bloques de explotación y para la caracte-

rización de las reservas. Las posibilidades económicas del yacimiento se describen en capítulo aparte.

En el Cuadro No.6 se presenta el ciclo de financiación de un proyecto minero, el cual comprende las siguientes etapas de desarrollo: Geología Conceptual, Investigación de Reconocimiento, Obtención de Concesiones, Perforaciones, Estudio Económico Preliminar, Perforaciones de Delineamiento, Estudio Final de Factibilidad, Decisión sobre Inversión, Desarrollo de La Mina y Operación Minera. Según esto el proyecto Mocoa se encuentra en la etapa de Estudio Económico Preliminar.

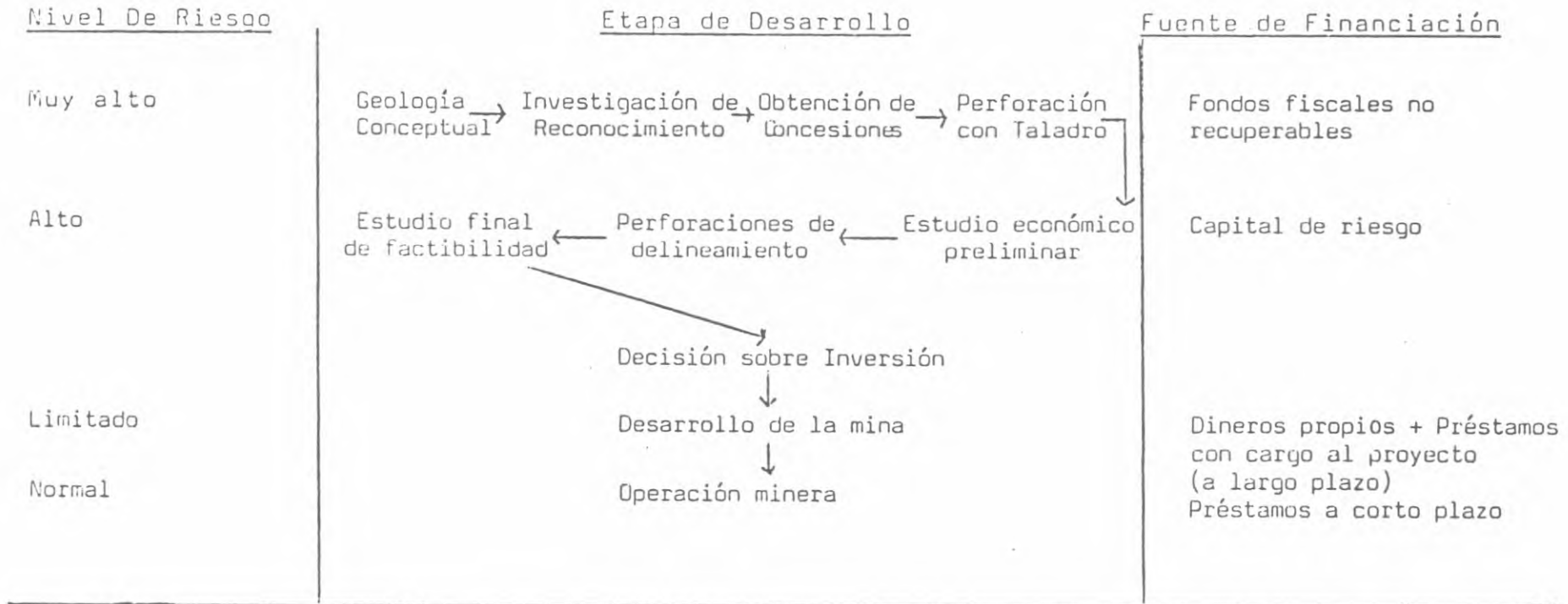
California (Santander).

Aunque se trata de un antiguo distrito minero de oro, sólo recientemente se ha definido como un pórfido cuprífero. El yacimiento de California ha sido objeto de algunos estudios, que han incluido perforaciones, pero todavía se carece de un cálculo confiable de las reservas totales. En 1967 Nippon Mining Co. realizó un programa exploratorio en el área de San Celestino-San Antonio donde calculó 40.000 toneladas de reservas de mineral con 12 gramos de oro por tonelada y 1.24% de cobre.

En otros sectores de California tales como Moscote, San Cristobal y el Cuatro se conoce la existencia de minerales de cobre, pero no se dispone de estudios que permitan estimativos de reservas y tenores de mineral. En el sector del Chorreón el tenor de cobre varía entre 0.03 y 1.5% pero se desconocen las reservas.

CUADRO Nº 6

CICLO DE FINANCIACION DE UN PROYECTO MINERO



30

Figura 3: Ciclo de financiamiento de un proyecto minero
 Fuente: Mining Magazine, 1982 Vol. 146 Nº 3

En el distrito de California es importante la presencia de oro diseminado, lo cual hace más atractiva económicamente la mineralización, pero desde el punto de vista operativo ha sido un grave inconveniente la multitud de explotaciones de los pequeños mineros, lo cual constituirá un obstáculo para cualquier proyecto de desarrollo minero integral.

El Infierno-Río Chilí (Tolima)

Esta mineralización está localizada en el flanco oriental de la Cordillera Central en el municipio de Róvira, Tolima. Las rocas huésped de la mineralización son cuarzodioritas y cuarzo-monzonitas del Batolito de Ibagué de edad Jurásico.

El programa PNUD y el INGEOMINAS realizaron muestreos de sedimentos activos y de fragmentos de rocas, así como estudios magnetométricos y geoelectrónicos en la zona anómala localizada en la región del Infierno-Río Chilí. Allí se hicieron 6 sondeos con taladro de diamante para una longitud total perforada de 1217 metros, que proporcionaron 680 muestras de 5 pies de longitud cada una y las que se analizaron para cobre molibdeno, plomo, zinc y plata. Los resultados para cobre y molibdeno fueron los siguientes:

Pozo	Profundidad metros	No. de muestras	Background Cu/Mo ppm	umbral Cu/Mo ppm	promedio Cu/Mo ppm
1	305	176	175/4	850/13	206/5
2	228	175	440/7	1000/63	476/12
3	286	177	670/23	1600/123	718/42
4	154	89	120/5	380/12	146/6
5	193	92	68/trazas	700/trazas	129/trazas
6	48	21	----	----	207/trazas

Como puede concluirse la muestra más rica alcanzó un valor de 1600 ppm para cobre, lo que está muy debajo de lo que empezaría a considerarse como una mineralización de interés económico. Con tales resultados era lógico que se suspendiera las exploraciones en esta zona.

5.2 Pórfidos Cupríferos del Sub-Cinturón Occidental Pantanos-Pegadorcito (Antioquia)

Este depósito es después de Mocoa, el que ha sido mejor explorado como pórfido cuprífero en el país.

El depósito de Pantanos-Pegadorcito está localizado al occidente del Departamento de Antioquia en los límites con el Chocó y fue descubierto mediante prospección geoquímica. El conocimiento de sus reservas se basa en varias perforaciones con taladro de diamante con un longitud total perforada de 2.756 metros.

Las reservas han sido estimadas en 62 millones de toneladas con un contenido en cobre del 0.6% (Alvarez y otros, 1983). Dado que su contenido en molibdeno es del orden de 100 partes por millón, el yacimiento parece no ser del tipo cobre-molibdeno y por otro lado algunas evidencias geológicas indicarían más bien que se trata de un pórfido cuprífero del tipo cobre-oro.

La mineralización consiste de pirita, calcopirita y bornita, minerales que se presentan diseminados y en venillas dentro

de una cuarzodiorita de grano medio y de una dacita porfirítica que intruye la primera. Estas últimas rocas y otras del área han sufrido una alteración hidrotermal que ha reemplazado a los minerales máficos por epidota y clorita.

Por su tenor en cobre este yacimiento es a primera vista atractivo, pero el tonelaje mineral hasta ahora identificado (62 millones de toneladas de mineral con 0.6% de cobre) significa solamente unas 350.000 toneladas de cobre. Se considera que la explotación de este pequeño depósito no es posible económicamente, debido a las grandes inversiones que se requerirían para la construcción de las obras de infraestructura en un área tan remota y selvática. Su explotación estaría condicionada al eventual descubrimiento en la zona de otros depósitos mayores y a que las condiciones socio-políticas y económicas del mercado del cobre cambien favorablemente. Por todo lo anterior Pantanos-Pegadorcito puede clasificarse como un depósito submarginal.

5.2.2 Acandí (Chocó)

Esta mineralización está ubicada en el extremo noroccidental de Colombia en el Municipio de Acandí, Chocó, no lejos de la frontera con Panamá. El depósito de Acandí fue descubierto en 1974 por el Departamento de Minas de la AMOCO Colombian Oil Co. y en 1975, INGEOMINAS y Naciones Unidas iniciaron trabajos de evaluación.

La mineralización tiene como rocas receptoras las cuarzodioritas del Batolito de Acandí (de 48 ± 3 millones de años, K/Ar). Estas rocas fueron alteradas hidrotermalmente a las facies propilíticas y filítica durante los procesos de mineralización y en ellas se destacan anomalías geoquímicas en cobre y molibdeno rodeadas por un halo de plomo y zinc.

La mineralización hipogénica se desarrolló en la cuarzodiorita y en sus facies leucocráticas. Los sulfuros en poca cantidad se depositaron en microvenillas irregulares diseminadas en las rocas. La relación pirita-calcopirita es del orden de 10/1.

La prospección del yacimiento se hizo por métodos geoquímicos y geofísicos. En geoquímica se hicieron muestreos de sedimentos y de fragmentos de rocas y en geofísica, se utilizaron métodos de resistividad y magnetismo.

La evaluación del depósito se hizo mediante perforaciones espaciadas entre 200 y 400 metros. Se perforaron en total 5 pozos para una longitud total perforada de 1.120 metros.

Los resultados de la exploración fueron desalentadores, ya que en las zonas más favorables el contenido de cobre nunca fue mayor de 0.2% y el molibdeno de 0.005%. Por esta razón se suspendió la exploración sin adelantar el cálculo de reservas.

El depósito de Acandí se puede clasificar como una simple manifestación de cobre.

Murindó (Chocó)

En el Municipio de Murindó, también al noroeste de Colombia y en los límites entre Antioquia y Chocó, INGEOMINAS adelantó en 1977 estudios geoquímicos que permitieron detectar varias anomalías geoquímicas, 3 de ellas de algún interés.

La primera de estas anomalías está localizada en las quebradas La Rica y Batata!, afluentes del río Coredocito. El área anómala comprende un (1) kilómetro cuadrado con contenidos de cobre en los suelos entre 300 y 4,200 ppm y en las rocas entre 700 y 20.000 ppm. Los contenidos de oro fluctúan entre 0.05 y 2.5 ppm y el molibdeno asociado entre 10 y 200 ppm.

La segunda zona denominada Jarapetó está localizada a 1.7 km al noroeste de la anterior y tiene una extensión de 1.1 kilómetros cuadrados. El contenido de cobre en los suelos varía entre 350 y 1.390 ppm y en la roca desde 700 hasta 15.000 ppm. Superpuesta a la anomalía en cobre existe una anomalía en molibdeno con contenidos entre 10 y 700 ppm. A lo anterior se encuentra asociado oro y un halo de zinc.

La tercera zona distante 2 km de la segunda es otra anomalía en cobre, cuyo contenido en muestras de suelos varía entre 350 y 980 ppm. Asociados a la anomalía se encuentran oro, molibdeno, zinc y plomo.

En todas las zonas anómalas los sulfuros se presentan diseminados y en venillas como relleno de fisuras. Las alteraciones hidrotermales predominantes son del tipo propilítica y potásica.

Debido al poco conocimiento que se tiene de estas zonas mineralizadas, las ocurrencias de Murindó se clasifican por ahora como anomalías geoquímicas que merecen interés sobre todo por su contenido de oro.

Río Andágueda (Chocó).

Esta mineralización está localizada sobre el río Andágueda, entre las quebradas Mutumbudó, Michidú y Dojurá, en el municipio de Tadó.

Los estudios realizados consideran que el depósito hace parte de un cinturón mineralizado que abarca a Acandí y Murindó (Chakrabarti y Durango, 1979). La mineralización, enteramente alojada en una cuarzodiorita terciaria con fenómenos de hibridización, está controlada por fracturas y consite de pirita, calcopirita y molibdenita, tanto en forma diseminada como en pequeñas venas, El molibdeno es raro y se halla asociado a venillas de cuarzo, donde a veces alcanza porcentajes hasta de 0.015%. En algunas venillas el contenido de cobre llega a ser hasta del 2%, pero en promedio es sólo de 0.1%.

Se ha considerado este depósito como del tipo de los pórfidos cupríferos por ciertas afinidades con estos yacimientos, tales

como la alteración hidrotermal, tipo de mineralización, roca huésped y emplazamiento tectónico, pero difiere en otros aspectos especialmente por la ausencia de intrusivos porfiríticos dentro de la roca huésped y por la alteración hidrotermal que aparece restringida a las fracturas.

La mineralización del río Andágueda carece de importancia económica.

Nudillales (Antioquia)

Este depósito localizado al noroeste del Departamento de Antioquia en el municipio de Dabeiba, fue objeto de una explotación en pequeña escala hasta hace algunos años. Su fracaso se atribuye "quizás a causa de haberse utilizado estudios geológicos muy preliminares (elaborados por la Boliden Mineral de Colombia en 1963) sin el apropiado estudio de factibilidad". (Calle, 1980).

La mineralización presenta similitud con la de los pórfidos cupríferos en cuanto a ambiente geológico, alteración hidrotermal y tipos de minerales. Nudillales esta relacionada con un pequeño intrusivo de composición intermedia (diorítico) que tal vez hace parte del magmatismo ácido Terciario del Batolito de Mandé. El cuerpo mineralizado tiene características de "Stockwork".

La porción mineralizada está constituida por una franja de 80 metros de ancho, con un contenido en cobre variable entre

entre 0.2 y 1% y de molibdeno alrededor de 0.03% (Calle, 1980). Sin embargo el contenido promedio en cobre es sólo de 0.3% y el de molibdeno de 0.015%. No se dispone de información sobre tenores de oro ni sobre reservas.

5.3 Pórfidos Cupríferos del Sub-Cinturón Central.

Este sub-Cinturón comprende las mineralizaciones de Piedrasentada, El Pisno, El Tambo y Dominical en el Departamento de Cauca. Recientemente se ha clasificado el yacimiento de Marmato como un pórfido cuprífero y en estas condiciones pertenecería también al Sub-Cinturón Central.

Las rocas huéspedes de estas mineralizaciones son cuerpos de dacitas porfiríticas que intruyen unas veces basaltos cretácicos como en el Pisno y Piedrasentada, en otras ocasiones molasas del Mioceno como en Dominical y Piedrasentada, o esquistos y Serpentinitas del Paleozóico (Sillitoe y otros, 1982). Esto equivale a afirmar que los depósitos están ubicados en la zona de contacto entre los dominios continentales y marino (zona de mélangé) que existe entre la cordillera Occidental y Central (depresión Cauca-Patía). Una característica particular de estos intrusivos es que ocurren en forma aislada, sin aparente conexión a batolitos y por otro lado, con el nivel de conocimiento que se dispone de las mineralizaciones estudiadas, si se exceptúa el yacimiento aurífero de Marmato, no tienen interés económico.

El depósito de Marmato tradicionalmente se ha considerado como una mineralización filoniana hidrotermal. Conzález (1980) considera que la alteración hidrotermal en la roca huésped de los filones no corresponde esencialmente a la típica de los pórfidos cupríferos y asigna un origen mesotermal al yacimiento, formado durante la etapa neumatolítica final. Otros autores (Mora M y Cuellar J. 1981 y Sillitoe, 1982) describen diseminación de la mineralización en la roca huésped en la cercanía de los filones y con base en esto, se consideran que Marmato puede ser un pórfido cobre-oro.

De acuerdo con el conocimiento que se dispone de las mineralizaciones incluídas dentro del Sub-Cinturón Central, parece que ninguna de ellas presenta las características que tipifican los yacimientos de pórfidos cupríferos en el mundo.

6. Otros tipos de Mineralizaciones en Colombia

Se incluyen en este grupo algunas mineralizaciones cupríferas descritas como sulfuros masivos, como depósitos filonianos y metasomáticos de contacto. La mayor parte de estas mineralizaciones no tiene interés económico, pero algunas pocas por su alto tenor de cobre han sido explotadas, aunque a pequeña escala.

Entre los principales depósitos de este grupo se consideran los siguientes:

6.1 Depósitos Submarinos Exhalativos, Tipo Kuroko.

El Roble (Chocó).

Actualmente El Roble es el único depósito explotado para cobre. La mina está situada a unos 3 kms al norte de la población del Carmen de Atrato en el Departamento del Chocó. La información minera y económica que se presenta a continuación fue suministrada por Mina El Roble Ltda.

Esta mina fue explotada inicialmente para oro hasta el año de 1982. A partir de ese año la empresa norteamericana Kennecott adelantó estudios detallados de exploración hasta comienzos de 1984, cuando suspendió los trabajos por no haber encontrado un volumen de reservas apropiado para sus proyectos mineros.

En el área de la mina afloran rocas basálticas submarinas de edad cretácea, sobre las cuales aparecen capas de liditas y sedimentos calcáreos y margosos. Encima de estas rocas se depositaron grauwacas, conglomerados y arcillolitas del Cretáceo Superior e intruyendo las rocas más antiguas se encuentran diques de andesitas hornbléndicas del Terciario. El cuerpo mineralizado ocurre cerca del contacto entre las rocas basálticas y las capas de liditas.

El depósito tiene forma lenticular de unos 300 m de largo por 200 m de ancho y un espesor máximo de 50 m y presenta una estructura brechoide muy fracturada. Los minerales más abundantes son calcopirita y pirita asociados con oro; en menor can-

tividad se encuentran esfalerita y trazas de galena. En promedio la mena presenta un 5% de cobre y 5 gr de oro por tonelada. Según Gaviria (1977) se trata de un depósito de sulfuros masivos. Estudios posteriores han confirmado tal apreciación clasificándolo como un depósito exhalativo del tipo Kuroko.

Las exploraciones realizadas por Kennecott, mediante sondeos y túneles definieron en el cuerpo mineralizado principal 1 millón de toneladas probadas, con los tenores promedios atrás anotados. Además se encontraron indicios de la existencia de otro cuerpo mineralizado, de características similares al conocido cuya presencia debe ser comprobada por trabajos posteriores.

La explotación de la mina El Roble se adelanta por el método de cámaras y pilares, con arranque del mineral mediante perforadoras neumáticas y explosivos. El mineral extraído se tritura y se muele en un molino de bolas y se concentra por flotación. Actualmente se procesan entre 40 y 50 toneladas de mineral por día, de donde se obtienen entre 7 y 10 toneladas de concentrados, pero todavía subsisten fallas mecánicas en la operación de la planta de beneficio que impiden un funcionamiento continuo del proceso. El concentrado con un tenor promedio de 22-24% de cobre y 20 gr de oro por tonelada se empaca y almacena para exportación. Hasta ahora no se ha podido obtener información sobre costos y precios de

venta de los concentrados; sin embargo con base en los estudios de otros casos similares, es posible adelantar algunos estimativos que permitan la valorización tentativa de las reservas en la mina El Roble, tal como se detalla a continuación:

Mineral procesado 200 x 50 : 10.000 ton/año*.

Producción de concentrados 200 x 8 : 1.600 ton/año

Producción anual de oro (Contenido en el concentrado)

1600 x 20 : 32.000 gr/año.

Ingresos por tonelada de concentrado.

a- Por oro: $\frac{(20 \text{ gr/ton}) \times (\text{US\$ } 370/\text{onz})}{31.10 \text{ gr/onz.}} = \text{US\$ } 238/\text{ton}$ ✓

b- Por cobre: $(230 \text{ kg/ton}) \times (2.2 \text{ lb/kg}) \times (\text{US\$ } 0.66/\text{lb}) = \text{US\$ } 334/\text{ton}$

Ingresos totales por tonelada US\$ 572

El costo de producción por tonelada de concentrado, su transporte al puerto de Buenaventura y el costo de embarque se estima que totalizan unos US\$ 160. El flete marítimo hasta el Japón es del orden de US\$ 60 por tonelada; los seguros, cobertaje en puerto extranjero, costos de fundición y refinación totalizan unos US\$ 200 por tonelada. En estas circunstancias el costo total de operación por tonelada de concentrado sin incluir cargas financieras. sería de US\$ 420.

* Se han considerado sólo 200 días de operación al año, para tener en cuenta las fallas mecánicas en la operación de la planta de beneficio.

6.2 Yacimientos Metasomáticos de Contacto

Mina Vieja y El Sapo (Tolima)

Estos depósitos están ubicados en el Corregimiento de Payan dé Municipio de San Luis, Tolima. Las mineralizaciones se han descrito como "skarns" cupríferos, formados en el contacto entre calizas del Triásico y cuerpos granodioríticos del Jurásico Superior. Los minerales presentes son magnetita, granate, epidota, hematita, blenda, pirita, calcopirita, molibdenita, calcita y metales preciosos. El contenido de cobre varía entre 1.7 y 2.05%, el de oro alcanza 1 gramo por tonelada y el de plata 35 gramos por tonelada. Las exploraciones adelantadas por la Empresa Boliden Minera de Colombia permitieron probar 750.000 toneladas de mineral (INGEOMINAS, 1978).

El yacimiento de Mina Vieja fue explotado en la década pasada hasta 1980, cuando se suspendieron los trabajos debido a los bajos precios del cobre en el mercado internacional. La mina alcanzó una producción regular de 300 toneladas de concentrados por mes con destino a la exportación. Al momento del cierre de la explotación las reservas del yacimiento se estimaron en 400.000 toneladas (Zona Minera de Ibagué. Información Verbal).

En el Departamento del Tolima se mencionan otros "skarns" con algún contenido de cobre en los siguientes municipios: San Antonio, mineralización de los Guayabos; Río Blanco, mineralización de Puerto Saldaña y San Antonio de Calarmá, mineralización de Cerro Neiva.

6.3 Yacimientos Varios

Mineralizaciones de la Guajira y Cesar.

En la vertiente occidental de la serranía de los Motilones en los municipios de San José, San Diego, El Ovejo, Villanueva y El Molino, se encuentran manifestaciones de cobre nativo, cuprita, malaquita, calcosina, hematita y geotita. Las mineralizaciones tienen la forma de lentejones de diversos tamaños, aparentemente poco persistentes hacia profundidad, encajados dentro de rocas epidotizadas y silicificadas en el contacto entre rocas ígneas y sedimentos rojos del Jurátriásico.

En la región de Campo Florido en el municipio de Barrancas (Guajira) se menciona una manifestación tipo pórfidítico con un contenido de 0.3% en cobre y en el mismo municipio se mencionan las mineralizaciones de El Cerrito y el Ojo. Estos depósitos, están asociados a diques riolíticos intruídos en rocas sedimentarias, de hasta 10 metros de espesor y hasta 150 metros de longitud, con tenores de cobre hasta 0.8%. Mineralizaciones parecidas ocurren en diversos sitios del área de Río Dulce (municipio de Barrancas).

Alisales (Mariño)

Alisales es un depósito filoniano mineralizado con bornita y escasa calcopirita, pirita y sulfosales de plata. El filón tiene un espesor de hasta 6 metros y el contenido de cobre varía entre 0.5% y 25.0% y el de oro es de 1.0 gr/ton. La mineralización es discontinua a lo largo de una longitud de 1000 m y se halla emplazada en la zona de contacto entre el Batolito de Alisales, de edad Oligoceno Medio y esquistos Paleozóicos (Estrada A, 1984). Texas Petroleum Co. exploró el yacimiento a principios de la década de 1970 y aunque no se dispone de la correspondiente información de la magnitud de sus reservas, Alisales no es un yacimiento destinado a la gran minería. Recientemente la concesión revirtió al Gobierno Colombiano.

Otras Manifestaciones

Entre las otras manifestaciones de cobre que se mencionan y que sería prolijo detallar figuran:

En el río Julio en Dabeiba, Antioquia, se conoce una mineralización de calcopirita en venas de cuarzo dentro de una zona cizallada.

En el Cerro El Cobre, a unos 7 kilómetros de la población de Gachalá, Cundinamarca, se presenta una caliza cristalina, la cual ha sido reemplazada metasomáticamente por calcopirita diseminada y en venas en un espesor de hasta 10 metros. Una

misión japonesa estimó las reservas en 1.620.000 toneladas, pero no se conoce información sobre el tenor promedio de cobre en el depósito. El contenido en cobre alcanza valores hasta de 3,36% (McLaughlin y Arce, 1977).

En los Farallones de Medina entre Gachalá y Medina, Cundinamarca, se presenta una arenisca calcárea, localmente impregnada de calcopirita y covelita a lo largo de una zona de falla de 1,5 metros de espesor. El contenido en cobre es del orden de 1.5%.

En la misma región anterior se conocen mineralizaciones de menos de 1.0% de cobre en el Alto de Bojacá y El Salitre y se tiene información sobre una antigua mina llamada La Colonia, mineralizada con 3% de cobre pero con muy pocas reservas (McLaughlin y Arce, 1971).

El Piri o Cañonegro, entre Cundinamarca y Meta se conocen como manifestaciones de cobre asociadas a minerales de uranio.

En El Hobo municipio de El Dovio, Valle del Cauca, se presentan vetillas de sulfuros cupríferos en diabasas y basaltos del Grupo Diabásico que afloran en una longitud de unos 300 metros. También se menciona cobre en Ataco, La Abeja y La Cuprita en el Tolima. En estas y en otras ocurrencias el cobre se encuentra asociado al oro, siendo los minerales de cobre nocivos en el beneficio del oro por cianuración, por decomponer las soluciones de cianuro. En Dolores-Natagaima

(Tolima) se exploró un posible pórfido cuprífero con resultados negativos (INGEOMINAS, 1978).

7. Evaluación del Prospecto Mocoa.

7.1 Generalidades

La evaluación económica de un yacimiento como Mocoa es compleja por su novedad en el país, sus características geológico-mineras, su localización geográfica y las circunstancias de tipo económico y político que en la actualidad rodean la industria del cobre en el mundo. Entre los factores de orden económico que dificultan la evaluación se incluyen las fluctuaciones del precio de venta del cobre y de la demanda del producto, las políticas fiscales del Gobierno, la inflación interna y externa, las variaciones en las tasas de interés, el programa de inversiones etc. Por el monto de las inversiones y la tecnología tan especializada que se requiere para la explotación minera de Mocoa, se supone que sólo podría ser desarrollada por una gran empresa minera extranjera o mediante una asociación Gobierno Nacional-empresa extranjera. El inversionista extranjero buscaría optimizar el beneficio económico de su inversión y el Gobierno, por su parte, buscaría optimizar sus ingresos en forma de impuestos y regalías, y además trataría de lograr la mayor participación como socio en el proyecto.

La rentabilidad estimada ha de ser tan alta como para que el empresario privado decida realizar la inversión y asumir los

grandes riesgos que la operación minera conlleva. Como regla general se puede considerar que si la tasa de retorno de la inversión no sobrepasa en forma sustancial las tasas de interés corrientes en el mercado de capitales, la inversión para el inversionista privado simplemente no se justifica.

A veces una compañía transaccional, en lugar de la optimización de sus ganancias en un proyecto específico puede buscar el logro de otros intereses importantes para su organización, tales como el control del mercado de un producto.

Un yacimiento mineral se clasifica como marginal cuando no es atractiva la rentabilidad que se puede obtener en su explotación y beneficio. Algunos yacimientos originalmente evaluados como marginales pueden llegar a ser explotables, cuando se presentan aumentos significativos del precio del producto en el mercado o cuando una innovación tecnológica permite reducir los costos de explotación o de beneficio.

La operación de un proyecto como el de Mocoa podría mejorar la balanza de pagos del país, mediante la sustitución de importaciones de cobre refinado y por el ingreso de divisas por la exportación de cobre refinado y de concentrados de cobre y molibdeno. No obstante el principal beneficio para el país se obtendría de los ingresos fiscales por concepto de impuestos.

utilidades no remesadas al exterior y por la producción de otras industrias inducidas por la minería. Para las economías regional y local se lograrían otros beneficios, como son el establecimiento de servicios e industrias complementarias al proyecto minero, el mejoramiento en la oferta y calidad del empleo de la mano de obra disponible y el mejoramiento de la infraestructura existente.

Para lograr estos beneficios se debe disponer de las obras de infraestructura necesarias para toda la operación minera y de transporte. Cuando, como en el caso de Mocoa, se requiere que estas obras sean construídas casi en su totalidad, es preciso contar con las decisiones políticas del Gobierno Central para la realización de las inversiones, por lo menos en parte, de las obras que requiere el Proyecto.

7.2 Evaluación Preliminar

Los estudios realizados por ONU, INGEOMINAS y ECOMINAS presentan la información sobre reservas y capacidad de operación minera en el proyecto Mocoa, tal como se resume en el Caudro No.7 (Naciones Unidas y Otros, 1983).

A través de las operaciones de beneficio y de metalurgia se obtenderían alternamente los siguientes productos:

CUADRO No.7

PROYECTO MOCOA. RESULTADOS DE LA SIMULACION PARA LA EXPLOTACION

Reservas Explotables	Tipo de Explotación			
	Cielo abierto	Subterránea	Combinada	
			Variante 1*	Variante 2**
Reservas explotables Tons. métricas x 10 ⁶	203.666	222.852	202.629	204.616
Tenor promedio en Cu.	0,4319%	0,3837%	0,3917%	0,4045%
Tenor promedio en Mo.	0,0621%	0,0673%	0,0673%	0,07 %
Tenor promedio en Cu. equivalente	1,0529	1,0627	1,0647	1,1045
Relación estéril/mena	2,0/1.0	-----	2,6/1,0	2,47/1,0
Capacidad operación:				
- En toneladas/año	10,5 mill.	10,5 mill.	10,5 mill.	10,5 mill.
- En toneladas/día	30.000	30.000	30.000	30.000
Vida de la mina	20 años	22 años	21 años	20 años.

* La variante 1 contempla la explotación a cielo abierto de la parte más superficial de la mineralización, por encima del nivel 1,325 msnm y una explotación subterránea con cuatro niveles de producción.

** La variante 2 comprende la explotación a cielo abierto hasta el nivel 1.250 msnm considerando tres niveles de explotación subterránea completos y uno parcial, esto debido a que una parte de este nivel se explotará a cielo abierto.

- Concentrados separados de cobre y molibdeno, producidos en Mocoa con destino a la exportación en los tonelajes y calidades siguientes:

450 toneladas diarias de concentrados de aproximadamente 25% en Cu.

35 toneladas diarias en concentrados de aproximadamente 25% en Mo.

- Alternativamente, en lugar de concentrados de cobre, en una planta ubicada en Mocoa o en La Dorada podría obtenerse cobre refinado con destino principalmente al consumo nacional, y exportarse los excedentes del cobre refinado al igual que todos los concentrados de molibdeno. En esta alternativa los tonelajes producidos serían los siguientes:
Cobre refinado: 120 toneladas diarias aproximadamente.
Concentrados de molibdeno: 35 toneladas diarias aproximadamente.

Con la ayuda del Manual Straam del Departamento de Minas de los Estados Unidos y de información obtenida de las operaciones mineras de Cerromatoso y Cerrejón, los proyectistas hicieron estimativos de los costos de operación para las alternativas de explotación a cielo abierto y producción de concentrados de cobre y molibdeno, y explotación a cielo abierto y producción de cobre refinado y concentrados de molibdeno (Véase Cuadro No.8). Las demás alternativas de explotación (subterránea y combinada se han descartado en la evaluación económica preliminar.

CUADRO No.8

PROYECTO MOCOA. COSTOS DE CAPITAL Y OPERACION PARA UNA EXPLOTACION A CIELO ABIERTO (Capacidad 30.000 toneladas día)¹.

Actividades	Costo de cap.US\$ 10 ⁶		Costos de Operación US\$ por tonelada
	Cobre Refinado Molibdeno Concent.	Concentrados de Cu. y Mo.	
Exploración	5,0	5,0	
Minería (Mena)*	96,0	96,0	1,26 + 0,01**
Descapote (estéril)***	189,6	189,6	1,17 + 0,01**
Beneficio (Mena)	75,0	75,0	2,87
Fundición y Refinación	125,0	-----	0,175/lb
Total	490,6	365,6	

Fuente: ONU, INGEMINAS y ECOMINAS, 1984.

1. Incluye costos de energía eléctrica y transporte dentro de la mina.

Excluye costos de transporte entre la planta y el sitio de venta.

* Incluye costos por desviación quebradas Chapulina y Tosoy.

** Incremento por nivel. El nivel base: 1.430 m.s.n.m.

*** Predescapote: US\$ 169,6 millones

Descapote: US\$ 20.0 millones

Con base en los estimativos anteriores y asumiendo precios de venta de US\$ 1,00 por libra de cobre y US\$ 10.00 por libra de molibdeno, los proyectistas efectuaron una evaluación económica cuyo resumen aparece en el Cuadro No.9.

CUADRO No.9

PROYECTO MOCOA. EVALUACION ECONOMICA DE LAS DOS ALTERNATIVAS DE PRODUCCION¹.

Indicadores Económicos	Producción Concentrados de Cu. y Mo.	Producción Cu, refinado concentrado Mo.
Inversión total (US\$ x 10 ⁶)	365,6	490,6
Número de años	25	25
Total de flujo de fondos (US\$ x 10 ⁶)	1,034,75	1.279,96
Tasa interna de retorno	14,76	13,99
Valor Presente neto (US\$ 10 ⁶)		
5%	513,34	622,46
10%	201,85	224,30
15%	- 8,76	48,55
Recuperación de la inversión, años	4,81	5,05

Fuente: ONU, INGEMINAS y ECOMINAS, 1983.

1. Las dos alternativas de producción son:
 - a- Concentrados de cobre y molibdeno y
 - b- Cobre refinado y concentrados de molibdeno, considerando explotación a cielo abierto.

Teniendo en cuenta las consideraciones geológico-mineras y económicas expuestas en sus estudios y resumidas en los cuadros anteriores, los proyectistas presentan las siguientes conclusiones:

" El depósito de cobre y molibdeno de Mocoa, de tipo pórfido cuprífero, posee suficientes reservas para abastecer el consumo nacional de cobre en el caso que se inicie una explotación tecnificada.

De acuerdo con los indicadores económicos, la explotación a cielo abierto es la opción con las mejores perspectivas.

La producción de concentrados de cobre y molibdeno parece la mejor alternativa.

La evaluación económica preliminar indica en primera instancia que el prospecto Mocoa es viable, bajo los parámetros económicos considerados anteriormente y teniendo en cuenta el grado de precisión del estudio que fue de $\pm 30\%$ "

7.3 Observaciones a la Evaluación Preliminar.

Analizando las conclusiones expuestas en el trabajo de evaluación preliminar del proyecto Mocoa, se pueden hacer los siguientes comentarios y consideraciones:

- Con los datos disponibles suministrados por Naciones Unidas-INGEOMINAS-ECOMINAS no es posible conocer algunos parámetros utilizados en la evaluación, tales como las tasas de interés a pagar por el capital prestado ni la tasa mínima de retorno (TMR) deseable. Se presume que los intereses pagados entraron como costos en los flujos de caja.
- Con una tarifa de impuestos del 40%, la tasa interna de retorno (TIR) para las dos alternativas de explotación evaluadas resultó ser de 14.76 para la primera y de 13.99 para la segunda. En estas condiciones los evaluadores han considerado que existe una TIR atractiva para la inversión en Mocoa.

- Debe anotarse que los costos de la infraestructura no han sido tenidos en cuenta por los evaluadores del Proyecto, ya que consideraron que estas obras deberían ser construídas en su totalidad por el Gobierno Nacional como aporte al desarrollo económico y social de la región. Sin embargo el costo de estas obras es de tal magnitud- cerca de 10.500 millones en vías y 500 millones en línea de transmisión eléctrica- que seguramente deberá ser incluido en el estudio final de factibilidad.
- Por otro aspecto, como se anotó atrás, la industria minera conlleva a un mayor riesgo que otros proyectos de inversión y para compensar esta situación, los rendimientos estimados deben ser considerablemente superiores a las tasas de interés corrientes en el mercado. Debe además anotarse que proyectos como el de Mocoa se financian generalmente con créditos externos, cuyas tasas de interés (prime rate) son ahora del 13% anual y con tendencias al alza. El proyecto ha de generar suficientes ingresos para la amortización de los capitales, así como para el pago de los intereses.
- Un criterio de evaluación establece que si la TIR está por encima de un valor para la TMR fijado por el inversionista, el proyecto es atractivo. Una tasa interna de retorno del 14%, después de impuestos, sería aceptable en algunas industrias, pero es dudoso que en las circunstancias actuales del cobre sea atractiva para inversionistas extranjeros

cuando se tiene exceso de oferta del metal, una demanda res
tringida y bajos precios.

- Las minas de cobre en general operan hoy en el mundo a sólo un 65% de su capacidad. En los Estados Unidos varias de ellas están cerradas en espera de mejores circunstancias eco
nómicas y en otras partes del mundo hay proyectos, tanto de nuevas minas como de ensanches de las existentes, que esperan entrar al mercado en un futuro próximo. Tal es el caso de Chile, que con una producción anual mayor de 1,2 millones de toneladas de cobre en 1982 está expandiendo su producción hasta alcanzar 1,5 millones de toneladas para 1990. La situación se ve agravada por las diferencias en costos de producción en diferentes países, como Chile en donde el costo por libra de cobre es de US\$ 0,49 contra US\$0,90. en los Estados Unidos (Melo, 1984). Esto implica que por razón de la situación económica de los países menos desarro
llados, éstos se vean obligados a vender a precios que, aunque bajos, están por encima de los precios de equilibrio, lo que a su vez provoca retaliaciones de los compradores a través de tarifas de importación, para tratar de hacer com
petitiva la producción de los países con costos de producción altos.
- Debido a las grandes deudas externas de muchos países, en las actuales circunstancias es difícil la financiación de nuevos proyectos mineros.

- Comparando con otros pórfidos cupríferos el de Mocoa es un depósito de bajo tenor en cobre y por lo tanto, sus perspectivas económicas se cifran en el cobre equivalente (Véase Anexo No.2). Nótese por ejemplo como en la alternativa a cielo abierto los tenores para cobre, molibdeno y cobre equivalente son 0,4319%, 0,0621% y 1,052% respectivamente. (El contenido de cobre equivalente se obtiene mediante ponderación por los respectivos precios de venta de los tenores de cobre y del molibdeno contenidos en el mineral para el tipo de explotación considerado). Se puede deducir entonces que el yacimiento de Mocoa vale más por su contenido en molibdeno (63,1% del valor total) que por el de cobre (43,9%). Dado el bajo tenor del molibdeno, medido en centésimas de unidad de porcentaje y su alto precio en el mercado (10 veces el del cobre), la economía del proyecto es muy sensible a las variaciones en el precio de venta de este metal.
- Es importante resaltar que la evaluación económica hecha por los proyectistas asignó precios de venta para la libra de cobre y molibdeno de Mocoa de US\$1.0 y US\$10, respectivamente. Sin embargo, el precio real del cobre a julio de 1984 fue de US\$ 0,63/libra y, para esa misma fecha, el precio del molibdeno en lingotes de ferromolibdeno era de US\$5,0 la libra. Se entiende que el precio del molibdeno en concentrados es más bajo.
- De todo lo anterior puede sacarse en conclusión que el yacimiento de Mocoa es un recurso potencial importante para

el país. Sin embargo, por factores geológicos (tamaño medio del yacimiento y bajo tenor), por su ubicación en una zona carente de infraestructura y por circunstancias coyunturales tales como altas tasas de interés, saturación en los mercados internacionales del cobre, recesión y problemas de deuda externa, el yacimiento no presenta perspectivas económicas claras a corto y mediano plazo.



BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- ALVAREZ, E., PARRA E., CABALLERO H. y NUTGEREN H. Estudio para justificar la prefactibilidad del prospecto Pórfido Cuprífero en Pantanos-Pegadorcito, 1983.
- CALLE, A., 1980. Estudio de las mineralizaciones en el área de Nudillales, Dabeiba: Tesis Facultad de Minas, Medellín.
- CLARK, A.H., FARRAR, E. y KENTS, P., 1977. Potassium Argon Age of the Cerro Colorado Porphyry Copper Deposit, Panamá: Economic Geology, Vol.72 p 1154-1158.
- COLBY, D. Mineral Resources Valuation for Public Policy; Inform. Circular 8422: U.S. Bureau of Mines, Washington.
- CHAKRABARTY, A., and DURANGO, J., 1979. Observaciones on a porphyry copper prospect in Chocó, Western Colombia: Econ. Geology, Vol. 74, p. 1687-1692.
- GAVIRIA, C.A., 1977. Estudio de la Mineralización Cuprífera en el Roble, Carmen de Atrato, Chocó: Tesis Facultad de Minas, Medellín.
- GONZALEZ, H., 1980. Geología de las Planchas 167 y 187, Boletín Geológico. Ingeominas, vol 23, No.1.
- HOLLISTER, V.F., 1973. Mayor Known Porphyry Copper Deposits in South America: Mining Engineering. Vol. 25, p. 52.
- ESCORCE E., 1978. Cobre, en Recursos Minerales de Colombia Ingeominas. Publicación Especial. Bogotá.
- ESTRADA, A. 1984. Información verbal.
- JENSEN, M. and BATEMAN, A.M., 1981. Economic Mineral Deposits, Revised printing. John Wiley and Sons, New York.
- KESLER, S.E., SUTTER, J.F., ISSIGONIS, M.J., JONES, L.M., WALKER, R.L., 1977. Evaluation of Porphyry Copper Mineralization in an Oceanic Island Arch, Panamá: Economic Geology, vol 72 p. 1142-1153.
- KULIS, A., 1975. Molybdenum: U.S Bureau of Mines, Bulletin 667.
- KUMMER, J.T., 1980. Molybdenum, U.S. Bureau of Mines Bulletin 671.

- MARTINEZ, G.C., 1984. Memorias del Congreso 1982-1983: Ministerio de Minas y Energía, Bogotá.
- MCLAUGHLIN, D.H. y ARCE, M.H., 1971. Recursos Minerales de los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Meta: Boletín Geológico, Ingeominas, Bogotá, Vol. XIX, No.1.
- MELO, H., 1984. Informe sobre tendencias en el mercado internacional y las estructuras productivas de minerales y metales relevantes al caso colombiano: Instituto de Estudios Colombianos.
- MINING MAGAZINE, 1980. Octubre, p. 249.
- MINING MAGAZINE, 1984. Vol. 150, No. 1, p. 59.
- MORA, B., y CUELLAR, J., 1982. Paragénesis y Origen del Yacimiento de las Minas Nacionales de Marmato, Caldas. Ingeominas. Bogotá.
- NACIONES UNIDAS: Manual de Proyectos de Desarrollo Económico.
- NACIONES UNIDAS, 1981. Mineralización de Tipo Pórfido Cuprífero, Area El Infierno, Tolima, Informe Técnico: Ingeominas, Bogotá, D.E.
- NACIONES UNIDAS, 1981. Mineralización Zona de Patascoy, Putumayo, Informe Técnico: Ingeominas, Bogotá, D.E.
- NACIONES UNIDAS, 1982, Mineralización de Cobre-Molibdeno, Acandí, Chocó. Informe Técnico: Ingeominas, Bogotá, D.E.
- NACIONES UNIDAS, INGEOMINAS, ECOMINAS, 1983. Depósito de Cobre-Molibdeno de Mocoa, Informe Técnico: Ingeominas, Bogotá, D. E.
- RODADO, C., 1981. Transición Energética y Minera, Memoria: Ministerio de Minas y Energía, Bogotá.
- ROSAS, G.H., 1982. Clasificación de Recursos Minerales: Ingeominas, Bogotá.
- SCHROEDER, H.J. and JOLLY, H.H., 1980. Copper: U.S. Bureau of Mines, Bulletin 671.
- SILLITOE, R.H., JARAMILLO L., DAMON, P.E., SHAFIQUILLAH, M., and ESCOVAR. R., 1982. Setting, Characteristics, and Age of Andean Porphyry Copper Belt in Colombia: Economic Geology, Vol. 77, No.8, pp. 1837-1850.

- STERMOLE, F.J., 1974. Economic Evaluation an Investment Decision: Golden Investment, Eval. Corp.
- STRAAM ENGINEER, 1979, Capital and Operating Cost Estimates, System Handbook: U.S. Bureau of Mines.
- TEMPLE, J., 1972. Mining and International History: Ernest Benn Ltd., London.
- VARGAS, E., y JARAMILLO, M., 1977. Estudio sobre Plnata de Beneficio Nudillales, Antioquia. Tesis de Grado Facultad de Minas, Universidad Nacional. Medellin.
- NIPPON MINING CO. 1967, Report on Prospection of the California Mines.

ANEXO No.1

Modelo de un Pórfido Cuprífero Comercial del Tipo Cordillero (Según Jensen y Bateman, 1981).

Geometría del complejo intrusivo:

Area Total: 136 hectáreas

Longitud del perímetro del intrusivo: 4,5 kilómetros

Area de la fase porfirítica: 25 hectáreas

Area de la brecha y diatremas: 11 hectáreas

Ancho de la zona de alteración por contacto: 400 metros

Geometría del cuerpo mineralizado (1)

Area de la sección horizontal: 50 hectáreas

Longitud: 987 metros

Ancho: 530 metros

Profundidad 206 metros

Tonelaje: 250,2 millones de toneladas métricas

Porcentaje del tonelaje en roca encajante: 46,2

Porcentaje del tonelaje en el intrusivo: 53,8

Características económicas del yacimiento:

Tenor de Cu: 0,67%

Tenor de molibdenita: 0,02%

Valor del Pb, Zn, Ag y Au: US\$1,38 por tonelada

Valor global del yacimiento; 2451 millones de dólares (2)

Tasa promedio de explotación: 21.000 toneladas/día

Relación de descapote promedio: 0,8/1

Inversión de capital requerida para alcanzar la etapa de producción: US\$ 123 millones

(1) Basado en una ley de corte de 0,35% de Cu o su equivalente en molibdenita.

(2) Basado en un precio de US\$0,50/libre de Cu y US\$1,70/libre de MoS₂

Geometría de la zona de alteración

Area total: 195 hectáreas

Area de alteración potásica y biotítica: 57 hectáreas

Area piritizada: 170 hectáreas

ANEXO No. 2

Resumen de los Principales Pórfidos Cupríferos de Suramérica.
Adaptación de la Tabla 1 de Hollister, 1973.

Depósito	Edad x 10 ⁶ años	Intrusivo	Intruido	Estructura	Tenor Hipo- génico	Halo de Pirita km	Reservas ₆ ton x 10 ⁶	Tenor de cobre equivalente
<u>Argentina</u>								
Campana	Ter.	Porf.	Sed.Cret.	Stockwork	N.D.	3 x 2		
Mehuida	Sup.	Crz.Mz.						
Co.Rico	5,9	Porf.	Paleoz	Stockwork	N.D.	2 x 1		
Mi Vida		Crz.Mz						
La Alumbreira	8,0	Porf. Crz.Mz	Per-Trias	Stockwork	0,4 Cu 0,04 Mo	2 x 1		
Paramillos Sur	Trias.	Mon.Porf. Dio.Crz.	Per-Trias Sed & Vol	Stockwork	0,38 Cu 0,02 Mo	2 x 1	105	0,58 Cu ✓
Pachon	Ter.	Porf. Crz.Mz	Vol.Ter	Boxwork Turmalina	0,65 Cu	8 x 6	140	0,87 Cu
<u>Chile</u>								
Chuquicamata	29,9	Porf. Crz.Mz	Granodio- rita	Stockwork	1,3 Cu 0,04 Mo	8 x 3	100	1,7 Cu ✓
Mocha	56,4	Porf. Crz.Dio.	Vol.Ter.	Stockwork	N.D.	4 x 3		
Potreriillos	34,1	Porf. Tonalítico	Sed.Jur.	Stockwork	N.D.	6 x 4		
Los Pelambres	9,96	Porf. Grdio.	Grdio.Sed.	Stockwork		4,5 x 1,5		
Cu. Blanco	4,59	Porf. Crz.Mz	Vol.Ter.	Boxwork Turmalina	1,38 Cu 0,03 Mo	11 x 5	120	1,68 Cu ✓
Los Bronces	—	Dac.	Grdio. Vol.	Boxwork Turmalina	1,7 Cu	11 x 5	30	1,7 Cu
La Escondida					1,92 Cu		392	

ANEXO No. 2

Depósito	Edad ₆ x 10 ⁶ años	Intrusivo	Intruido	Estructura	Tenor Hipo- génico	Halo de Pirita km	Reservas ₆ ton x 10 ⁶	Tenor de cobre equivalente
El Teniente	4,32	Dac.	Vol-Ter.	Boxwork Turmalina	1,7 Cu 0,05 Mo		500	2,2 Cu ✓
El Abra	33,2	Porf. Crz-Mz	Grdio.	Stockwork	N.D.	2,5 x 1		
El Salvador	39,1	Porf. Grdio.	Ter-Vol.	Stockwork	0,9 Cu 0,04 Mo	3 x 3	350	1,3 Cu ✓
Mantos Blancos		Porf-Dac.	And-Vol.	Stockwork	0,7 Cu	3 x 1	10	1,8 Cu ?
<u>Ecuador</u>								
Chaucha	9,9	Porf.	Grdio.	Stockwork	0,7 Cu	4 x 3		
<u>Panamá</u>								
Cerro Colorado		----	----	----	----	----		
<u>Perú</u>								
Toquepala	58,7	Dac.	Vol-Cret.	Bxwk	0,7 Cu 0,04 Mo	3 x 3	400	0,99 Cu ?
Michiquillay	20,6	Porf. Crz-Mz	Cuarcitas Cret.	Stwk	0,6 Cu 0,2 Mo	2 x 2	575	0,72 Cu ?
Cuajone	Ter. Inf.	Porf. Crz-Mz	Vol-Cret	Boxwork Turmalina	0,7 Cu 0,03 Mo	4 x 3	408	1,0 Cu ✓
Quelloveco	Ter. Ing.	Porf. Crz-Mz	Vol-Cret	Stwk	0,6 Cu 0,03 Mo	2 x 1,5	200	0,95 Cu ?
Cerro Verde	58,8	Crz-Mz	Grdio.	Bxwk	N.D.	3 x 3	250	1,1 Cu
Morococha	7,0	Porf. Crz-Mz	Per-Cret	Stwk	0,7 Cu 0,02 Mo	5 x 3	360	0,76 Cu

ANEXO No. 2

Depósito	Edad ⁶ x 10 ⁶ años	Intrusivo	Intruido	Estructura	Tenor Hipo- génico	Halo de Pirita km	Reservas ⁶ ton x 10 ⁶	Tenor de Cobre equivalente
----------	--	-----------	----------	------------	--------------------------	-------------------------	--	----------------------------------

Por comparación, nuestro yacimiento de Mocoa quedaría así en la Tabla

Mocoa	Juras.	Porf.	Vol.Jura	Stwk	0,45 Cu 0,062 Mo	1,6 x 1	204	1,05 Cu*
-------	--------	-------	----------	------	---------------------	---------	-----	----------

* Con precios de venta de US\$ 1,00/libra de cobre y US\$ 10,1/libra de molibdeno

Fuente: Hollister V.F., 1973, Mining Engineering V.25 p. 52
Modificado por el PNDM.

Abreviaciones:

N.D.	=	No disponible
Crz	=	Cuarzo
Dac	=	Dacita
Dio	=	Diorita
Grdio	=	Granodiorita
Mz	=	Monzonita
Porf	=	Pórfido
Sed	=	Sedimentos
Vol	=	Volcánicos
Ter	=	Terciario
Cret	=	Cretáceo
Tria	=	Triásico
Perm	=	Pérmico
Paleoz	=	Paleozoico
And	=	Andesita

El cobre/estudio de inventario/Instituto de Estudios Colombianos, Integral Ingenieros Consultores

338.476735 I597c Ej.1

CATALOGADO POR: HELPFILE LTDA

FECHA
PEDIDO

PRESTADO A

FECHA
DEVUELTO