

REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO - MINERAS

**BOLETIN GEOLOGICO**

VOLUMEN XVIII, No. 2

1970

**RECURSOS MINERALES  
DE PARTE DE LOS DPTOS.  
DE ANTIOQUIA Y CALDAS**

por

Robert B. Hall y Tomás Feininger

U.S. Geological Survey

y

Dario Barrero, Héctor Rico H. y Jairo Alvarez A.

Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras

*La responsabilidad de los conceptos emitidos en este Boletín Geológico  
corresponde exclusivamente a sus autores.*

	CONTENIDO	
	Página	
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>	
<b>INTRODUCCION</b>	<b>2</b>	
<b>Inventario Minero Nacional</b>	<b>2</b>	
<b>Área de este informe</b>	<b>2</b>	
<b>Localizaciones</b>	<b>3</b>	
<b>Exploración</b>	<b>3</b>	
<b>Recursos de la Zona II</b>	<b>5</b>	
<b>GEOLOGIA GENERAL</b>	<b>5</b>	
<b>Precámbrico</b>	<b>5</b>	
<b>Paleozóico</b>	<b>6</b>	
<b>Mesozoico</b>	<b>6</b>	
<b>Pre-Cretáceo</b>	<b>6</b>	
<b>Cretáceo</b>	<b>7</b>	
<b>Terciario</b>	<b>8</b>	
<b>Cuaternario</b>	<b>9</b>	
<b>Geología estructural</b>	<b>9</b>	
<b>RECURSOS METALICOS</b>		
<b>ORO Y PLATA</b>	<b>10</b>	
<b>Antecedentes históricos</b>	<b>10</b>	

	Página
Relación de plata a oro	12
Minas de filón	13
Minas de Segovia	13
Minas de Marmato y Echandía	15
Mina La Bramadora	19
Mina Berlín	20
Mina El Limón	22
Pequeñas minas de filón de la Zona II	23
Minas de Aluvión	24
Descripción de depósitos	25
Minas de El Bagre y Pato	25
Mina La Viberita	29
Distrito aluvial de Supía	31
Distrito aluvial de Anorí	32
Prospecto aluvial de Puerto Antioquia	33
Otros distritos aluviales	33
Origen del Oro	34
Producción de Oro y Plata en la Zona II	35
Futuro de la Minería del Oro en la Zona II	35
<b>HIERRO</b>	<b>37</b>
Laterita de Medellín	37

	Página
Morro Pelón	38
Edad de las lateritas	39
<b>NIQUEL</b>	<b>39</b>
Cuerpos Lateríticos de Uré	40
Consideraciones petrográficas	40
Perfil de la laterita	41
Origen	43
Edad de la laterización	44
Otros elementos	44
Importancia económica	45
<b>CROMITA</b>	<b>45</b>
Las Palmas Santa Elena	45
Prospección de grandes cuerpos minerales	46
<b>ME RCURIO</b>	<b>46</b>
Mina de Nueva Esperanza, Aranzazu	46
Prospecto de Aguadas	49
Perspectivas para futura exploración	50
<b>MANGANESO</b>	<b>51</b>
<b>COBRE</b>	<b>53</b>
Buriticá	53
Toledo	55

	Página
Anserma	55
Prospectos de cobre al oeste del Río Cauca	56
PIRITA	56
PLOMO Y ZINC	57
RECURSOS NO METALICOS	58
Materias primas para cemento	58
Cementos El Cairo	58
Cementos del Nare, S.A.	60
Cemento Caldas, S.A.	61
Cía de Cementos Argos, S.A.	62
CALIZA Y MARMOL	62
Subzona II A	62
Subzona II B	63
DOLOMITA	63
Amalfi	63
El Jordan	64
ARCILLA	65
Caolín de La Unión	65
Otros depósitos de caolín	68
Materias Primas Refractarias	69
FELDESPATOS	69

	Página
La Ceja	69
Otros depósitos	71
TALCO	72
Distrito de Yarumal	72
Otros depósitos	75
CARBON	75
Mina El Silencio	75
Otras minas en el distrito de Amagá	78
Otros depósitos de carbón en la Zona II	78
MATERIALES PARA AGREGADO	78
Roca triturada	78
Material de aluvión	79
Roca ígnea meteorizada	79
Material para agregado liviano	80
PIEDRA DECORATIVA	80
Esquistos verdes	80
Otros tipos de piedra decorativa	81
CUARZO Y ARENA SILICEA	81
Cuarzo de filones	81
Arena silicea	81
Arena para ladrillo silíceo	82

	Página
ASBESTOS	82
La Solita - Las Brisas	82
Otros prospectos de asbestos	83
WOLLASTONITA	83
ANDALUCITA	84
A ndalucita en esquistos	84
A ndalucita aluvial	84
BAUXITA	85
BIBLIOGRAFIA	86
ILUSTRACIONES	
Plancha I	Mapa geológico del Cuadrángulo H-8 (Yarumal) y parte del Cuadrángulo H-7 (Ituango) (En bol sillo).
Plancha II	Mapa geológico del Oriente del Departamento de Antioquia, Colombia (partes de los cuadrán- gulos H-9, I-9, H-10, I-10) Hoja No. 1 ( En bol- sillo).
Plancha III	Mapa geológico del Oriente del Departamento de Antioquia, Colombia, (partes de los cuadrán- gulos I-9, I-10, J-9, J-10) Hoja 2 (En bolsillo).
Plancha IV	Mapa geológico de los depósitos de talco, Yaru- mal Departamento de Antioquia (En bolsillo).
Plancha V	Secciones geológicas de los depósitos de talco , Yarumal Departamento de Antioquia (En bol - sillo).

	Página
Plancha VI ✓ Perfiles de pozos de perforación. Depósitos de talco, Yarumal Departamento de Antioquia (En bolsillo).	
Figura 1. Mapa Indice	
2. ✓ Croquis de localización de los recursos minerales principales de la Zona II (En bolsillo).	
3. ✓ Croquis geológico y recursos de laterita niquelífera (En bolsillo)	
4. ✓ Perfil característico de la laterita niquelífera, Uré, Córdoba.	42
Cuadro 1. ✓ Proyectos de exploración de recursos minerales de la Zona II	4
2. ✓ Producción de oro y plata de la Zona II, 1967.	36
3. ✓ Producción de cemento de la Zona II, 1967.	59
4. ✓ Materias primas refractarias	70
5. ✓ Análisis químicos de talco	74
6. ✓ Análisis de los carbones de la cuenca de Amagá y mina El Silencio	77

## RESUMEN

Los recursos minerales de un área de 40.000 kilómetros cuadrados, ubicada principalmente en el Departamento de Antioquia, pero que incluye pequeñas partes de los Departamentos de Caldas, Córdoba y Risaralda, fueron investigados durante el período 1964-68. El área corresponde a la Zona II del Inventario Minero Nacional (IMN). Unos 18.000 kilómetros cuadrados de esta área fueron cartografiados en detalle; Los cuadrángulos H-8 (Yarumal) I-9 (San Carlos) y parcialmente los cuadrángulos H-7; H-9; H-10; I-10; J-9 y J-10 (Oriente de Antioquia).

La Zona II ha sido productora de oro por muchos años y todavía produce el 75% del oro de Colombia. La plata es recuperada como un subproducto. Las lateritas ferruginosas han sido investigadas como fuentes potenciales de hierro, pero no son comercialmente explotables. Las lateritas níquelíferas de la serpentinita de Uré en la esquina noroeste de la zona, son potencialmente explotables aunque menos promisorias que las lateritas equivalentes de Cerro Matoso, situadas al norte de la zona. Los depósitos conocidos de mercurio, cromo, manganeso y cobre, son pequeños y tienen un valor limitado.

Las materias primas para cemento son importantes entre los recursos no metálicos y cuatro compañías fabrican cemento portland. La mitad oriental de la Zona II contiene grandes reservas de roca calcárea, pero la falta de vías de acceso impide su explotación en la actualidad. La dolomita de Amalfi se usa en la fabricación de vidrio y en otras industrias. Las arcillas residuales son abundantes y se emplean en la fabricación de ladrillo y teja. El caolín de La Unión se utiliza en la industria cerámica. Estratos de carbón sub-bituminoso del Terciario, son un recurso importante en la parte occidental de la zona y tienen buen potencial para explotaciones mayores. Los materiales de agregados para construcción son variados y abundantes. Los depósitos de feldespato sódico, talco, piedra decorativa y sílice, son explotados en pequeña escala. Los depósitos de asbesto situados al norte de Campamento, están siendo desarrollados para proporcionar fibra para la creciente industria de asbesto-cemento. La wollastonita y la andalucita son recursos potenciales.

## INTRODUCCION

### Inventario Minero Nacional

El Inventario Minero Nacional (IMN) fué un programa de cinco años realizado con la asistencia financiera de la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) y la asistencia técnica del Servicio Geológico Americano. El IMN comenzó en septiembre de 1963 y continuó hasta diciembre de 1968, fecha en la cual se creó el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (Ingeominas), que asumió las funciones del IMN, el Servicio Geológico Nacional y el Laboratorio Químico Nacional.

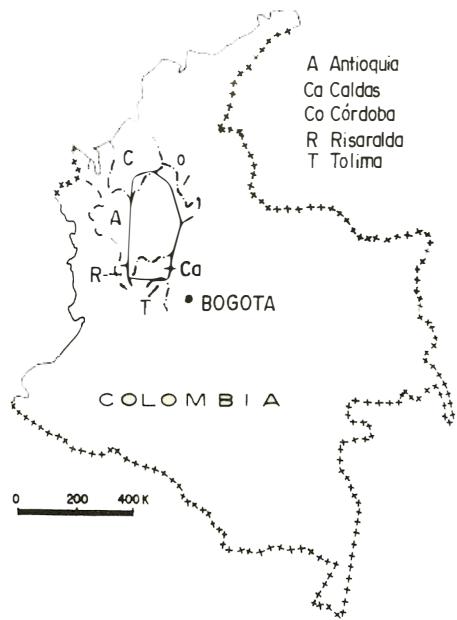
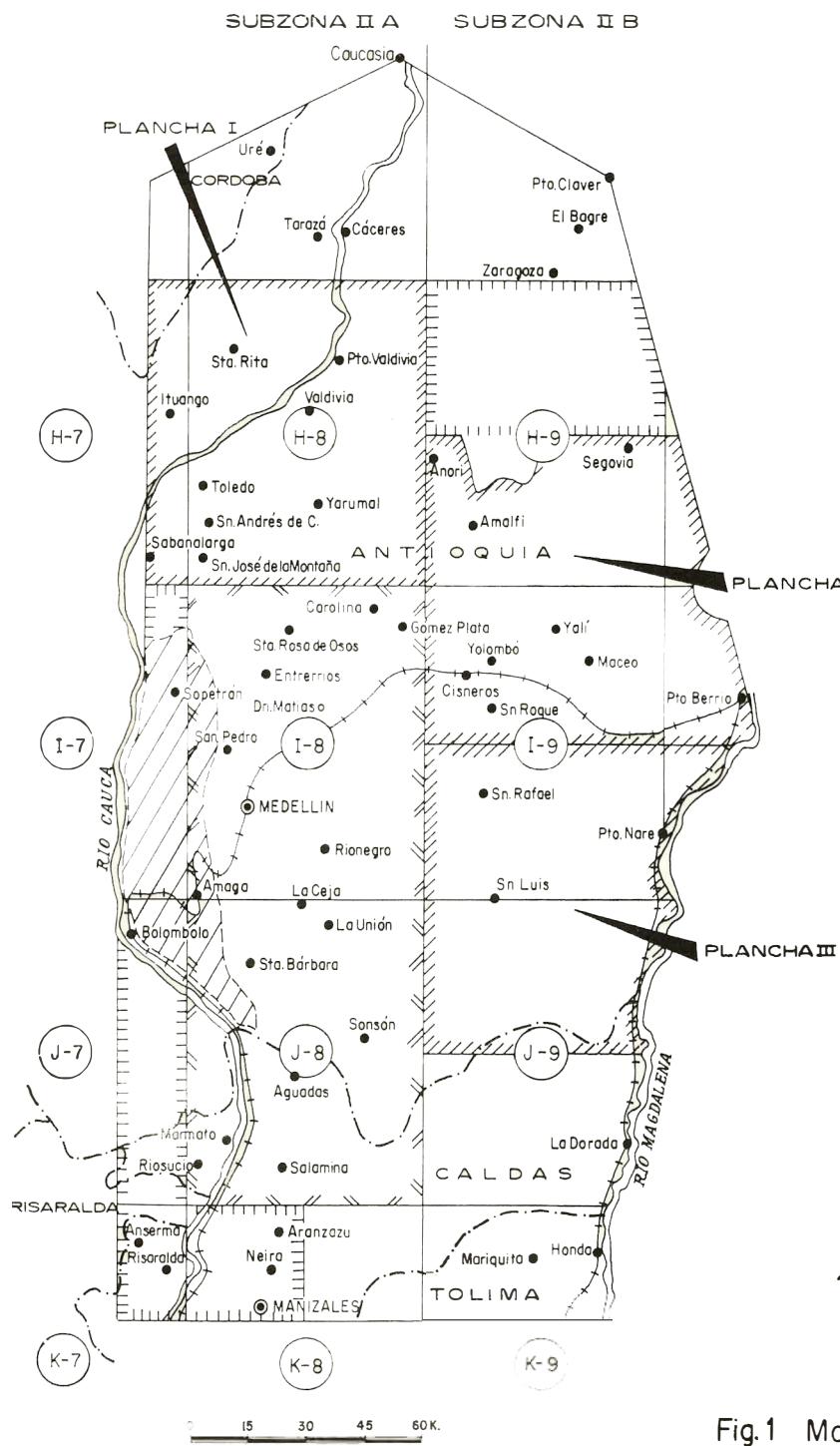
La finalidad del IMN fué evaluar recursos minerales (con exclusión del petróleo, el carbón y el oro aluvial) de cuatro zonas seleccionadas del país, que totalizan unos 70.000 kilómetros cuadrados. A cada zona fué asignado uno o más geólogos del Servicio Geológico Americano para servir como asesores técnicos. La mayor parte del trabajo de campo y la cartografía geológica fueron ejecutados por geólogos colombianos.

### Área de este Informe

Aproximadamente el cuarenta y cinco por ciento de la Zona II, o sea unos 18.000 kilómetros cuadrados, fué cartografiado a escala 1:100.000. Las áreas cartografiadas están indicadas en la figura 1. Las áreas designadas Planchas I, II y III abarcan unos 16.000 kilómetros cuadrados. Además se cartografiaron 2100 kilómetros cuadrados en la parte sureste durante 1968 y 1720 kilómetros cuadrados en la parte noreste que aún no han sido publicados.

Las otras partes de la zona han sido cartografiadas por entidades distintas al IMN o Ingeominas, tal como se indica en la figura 1. Por ejemplo, los cuadrángulos, I-8 y J-8 fueron cartografiados por la Facultad Nacional de Minas. Una faja irregular de 100 kilómetros en dirección norte-sur y 12 kilómetros en dirección este-oeste, que se extiende desde Sopetrán en el norte hasta la Pintada en el sur, fué cartografiada por el Dr. Emil Grosse (1926).

La Zona II es la más grande de las cuatro zonas escogidas



#### EXPLICACION

Contorno de las planchas cartografiadas por I.M.N.  
( Incluye los cuadrángulos H-8, I-9 y partes de los cuadrángulos H-7, H-9, J-9 )

Área cartografiada por la Facultad Nacional de Minas  
( Cuadrángulos I-8, 1965; cuadrángulo J-8, inédito )

Área cartografiada por I.M.N. inédita  
( Incluye partes de los cuadrángulos I-7, J-7, K-7, K-8 )

Área cartografiada por Emil Groose, 1926

Límite departamental

Ferrocarril

Fig. 1 Mapa índice de la Zona II, Inventario Minero Nacional

por el IMN y comprende unos 40.000 kilómetros cuadrados, principalmente en el Departamento de Antioquia, aunque abarca pequeñas áreas en los Departamentos de Caldas, Córdoba y Risaralda (figura 1). A causa de su gran tamaño y por cuestiones de vías de acceso se dividió la zona en dos partes. La parte occidental fué llamada subzona II A y la oriental, subzona II B, las cuales simplemente se designarán en este informe II A y II B, respectivamente. Cada subzona tuvo su propio grupo de geólogos de campo y su asesor técnico del Servicio Geológico Americano, Lawrence V. Blade fué asesor en II A hasta principios de 1967, cuando Robert B. Hall ocupó su lugar. Tomás Feininger fué el asesor en II B. Fueron jefes de la Zona los geólogos Hernán Vásquez C., Héctor Rico y Jairo Alvarez A.

#### Localizaciones

Las localizaciones de los lugares en los tres mapas geológicos a escala 1:100.000 de las Planchas I, II y III, se dan por simples coordenadas. Los mapas están subdivididos en pequeñas áreas rectangulares llamadas "Planchitas", cada una de 150 kilómetros cuadrados. Las planchas llevan en los mapas las letras a, b, c, d y e, de izquierda a derecha y los números 1, 2, 3, 4, etc. de arriba hacia abajo.

Las Planchas I, II y III, cubren en conjunto un 45% del área total de la Zona II, pero este informe se refiere a los recursos minerales de toda la zona. Los lugares no localizados en las planchas mencionadas son designados, por ejemplo, "6 kilómetros al sur de la Ceja". En la figura 2 se muestra la localización de las minas más importantes, canteras y prospectos de la zona, así, como los municipios que se mencionan en este informe.

#### Exploración

El énfasis principal se concentró en la cartografía geológica regional porque el conocimiento de la geología de un país es el primer paso en la investigación de sus recursos minerales. Conjuntamente con la cartografía regional, se adelantaron proyectos especiales para explorar depósitos conocidos o prospectos con poca información disponible. Los más importantes de estos depósitos, están indicados en el Cuadro 1. Los resultados se discuten en los capítulos correspondientes.

NOMBRE DEL PROYECTO Y LOCALIZACION	METAL O MINERAL	CLASE DE TRABAJO EJECUTADO	DURACION
Buriticá 140 km. NW de Medellín 8 km N.E Buriticá	Cu, Pb, Zn Au, Ag	Topografía y cartografía geológica a gran escala, perforaciones, muestreo, ensayos y evaluación	Julio /64 Octubre /66 Intermitentemente
Laterita de Morro Pelón (Plancha I, e-6)	Fe, Ni	Apiques, muestreo, ensayos	Diciembre /64 Febrero /65
Maceo (Plancha II, c-7)	Wollastonita	Cartografía topográfica y geológica a gran escala perforaciones, muestreo, cálculo de reservas.	Agosto-Octubre /66
Yarumal (Plancha I, d-6)	Talco	Topografía y cartografía geológica a gran escala, análisis, perforaciones, muestreo, cálculo de reservas, estudio de mercados, evaluación de un desarrollo a gran escala.	Febrero /66 Noviembre /67 Intermitentemente
Amalfi (Plancha II, a-3)	Dolomita	Topografía y cartografía geológica a gran escala, muestreo, análisis, cálculo de reservas.	Junio /66
Llanos de Cuiva (Plancha I c-8)	Bauxita	Apiques, perforaciones, muestreo, ensayos	Junio-Julio /66
Laterita de Uré 2 km W de Uré	Ni, Fe	Topografía y cartografía geológica a gran escala, apiques, muestreo, análisis, cálculo de reservas.	Octubre /66 Diciembre /67 Intermitentemente

CUADRO 1

PROYECTOS DE EXPLORACION DE RECURSOS MINERALES DE LA ZONA II

1964-1967

Considerando lo escarpado del terreno y la cubierta profunda de suelo y materia coluvial, es posible que algunos depósitos minerales hayan pasado inadvertidos durante el trabajo cartográfico. Por ejemplo, algunos filones de oro nativo pueden permanecer ignorados porque ellos son demasiado pobres en sulfuros para formar "sombreados de hierro" que pudieran haber llamado la atención del geólogo. Depósitos ocultos actualmente, pueden ser descubiertos en el futuro mediante exploración geoquímica o geofísica.

#### Recursos de la Zona II

En los capítulos siguientes se mencionan todas las ocurrencias de minerales conocidos dentro de la Zona II y de algún valor económico.

La figura 2 muestra la localización de la mayor parte de las minas conocidas, canteras y prospectos. En cuanto a las de oro sólo se muestran las activas y algunas de las minas abandonadas que fueron de alguna importancia.

La industria minera en la Zona II comenzó con la explotación del oro y la mayor parte de las personas en Antioquia, asocian la minería con la del oro. Esta es una asociación lógica, porque Antioquia ha sido la fuente principal del oro en Colombia y su mayor provincia aurífera, que ha producido aproximadamente un 1% de todo el oro recuperado en el mundo desde el comienzo de la historia humana. En la actualidad, la producción de minerales no metálicos y sus derivados representan una gran fracción en la producción minera y van reemplazando al oro y su subproducto la plata.

#### GEOLOGIA GENERAL

##### Precámbrico

Afloramientos aislados de rocas metasedimentarias desupuesta edad precámbrica se encuentran en el borde oriental de la zona (Plancha II). Estas son principalmente neises cuarzo feldespáticos con lentes esporádicos de anfibolita y mármol con silicatos cárnicos. No se conoce ningún recurso mineral de interés económico asociado a estas rocas.

### Paleozóico

Shale gris negro, limonita silícea, metarenisca arkósica y algunas calizas intercaladas afloran en un área de 45 kilómetros cuadrados (Plancha III, e-9). Estos sedimentos ligeramente metamorfosados son adscritos al Ordoviciano con base en graptolites.

Una serie compleja de metasedimentos no diferenciados del Paleozóico (Devónico (?) a Pérmico ?) ocurre en grandes áreas de la zona, especialmente a lo largo de la periferia del Batolito Antioqueño, que los intruye discordantemente. Los tipos litológicos dominantes son: Neises alumínicos y feldespáticos, cuarcitas y neises cuarzosos, anfibolitas y esquistos pelíticos. Mármol y rocas calcáreas asociadas, son miembros prominentes de la serie metasedimentaria del Paleozóico en II B, pero escasos en II A. Los esquistos y neises se designan colectivamente Grupo de Valdivia en II A y en II B, se llaman simplemente rocas metamórficas de la Cordillera Central.

Las vetas epigenéticas de cuarzo aurífero son comunes en el Grupo Valdivia y en los esquistos de cuarzo-sericitografito equivalentes. El metamorfismo regional y de contacto de los esquistos pelíticos alumínicos formó porfiroblastos de andalucita, un recurso potencial auncuando actualmente inexplicable. El esquisto verde es explotado como piedra decorativa de construcción en la población de Valdivia (Plancha I, c-4), localidad de la cual el Grupo de Valdivia toma el nombre.

Los plutones sintectónicos del Paleozóico Superior (Pérmico ?) intruyen el Grupo Valdivia y metasedimentos equivalentes y se cree, que algunos depósitos de oro se originaron de estos plutones.

### Mesozóico

#### Pre-Cretáceo ( ? )

Un plutón diorítico del Jurásico (160 + m de a. con base en la relación K-Ar de una hornblenda; R. Marvin, U.S.G.S., comunicación escrita 1968) cubre unos 600 kilómetros cuadrados en la parte oriental de II B. Vetas de oro en este cuerpo son explotadas por la Frontino Gold Mines Ltda. (Plancha II, a-4).

Afloramientos locales de rocas volcánicas félsicas altamente fracturadas, ocurren como inclusiones en la diorita del Jurásico de Puerto Berrío (Plancha II, e-7).

#### Cretáceo

Las rocas sedimentarias y volcánicas del Cretáceo son prominentes en algunas áreas. Shale negro carbonáceo, localmente fosilífero, es el tipo litológico dominante en el Cretáceo de II B ; "grauvaca", limonita, arenisca y conglomerado, están interestratificados con shale en II A (Formación La Soledad, Plancha I, e-5 y 6) y son localmente prominentes también en II B. Pequeñas cantidades de caliza y marga y estratos de metatoba andesítica o dacítica, están intercaladas localmente con los shales. Las rocas sedimentarias del Cretáceo, tienen poca importancia económica. Estratos de conglomerado con guijos de cuarzo blanco, cerca de Amalfi (Plancha II, a-3), son una fuente potencial de gravas para ladrillo de sílice y el shale hinchante puede constituir un recurso para agregados livianos.

El metabasalto y rocas piroclásticas máficas de composición toleítica, forman una faja de dirección norte en el límite occidental de la zona. Esta faja es asignada al Cretáceo con base en foraminíferos identificados en lentes de lidita (Botero A., comunicaciones oral y escrita, 1968). Lentes con manganeso ocurren en Santa Bárbara, 50 kilómetros por carretera al sur de Medellín, asociados con liditas intercaladas con metabasalto de supuesta edad cretácea. Manifestaciones menores de minerales de cobre ocurren en metabasalto cerca de Anserma, Caldas, en la esquina sur-occidental de la zona. Ningún otro material de importancia económica ha sido reconocido en la serie metabásica del Cretáceo.

Metabasaltos, metagabros y serpentinitas, colectivamente asignados al Cretáceo Mesozoico, son prominentes en II A, pero rocas equivalentes de la serie ofiolítica alpina son escasos en II B. Las serpentinitas son de especial interés económico porque algunas de ellas contienen depósitos de talco, asbestos de crisotilo y cromita y la intensa meteorización, ha formado lateritas ferruginosas y niquelíferas.

Los sedimentos marinos clásticos de la Formación San Pablo, asociados con metabasaltos espilíticos, son asignados al Cretáceo (Esquina suroriental de la Plancha I, e-5, 6, 7 y 8).

El Batolito Antioqueño abarca unos 8.000 kilómetros cuadrados y es asignado al Cretáceo Superior con base en análisis de K-Ar en biotita (Botero A., 1963, p. 81). Es en general una tonalita compuesta de plagioclasa (An40-An55), cuarzo, biotita y hornblenda. El batolito es de considerable importancia económica porque es el huésped de muchas vetas de cuarzo aurífero y la fuente de soluciones mineralizantes hidrotermales que formaron filones de cuarzo aurífero en los esquistos del Grupo Valdivia que fueron intruidos por el batolito. La meteorización del batolito ha producido arcilla saprolítica usada para fabricar ladrillo y teja. La caolinita, para productos cerámicos de alta calidad, procede de la cúpula de La Unión. Los filones de cuarzo formados por soluciones hidrotermales residuales del enfriamiento del batolito, son una fuente de sílice industrial y pegmatitas del mismo magma al sur de La Ceja, se explotan para feldespato que se usa en cerámica. El metamorfismo térmico de calizas cuarzosas a lo largo del contacto del batolito, formó cerca de Maceo (Plancha II, c-7) depósitos de wollastonita, de posible importancia económica.

Otros plutones silíceos semejantes en composición aunque presumiblemente algo más antiguos que el batolito, han sido cartografiados, pero son de importancia menor por su extensión superficial y como fuente de minerales económicos.

### Terciario

Una franja irregular pero continua, de sedimentos clásticos no marinos del Terciario, ocurre a lo largo del borde oriental de la zona, paralela al río Magdalena. Las rocas sedimentarias y volcánicas del Terciario, son prominentes en la parte suroccidental de la zona de Sopetrán hacia el sur hasta Anserma especialmente en el lado occidental del Río Cauca. Los mantos de carbón sub-bituminoso, son un recurso importante en II A, actualmente explotados en Amagá y Río Sucio.

Aluviones aislados, en terrazas elevadas con relación al cauce actual de las corrientes y que se presume corresponden al Terciario Superior (Plioceno ?), han sido trabajados hidráulicamente para oro, especialmente cerca de Amalfi (Plancha II, a-3).

Plutones de diorita y pórfido andesítico intruyen rocas del Cretáceo y del Terciario más antiguo en la esquina suroccidental de la zona. Uno de éstos, en Marmato, Caldas, es huésped de filo-

nes de cuarzo aurífero y la fuente de soluciones hidrotermales que formaron filones semejantes en techos pendientes de los esquistos del Paleozoico. Pequeñas cantidades de sulfuros de metales básicos están asociados con los metales preciosos.

En Aranzazu y Aguadas, Caldas, mercurio nativo y cincabrio ocurren en las fisuras del esquisto cuarzo-mica-graftico del Paleozoico. Se cree que los minerales de mercurio fueron depositados por soluciones hidrotermales emanadas de intrusiones andesíticas cercanas.

#### Cuaternario

Los aluviones del Cuaternario ocurren aparentemente en todos los valles, pero solamente los depósitos más prominentes han sido cartografiados. La mayor parte de los aluviones están poco o nada consolidados y casi todos ellos son auríferos, aunque los depósitos explotables son muy limitados. La Pato Consolidated Gold Dredging Ltd., explota los aluviones cuaternarios del valle del río Néchi cerca a El Bagre, en la esquina noreste de la Zona. Probablemente el 55% de todo el oro producido en la Zona II proviene de placeres. Los aluviones cercanos a los centros de población son una fuente importante de arena y cascajo para construcción.

#### Geología estructural

La Zona II forma parte de un sinclinalio complejo el cual fué primero intruído en forma concordante por plutones sintectónicos catazonales o mesozonales de tonalita y después discordantemente por el Batolito Antioqueño posttectónico y epizonal. El sinclinalio se originó durante el Paleozoico, simultáneamente con la acumulación de sedimentos clásticos y piroclásticos maficos del Grupo Valdivia, en un gran eugeosininal de dirección norte. Extensos estratos calcáreos se depositaron en II B, pero no en II A. Este gran prisma de sedimentos geosinclinales, posiblemente de unos 13 kilómetros de espesor total, fué intensamente plegado y metamorfoseado a la facies de esquistos verdes y localmente a la facies de anfibolita, posiblemente durante el Pérmico Superior o el Triásico Inferior, por fuerzas tectónicas regionales que actuaron perpendicularmente al eje de la cuenca. Se cree que las intrusiones sintectónicas de tonalita, se emplazaron en este tiempo. Esta tectogénesis fué seguida en el Mesozoico por flujos de lava basáltica, intrusión de gabros y serpentinas a lo largo de fallas y fracturas y depo-

sitación de sedimentos clásticos marinos o de tipo *flysch*. Una segunda tectogénesis hacia fines del Cretáceo culminó con la intrusión postectónica del Batolito Antioqueño.

Durante el Terciario, el área se levantó y fué erosionada intensamente, lo cual dió por resultado la depositación en cuencas adyacentes de sedimentos de molasa, terrestres y marinos, acompañados por estratos de origen volcánico y la formación de mantos carboníferos. Estos sedimentos más jóvenes fueron inclinados de su posición original por fuerzas orogénicas del Terciario Superior, pero no fueron apreciablemente metamorfosados. El levantamiento epeirogénico del Plioceno al Holoceno y la erosión acompañante ha esculpido al área su forma actual.

Fallas mayores de rumbo, tales como la de Romeral en II A y las de Otú y Palestina en II B, figuran entre las más notables estructuras geológicas reconocidas en la Zona II pero su relación con las fuerzas tectónicas que causaron el plegamiento y el metamorfismo no es clara. Algunas de estas fallas de rumbo son trazables por varios centenares de kilómetros y tienen desplazamientos laterales medibles en decenas de kilómetros, aunque solamente el de la Falla de Palestina, está bien comprobado con un desplazamiento lateral derecho de 28 kilómetros (Feininger, 1970). Algunos movimientos aparentemente comenzaron en el Mesozoico y pueden haber continuado intermitentemente durante el Terciario; sin embargo no se sabe si algunas de las fallas de la Zona II están en actividad. No se conoce ningún depósito de importancia comercial que esté directamente relacionado a estas grandes fallas de rumbo.

## ORO Y PLATA

### Antecedentes históricos

Los depósitos de oro y plata no fueron especialmente estudiados por el IMN y la mayor parte de nuestra información, procede de la literatura o de las comunicaciones de los mineros. La minería de oro y plata ha sido tradicional en esta región por más de 400 años y aunque su importancia relativa en la economía nacional y local, ha decaído fuertemente en los últimos tiempos, todavía representa una contribución importante entre los recursos metálicos de la Zona II. Los aborígenes trajeron el oro de filones y de aluviones antes de la llegada de los conquistadores, aunque ellos probablemente trabajaron solo los filones con oro libre visible y los

placeres que contenían pepitas y oro grueso. El deseo de hallar las grandes cantidades de oro y plata que se supusieron existir en el Nuevo Mundo fué una de las principales fuerzas estimulantes de las expediciones y conquistas de los españoles, que comenzaron a fines del siglo XV y continuaron por 300 años. Aunque las versiones históricas de las fabulosas riquezas tomadas de las minas individuales o de los distritos mineros probablemente son exageradas hay poca duda de que el valor del oro y la plata producidos en Colombia desde el tiempo de la Conquista hasta el presente llega a cifras que sobrepasan los mil millones de dólares, estimados a 35 dólares la onza troy para oro y a 2 dólares para la plata. La mayor parte de este oro provino de Antioquia. Vicente Restrepo en su famoso escrito "Estudio sobre las minas de oro y plata en Colombia" (1884) incluye descripciones extraídas principalmente de crónicas coloniales de las numerosas "ricas" minas de esta región. Sin duda hubo algunas verdaderas bonanzas como las descritas, pero el tenor de oro promedio de la mayoría de los filones trabajados en aquellos tiempos probablemente no fué mayor que el tenor de las muestras tomadas actualmente en las mismas minas, las cuales no pueden ser trabajadas económicamente hoy en día.

El siglo XIX presenció cambios y mejoras en las técnicas mineras. Notable entre éstos fué el molino de pisones, introducido a Antioquia en 1828 por el inglés Tyrell Moore (Restrepo, Ed. 1937, pp. 52). Esta máquina relativamente simple, que alcanzó su apogeo en las minas de oro de California, U.S.A. después de la "Fiebre de Oro" gradualmente vino a reemplazar la trituración a mano y los primitivos "arrastres" que habían sido usados por siglos en Colombia. Desde el comienzo del siglo XX, el molino de pisones se volvió obsoleto en otras partes del mundo, pero todavía está en uso en Antioquia, donde se le llama "molino californiano" y a su adaptación casera, "molino antioqueño".

El proceso de cianuración desarrollado después de 1.891 (Forbes and Smart, 1921, p. 6), eventualmente vino a ser adoptado en algunas de las minas de Colombia y dió por resultado, la recuperación de una parte considerable del oro y la plata que antes se perdían en las colas.

Las técnicas de la minería de aluvión también fueron mejoradas con respecto a la batea y canalones de recolección que estuvieron en uso sin ningún cambio desde los tiempos más antiguos.

En 1883 una compañía francesa empleó en el Río Nechi, la primera draga minera en Colombia. Esta aventura fracasó, pero fué la precursora de una flota de dragas altamente exitosa que ha estado trabajando en Colombia desde 1913, financiada principalmente por capital extranjero. Ultimamente fué introducida la minería hidráulica con los llamados "monitores", que lanzan poderosos chorros de agua contra los aluviones, que son lavados en canales con bafles; la arena y la gravilla pasan por los bafles, mientras que las partículas de minerales más densos, incluyendo el oro, son atrapados entre ellos. Este método es adaptable a depósitos aluviales muy pequeños o a terrenos muy quebrados para acomodar una draga y se usa todavía en algunos lugares de Antioquia.

La minería de oro persistió en la Zona II a través de la última mitad del siglo XIX y comienzos del siglo XX, pero su importancia relativa en la economía nacional, ha ido declinando gradualmente. Técnicas modernas con capacidad de producción relativamente alta como aquellas mencionadas anteriormente, fueron instaladas en unas pocas minas, pero la mayor parte continuó siendo trabajada de manera primitiva. En 1934 cuando el precio del oro fué elevado de 20.67 dólares a 35 dólares la onza troy, se despertó nuevamente el interés por su explotación acompañado de gran actividad y especulación con la participación de centenares de pequeños grupos e inversionistas, la mayor parte de los cuales no tenían entrenamiento y experiencia en geología o ingeniería de minas. Antiguos prospectos que habían sido abandonados por muchos años, fueron abiertos nuevamente y nuevas concesiones fueron solicitadas, frecuentemente sobre filones antieconómicos o vetas estériles de cuarzo.

Molinos de pisones, principalmente "molinos antioqueños" fueron instalados antes de una evaluación del tamaño del cuerpo de mineral o de su tenor y, en algunos casos, antes de comprobar la existencia del mineral. La mayoría de estos prospectos y "minas" fueron cerrados en 1940 y no han sido trabajados desde entonces.

#### Relación de plata a oro

No hay verdaderas minas de plata en la zona, es decir, minas en las cuales la plata es el producto principal o más valioso; en cambio, la plata es un subproducto de la minería del oro. Estos dos metales coexisten en aleaciones naturales como el electro o están ocluidos por sulfuros. Las menas contienen valores más altos en

oro que plata. Además, un ensayo del mineral, generalmente muestra una producción mayor de plata que las barras crudas producidas de ese mineral. La paradoja aparente se explica por el hecho de que una producción más alta de la plata que de oro queda ocluída en los sulfuros y se pierde en las colas. Pero rara vez es práctico o económico recuperar los sulfuros de los metales básicos a la escala de trabajo y con los métodos usados en las pequeñas minas.

El oro de aluvión generalmente tiene una relación oro a plata más alta que las barras crudas producidas en las minas de filón. Algo de plata mezclada con el oro libre en las vetas es lixiviada y se pierde durante la meteorización, transporte y deposición final en el aluvión, a causa de la solubilidad relativamente más alta de la plata en las aguas.

#### Minas de filón

No se intenta describir aquí todas las minas de la Zona II. Las que se discuten, incluyen minas activas y abandonadas que se cree son representativas. La figura 2 muestra la localización de las minas de filón activas conocidas por el IMN y algunas de las abandonadas más importantes. También se indican los depósitos de aluvión.

Minas de Segovia. - Estas son las minas de oro filoniano más importantes en el país y son explotadas por la Frontino Gold Mines Ltda. Están ubicadas en la población de Segovia (Plancha II, d-1), 220 kilómetros por carretera al norte de Medellín. Trabajan 800 obreros, de los cuales 350, lo hacen bajo tierra. El cuerpo técnico y administrativo incluye unas 40 personas. La Compañía, hoy una filial de International Mining Corporation of New York City, hereda su nombre de la Compañía de Frontino y Bolivia, una compañía inglesa organizada en 1825 (Restrepo, ed. 1937, pp. 58). Dos galerías no conectadas están en desarrollo: El Silencio, en las afueras de Segovia y Cogote, 2.5 kilómetros al oriente de El Silencio. Solamente El Silencio, se discute aquí. El filón tiene rumbo N 20°E, buza 30°SE y tiene una extensión conocida siguiendo el buzamiento de 1300 metros y a lo largo del rumbo, de 2000 metros. El extremo norte del filón consiste de dos ramas que convergen para formar una sola veta al sur del pozo principal. El ancho de la veta, varía desde unos pocos centímetros hasta 3 metros; pero el ancho promedio es ligeramente menor de medio metro. La roca encajante es

una cuarzodiorita de grano medio, cortada por diques de pôrfido de composición intermedia (dacita?) con espesores de 1 metro. Los diques son anteriores a la mineralización que sigue las fracturas mayores o fallas las cuales, junto con estos diques, controlaron a su vez, el curso de las soluciones hidrotermales mineralizantes que formaron las vetas. Relleno de fisura y no reemplazamiento parece haber sido el principal proceso mineralizante y la alteración de los respaldos es despreciable. La ganga es cuarzo lechoso y algo de calcita. Drusas de cristales de cuarzo ocurren localmente. Además de oro libre de grano muy fino, los minerales filonianos comprenden pirita, esfalerita, galena y muy poca scheelita y calcopirita.

La mina ha sido explotada por más de un siglo, pero se cree que las reservas son suficientes para su explotación durante varios años más. El acceso desde la superficie se hace por un pozo inclinado de tres compartimentos que sigue el buzamiento, donde es muy fuerte, el pozo penetra al techo de la cuarzo-diorita. La altura en el portal es de unos 610 metros y en el fondo está cerca de 134 metros por debajo del nivel del mar. Han sido desarrollados niveles espaciados a 30 metros a lo largo del buzamiento, equivalentes a intervalos verticales de 15 metros. Los frentes son excavados hacia arriba desde un nivel al próximo superior, dejando suficientes pilares para asegurar el soporte del terreno. La mina tiene 39 niveles de trabajo y la longitud de ellos, llega a decenas de kilómetros. Aproximadamente 1800 metros de nuevos socavones y 1400 metros de tambores fueron abiertos en 1967. Es inevitable alguna dilución con los respaldos de la roca, debido a lo delgado de la veta. La escogencia a mano del material se practica subterráneamente. El material estéril se usa para llenar las galerías antiguas. El mineral es sacado a la superficie utilizando vagonetas de 2 toneladas de capacidad. La mina es relativamente seca, pero para casos eventuales, se dispone de una bomba centrífuga eléctrica de 5.700 litros por minuto.

Un solo molino adyacente a la mina El Silencio, da abasto para moler el mineral de El Silencio y Cogote. El mineral total molido en 1967 fué 164.000 toneladas métricas, sobre un total extraído de 179.000 toneladas. El tenor promedio del mineral molido en 1968, fué el siguiente (M.A. Burke, comunicación escrita, 1968):

Au	13.27	gramos por tonelada métrica
Ag.....	24.63	gramos por tonelada métrica
Pb.....	0.50	porciento

Zn.....	0. 80 por ciento
Pirita.....	8 60 por ciento

El mineral es tratado a una rata de 550 toneladas métricas por día en una planta de cianuración moderna con circuitos de flotación diferencial auxiliar, que clasifican los sulfuros para tratamiento separado. Hasta hace unos pocos años, todos los sulfuros eran cianurados y luego botados en las colas. Hoy al contrario con centrados separados de unas 500 toneladas por año de galena y 500 de esfalerita, son extraídos y exportados a través del Puerto de Buenaventura; la galena, a Selby, California y la esfalerita, al Japón. El valor del plomo y del zinc ayuda a sufragar los costos de extracción y embarque, pero es la recuperación adicional del contenido de oro y plata lo que hace a este proceso de flotación diferencial más económico que el sistema anterior de cianuración simple de concentrados de sulfuros.

La mayor parte del oro y la plata contenidos en el mineral se recobra por la cianuración de la pirita y de las colas que van a las mesas Willfley. Los precipitados de la unidad Merril - Growe son fundidos en barras de unos 500 de ley. Estas son llevadas a Medellín para la separación del oro y de la plata.

La producción en 1967 fué la siguiente ( en gramos) :

Oro.....	2.193.287
Plata en barras sin refinar...	2. 330. 200
Plata en concentrado de galena	2. 532. 513
Total...	4. 862. 713

2.193.287

4. 862. 713 2.193.287

Minas de Marmato y de Echandía. - Estas minas son famosas en la historia de Colombia y han sido trabajadas casi continuamente, desde mediados del siglo XVI (Restrepo), Ed. 1937, pp. 87) y posiblemente, fueron trabajadas por los aborígenes antes de la llegada de los conquistadores. La mayor parte del área productiva está controlada por la División de Minas del Ministerio de Minas y Petróleos. La parte norte del área designada la mina de Echandía, está dada en concesión a particulares. Marmato y Echandía se discuten en conjunto porque constituyen una sola unidad geológica. Entre las minas auríferas de filón de la Zona II, los trabajos de Marmato figuran en segundo lugar en importancia, después de los de Segovia.

Las minas están localizadas en la Plancha J-8 fuera del área cartografiada por el IMN, inmediatamente al norte de la población de Marmato, en terreno escarpado de la vertiente occidental del Río Cauca, a una altura de unos 1.400 metros. Los filones de Echandía están 500 metros al norte de las minas de Marmato. El acceso es por una carretera angosta de 15 kilómetros desde Supía, Caldas.

Por lo menos 10 vetas principales subparalelas con rumbo predominantemente este y buzamientos verticales o sub-verticales han sido explotadas en el distrito de Marmato. Hay numerosas vetas más pequeñas subparalelas y ramificaciones.

La roca encajante en las minas de Marmato es un "stock" de pórfido diorítico de grano medio de edad Terciario, con unos 6 kilómetros en dirección norte-sur y 3 kilómetros en dirección este-oeste, que intruye esquistos de cuarzo-sericita-grafito, equivalente al Grupo Valdivia. W. G. Fetzer (1939) hizo un estudio detallado de los trabajos de Marmato por cuenta del gobierno de Colombia; él describe la roca encajante de Marmato como una diorita gris azulosa o un pórfido cuarzo diorítico compuesto de plagioclasa, hornblenda y biotita, con o sin cuarzo accesorio. Sugirió que al menos parte del cuarzo podría ser secundario relacionado a la mineralización (Fetzer, 1939, pp. 7-241). Las vetas consisten principalmente de cuarzo con calcita diseminada localmente; la pirita es el sulfuro predominante, acompañado por marmatita (así llamada en 1829) por el científico francés Jean Boussingault según el distrito de Marmato: Dana, 1892, pp. 59) y muy poca galena, arsenopirita, pirrotita y calcopirita. Las vetas que no contienen sulfuros generalmente tienen un tenor muy bajo de oro y plata. El ancho de las vetas varía entre unos pocos centímetros y varios metros; el promedio se estima en medio metro. Se cree que las vetas han sido formadas por soluciones hidrotermales residuales de la cristalización del pórfido diorítico, que invadieron fracturas de tensión en el tope del pórfido recientemente consolidado y en los techos pendientes del esquisto en Echandía. El tenor es variable; según el gerente de la mina, la recuperación llega a unos 8 gramos de oro por tonelada métrica y algo menos de 8 gramos de plata (J. Márquez, comunicación oral, 1968). El tenor verdadero es más alto especialmente de plata, ya que las perídidas metalúrgicas son altas en los primitivos molinos. El tenor de la plata es apreciablemente más alto que el del oro en Echandía, que fué descrita como mina de plata a comienzos del siglo XIX (Restrepo, Ed. 1937, pp. 89-95). La roca encajante de las vetas de Echan-

día es un techo pendiente de 400 metros de largo de esquisto. La relación claramente más alta de plata al oro en estas vetas sugiere que los respaldos rocosos del esquisto en Echandía reaccionaron con los fluidos mineralizantes, precipitando la plata más rápidamente que en el caso de los respaldos dioríticos de las vetas de Marmato.

El sistema de explotación difiere poco del usado en los 400 años anteriores. La colina que se yergue arriba de Marmato, está horadada con centenares de socavones que tienen longitudes que van desde pocos a centenares de metros y numerosas ramificaciones y galerías. En la actualidad, unos 40 socavones están siendo trabajados por 100 mineros, en un turno diario. Estos trabajadores no son empleados sino arrendatarios que trabajan por una parte del oro recuperado del mineral que ellos llevan al molino. La perforación para los explosivos se ejecuta a mano. El mineral triturado es llevado a la superficie en pequeñas carretas mineras sobre rieles de madera, en carretillas o en sacos sobre las espaldas de los mineros. El transporte desde la bocamina hasta el molino de pisones, se hace por un cable aéreo o a lomo de mula. La producción diaria del mineral escogido a mano rara vez excede de 2.5 toneladas por socavón y comunmente, es menor de 1 tonelada. Los mineros reciben 88% del oro recuperado en el molino (J. Márquez, comunicación oral, 1968).

La molienda es casi tan primitiva como la minería. Operan tres pequeños molinos de pisones; dos de éstos, tienen dos baterías de cinco pisones con 850 libras cada uno; el tercero tiene una batería de cinco pisones de 500 libras cada uno. El tonelaje total molido es de unas 25 a 30 toneladas durante un día de trabajo normal de 24 horas. El mineral grueso queda reducido en los molinos de pisones a partículas del tamaño de arena. No se practica la amalgamación a causa del alto costo del mercurio. La arena proveniente de los pisones se pasa por mesas Wifley, que producen por gravedad, un concentrado o compuesto aproximadamente de 65% de sulfuros de los cuales, por lo menos el 95% es pirita, un poco de marmatita y pequeñas cantidades de galena, arsenopirita, pirrotita y calcopirita. Una carga de 20 toneladas produce una de concentrado en la mesa. Las colas de la mesa se descartan y alguna pérdida de metal precioso, ocurre en esta etapa, pero la cantidad se desconoce a causa de que no hay ensayos de control. El concentrado de pirita se lleva en canales de madera por las cuales se pasa una corriente suave de agua. Después de algunos minutos el concentrado bruto de las partículas más

pesadas, incluyendo el oro, es barequeado para recuperar el oro libre. Aproximadamente el 60% del oro se recupera en esta forma. Es interesante anotar que este mismo método de concentración manual fué descrito por Jean Boussingault en 1826 (Restrepo, Ed. 1937, pp. 246-247). Las colas de piritas son llevadas con palas a pequeños tanques de concreto por los cuales circula una solución de cianuro sódico al 0.2% por período de 20 días; el oro y la plata disueltos son precipitados en cajas de madera llenas de virutas de zinc. Una o dos veces al mes los precipitados de las cajas son fundidos en barras brutas en un crisol de grafito. Las barras son llevadas a Medellín para separar la plata del oro. Un 40% del oro recuperado es obtenido por cianuración. Los molinos trabajan tres turnos diarios y emplean un total de 65 trabajadores de los cuales cerca de una cuarta parte son mujeres. El proceso empleado en Echandía, es idéntico al de Marmato pero en escala más pequeña, con un solo molino de pisones.

La producción del distrito minero de Marmato en 1967 fué registrada por la Asociación Colombiana de Mineros como sigue:

Au	=	71.312 gramos
Ag	=	60.823 gramos

Cerca del 80% de la anterior producción procede de las minas nacionales de Marmato; el resto de la mina de Echandía.

La explotación actual es marginal en el mejor de los casos. Las reservas son desconocidas por falta de exploración. Los trabajos son estrictamente de "un día para otro". Marmato nunca será de gran importancia, al menos que el sistema de explotación se modernice y se haga a mayor escala. Antes de que esto pueda efectuarse, es necesario hacer una investigación muy cuidadosa de las reservas de mineral para determinar qué inversión se justifica. No solo las vetas sino también las rocas de los respaldos deben ser consideradas, con la posibilidad de explotar toda la montaña en una operación a tajo abierto, semejante a los métodos empleados en los depósitos de pórfidos de cobre. Wokittel (1960, p. 88) sugirió esta idea y los presentes autores concuerdan en que ella merece consideración. Sin embargo, este tipo de trabajo requiere una inversión muy grande y no puede ser acometido sin antes hacer un estudio completo. Tal estudio puede ser realizado por una gran compañía minera con larga experiencia, un cuerpo técnico competente y sobre todo capital para arriesgar. Mucho dinero tendría que gastarse antes de

conocerse si Marmato tiene o no, el potencial para transformarse en una gran mina rentable.

Mina la Bramadora. - Ocupa el tercer lugar en importancia dentro de la Zona II después de Marmato. La mina y el molino de pisones están localizados en el borde oriental de la Plancha I, e-7, al lado de la carretera que sigue por la margen occidental del Río Porce 20 kilómetros al sur de Anorí. Sesenta y cinco hombres trabajan en la Bramadora, 50 en las minas y 15 en el molino. Una serie de vetas de cuarzo subparalelas, subverticales y de dirección norte y estovercas ocurren concordantes a la foliación en metalimilitas cuarzo grafiticas y de estratificación delgada del Grupo Valdivia. Por lo menos seis vetas o estovercas son explotadas, su espesor varía desde unos pocos centímetros hasta 1.5 metros, con espesor promedio de medio metro. Pirita de grano fino, acompañada por esfalerita, pirrotita, arsenopirita, galena y calcopirita, ocurre diseminada en una ganga de cuarzo lechoso. No se dispone de datos precisos de ensayos, pero el tenor promedio de oro y plata del mineral escogido a mano es menor de 15 gramos por tonelada para cada uno de ellos y menor de 1% para cobre, plomo y zinc respectivamente. Se considera que las vetas fueron depositadas por fluidos hidrotermales remanentes de la cristalización del Batolito Antioqueño.

La mina comprende más de una docena de socavones horizontales excavados a mano en las faldas de la colina. El mineral es escogido a mano dentro de la mina o en la bocamina y es transportado al molino por medio de carretillas o en sacos sobre las espaldas de los mineros. La relación del mineral a material estéril es aproximadamente 1 a 1. Los mineros explotan las vetas a cambio de participación en el oro recuperado, semejante al sistema empleado en Marmato. Cada galería es el dominio particular de un pequeño grupo de mineros. La planta de tratamiento incluye una batería con 5 pisones de 500 libras cada uno, un pequeño molino de bolas, dos mesas Wilfley y varios tanques de concreto para cianuración. La capacidad es de unas 15 toneladas por día; pero esta cifra rara vez se alcanza. Las mesas Wilfley concentran 10 toneladas por mes de concentrados de sulfuros, principalmente pirita, que se exporta a Selby, California. Los metales básicos probablemente pagan un poco más que los costos de transporte, pero el oro y la plata adicionales recobrados en la fundición, justifican la recuperación y el embarque de los concentrados.

Mina Berlín. - Ninguna discusión de las minas auríferas de filón de la Zona II, sería completa sin mencionar la antigua mina Berlín, situada 25 kilómetros al noroeste de Yarumal, Plancha I, b-5. La mina fué accesible en un comienzo, por carretera pero hoy puede llegarse solamente por un camino de herradura. La mina fué abandonada en 1946 cuando las reservas de mineral se agotaron.

A diferencia de la mayor parte de los depósitos de oro de la Zona, que han sido bien conocidos desde los comienzos del siglo XIX o aún antes, el depósito de Berlín no fué descubierto hasta 1929 (Singewald, 1950, p. 131). Durante su breve período de explotación ella compitió con la de Segovia. Un excelente resumen de la mina tal como existía en 1942, fué hecho por Wilson y Darnell (1942). La concesión fué obtenida por la Timmins-Ochaili Mining Company. Los antiguos trabajos son inaccesibles y la mayoría de los datos siguientes son extractados de Wilson y Darnell (1942) y de Singewald (1950, pp. 131/132).

La veta de cuarzo aurífero tiene un rumbo casi norte, con fuerte buzamiento este y está localizada a lo largo del contacto entre un esquisto cuarzo sericítico al oeste y un esquisto verde clorítico al este. Los esquistos encajantes pertenecen al Grupo Valdivia. El ancho de la veta principal varía desde unos pocos centímetros hasta 24 metros con un promedio cercano a 1 metro. Un dique felsítico, probablemente posterior a la mineralización de espesor no determinado, también fué mencionado por seguir la veta a lo largo del lado colgante (Wilson y Darnell, 1942). El fallamiento a lo largo del contacto proporcionó el camino para las soluciones hidrotermales, de supuesto origen magmático. La roca ígnea más cercana es una metatonalita del Paleozoico, situada 250 metros al oriente de la veta, pero no está claro si esta metatonalita o Batolito Antioqueño de edad Cretáceo Superior, situado 13 kilómetros al sur de la mina, fué la fuente de los fluidos mineralizantes. Se sabe que el Batolito Antioqueño constituye la fuente principal de origen de las vetas de cuarzo aurífero, pero está separado de la mina por la gran Falla de Romeral. La metatonalita paleozoica es también aurífera aunque menos productiva que el Batolito. Las vetas de cuarzo aurífero de la metatonalita, situadas unos pocos kilómetros al oeste y al noroeste de Briceño (Plancha I, c-5) fueron explotadas esporádicamente, pero evidentemente su tenor es demasiado bajo para compensar el costo de los trabajos. Los aluviones en la metatonalita son localmente auríferos. Los autores del presente estudio consideran que la metatonalita del Paleozoico es la probable fuente de la veta de Berlín.

El tenor promedio de las cargas del molino en 1940 fué de 0. 408 onzas por tonelada corta (14.0 gramos por tonelada métrica). El tenor final fué de 0.22 onzas por tonelada corta (7.5 g. por tonelada métrica). El tenor de la plata no se especificó, pero se mencionaron barras con ley de 710 Au y 270 Ag, lo que sugiere un tenor recuperable de plata de unos 5.3 g. por tonelada métrica; el tenor verdadero indudablemente fué un poco más alto. Las partes más ricas de la veta contenían abundantes inclusiones de esquisto alrededor de las cuales se concentraron sulfuros y oro. La pirita fué el sulfuro dominante, acompañado por cantidades menores de galena y esfalerita, algo de pirrotita y arsenopirita y trazas de calcopirita. El tenor de los metales básicos no se menciona. Socavones horizontales fueron abiertos en la pendiente de la colina y 13 galerías habían sido desarrolladas en 1942, tres de ellas en los esquistos del techo, se usaron como vías de transporte. La veta fué desarrollada a lo largo de una distancia horizontal de 1200 metros y una vertical de 480 m. Un pozo inclinado, con vagones de 1.5 toneladas, atendió los niveles inferiores. Se empleó método de excavación en escalones y relleno. La minería fué mecanizada, con martillos neumáticos y cargadores mecánicos de mineral; el mineral era transportado a la superficie en carros de una tonelada tirados por tranvías eléctricos. La energía era proporcionada por generadores Pelton, con una capacidad total de 950 kilovatios (Wilson y Darnell, 1942). El molino, trataba 340 toneladas métricas por día y se lograba una recuperación del 96%; la molienda fina en molinos de bolas era seguida por cianuración y precipitación en una unidad Merril Crowe. Cuando en 1940 los trabajos estaban en su apogeo, se molían 116.000 toneladas métricas de mineral, con una producción de 1.602.000 gramos de oro. Durante el período 1933 a 1946, se molieron 880.231 toneladas métricas, que produjeron 12.847.852 gramos de oro, con un valor bruto de US \$ 14.454.000. El tenor neto promedio fué de 14.6 gramos por tonelada métrica. Se logró un factor de extracción mineral de 99% (H. von Staufen, comunicación escrita, 1969). Más de 800 personas fueron empleadas en el apogeo de los trabajos.

En años recientes, la explotación fué reanudada en pequeña escala. El mineral es arrancado en cortos socavones abiertos en vetas angostas de cuarzo debajo de las instalaciones originales. En 1968, dos molinos de pisones estaban operando con una capacidad combinada de 10 toneladas por día; las colas son cianuradas en pequeños tanques de concreto. Trabajan unas 30 personas. Parece que los trabajos actuales dejan poco margen de utilidad. Según uno de los primeros gerentes de la antigua mina Berlín; hay poca posibili-

dad de descubrir otra veta grande inmediatamente adyacente a la explotada, pero el terreno circundante, puede contener importantes cuerpos de mineral y merece exploración adicional (H. von Staufen, minero consultor, comunicación oral, 1968).

Mina El Limón. - Esta pequeña mina de filón está localizada 6 kilómetros al sur de Zaragoza, sobre el lado occidental de la carretera a Segovia. Los datos siguientes fueron proporcionados por el señor Hubert von Staufen. Se dice que la veta fué descubierta en 1938 por un prospector llamado Nepo Mira, quien instaló un molino de 3 pisones y comenzó la explotación en pequeña escala. Mira vendió la mina en 1940 a Otto Feckler, quien trabajó la zona oxidada y suspendió operaciones en 1946. Los señores George R. Leland y Hubert Von Staufen examinaron la mina en 1947 por cuenta de N. A. Timmins Corporation. Esta compañía acababa de cerrar la mina Berlín, pero el Limón era demasiado pequeño para interesarle. Leland y von Staufen compraron la mina, mejoraron el molino y continuaron las labores, hasta que fueron obligados a cerrarla en 1953, por falta de capital de trabajo. En 1958 arrendaron la mina a la compañía minera Chocó Pacífico S. A., filial de South American Gold and Platinum Company de Nueva York. Esta compañía, hizo más exploración en la veta El Limón, mediante galerías subterráneas y cinco perforaciones con brocas de diamante y en 1961, la reserva de mineral probada fué calculada en 25.000 toneladas métricas con un tenor promedio de oro de 39 gramos por tonelada y aproximadamente un tenor igual de plata. Sin embargo en 1962, la compañía matriz (ahora llamada International Mining Corporation) decidió concentrar sus esfuerzos en las propiedades de la Frontino Gold Minés Ltda. de Segovia y renunció al arriendo de El Limón. La explotación fué reiniciada y en 1966 se construyó un pequeño molino piloto (H. von Staufen, comunicación escrita, 1969).

La veta de cuarzo tiene rumbo N 5°E, buza 40° al oeste y está encajada en un neis de cuarzo-feldespato-mica del Paleozóico. La veta está truncada en muchos sitios por fallas normales de unos pocos metros de desplazamiento. El oro y la plata están asociados con sulfuros diseminados, principalmente pirita, que constituyen hasta el 12% del material. Contienen de medio al 1% de galena y de esfalerita. El ancho de la veta, más bien uniforme, con promedio de 40 cm. se ha desarrollado 300 metros en dirección del rumbo y 200 metros siguiendo el buzamiento. El cuerpo de mineral no ha sido completamente delimitado (H. von Staufen, comunicación oral, 1969).

El equipo actual de la mina incluye un compresor portátil de 125 pies cúbicos por minuto (un compresor Diesel de 330 pies cúbicos por minuto se instalará próximamente), varios martillos neumáticos, un cargador de mineral accionado por aire comprimido, 3 vagonetas de 1 tonelada y equipo auxiliar. El molino tiene una capacidad de 1 tonelada por hora y consiste de un pequeño triturador de quijada, molino de martillo y mesa Wilfley. El oro de los concentrados de la mesa es recuperado por amalgamación en barriles. Las colas de los barriles de amalgamación se almacenan para tratamiento posterior por cianuración en una pequeña planta hoy en construcción en Medellín (H. von Staufen, comunicación escrita, 1969).

Durante los últimos 20 años la explotación ha sido exploradora, pero la reserva probada y las posibilidades de reserva adicionales justifican la instalación de un pequeño molino permanente. Durante los primeros siete meses de 1968, unos 40.000 gramos de oro y una cantidad igual de plata se produjeron por simple amalgamación de unas 1000 toneladas de mineral extraído por perforación manual y transportados de una manera primitiva hasta el molino (H von Staufen, comunicación escrita, 1969). Si los planes actuales de mejorar la mecanización y la producción se llevan a cabo. El Limón podría llegar a ser el segundo productor de oro entre las minas de filón de la Zona II.

Pequeñas minas de filón en la Zona II. - En el pasado, más de 400 pequeñas minas de filón fueron trabajadas esporádicamente y algunas de ellas, son conocidas desde el siglo XVI, aunque ninguna ha sobrevivido tanto como Marmato. Más de un centenar de pequeñas minas activas fueron mencionadas en 1937 (Singewald, 1950, p. 113). Hoy el número se ha reducido a cerca de una docena y éstas se hallan en condiciones tales que el más pequeño fracaso podría cerrar cualquiera de ellas. Una mina pequeña típica es trabajada por un grupo de campesinos que son mineros solamente cuando no están ocupados en labores agrícolas. La "mina" consiste en una serie de socavones superficiales hechos a mano en la roca descompuesta, más comúnmente en el Batolito Antioqueño, hasta cortar una o más vetas angostas de cuarzo, que luego son explotadas a pico y pala, hasta que se encuentra la roca fresca. Esta es generalmente la causa del abandono del socavón porque las vetas rara vez son bastante ricas para pagar el costo adicional de explosivos y de las perforaciones de carga; luego se abre un socavón en la vecindad. Las reservas son desconocidas porque no hay ningún trabajo de exploración; pero probablemente no pasan de unos pocos miles de toneladas en cualquier depósito.

individual. Los mineros trabajan bajo el sistema de tributo, recibiendo una parte de oro recobrado en el molino en vez de jornales. El concesionario proporciona un molino de pisones, comúnmente un "molino antioqueño" de madera, accionado por rueda hidráulica y uno o dos tanques de concreto para cianuración. Los trabajadores son vigilados por un superior contratado por el concesionario. El oro recuperado por cianuración es del concesionario. Sólo el oro liberado en el molino y recuperado por mazamorreo es compartido con los mineros. La producción total de uno de estos trabajos rara vez sobrepasa los 1.500 gramos de oro por mes. La compensación del minero es apenas mejor que la del agricultor, excepto en raras ocasiones cuando logra hallar una buena concentración. Mientras los mineros quieran trabajar en estas circunstancias, las pequeñas minas de arrendatarios continuarán operando indefinidamente, pero su contribución a la economía nacional será insignificante.

#### Minas de Aluvión

Sólo una gran mina de aluvión está en actividad permanente. Los otros trabajos de aluvión son en su mayoría pequeños, aunque unos pocos son de alguna importancia. Probablemente más de 55% del oro producido en el área es de aluviones. Los depósitos de aluviones de la zona pueden clasificarse como sigue:

1) Relleno aluvial profundo, extenso, aguas abajo de las corrientes principales: material aurífero potencial, medible en centenares de millones de metros cúbicos; mejor explotado mediante dragas. Ejemplo, el Río Nechí aguas abajo de Bagre en la esquina noreste.

2) Terrazas y aluvión en llanuras de inundación de corrientes grandes; material aurífero potencial generalmente medible en decenas de millones de metros cúbicos; explotable con dragalinas; monitores o pequeñas dragas. Ejemplo: el Río Supía al sur de la población del mismo nombre.

3) Aluvión del pre-Holoceno, colgado encima del nivel del drenaje actual: material aurífero potencial, generalmente medible en millones de metros cúbicos; explotable con monitores. Ejemplo: Mina La Víborita, cerca de Amalfi.

4) Parches delgados locales de aluvión del Holoceno, situado en los lechos de pequeñas corrientes o en terrazas angostas a

lo largo de sus márgenes: el material aurífero potencial rara vez excede de unos pocos centenares de miles de metros cúbicos; explotable localmente en pequeña escala, con monitores; pero generalmente trabajado por barequeros. Ejemplo: Río Anorí y sus tributarios, unos 20 kilómetros al norte-noreste de la población de Anorí.

#### Descripción de depósitos

Minas de El Bagre y Pato. - La Pato Consolidated Gold Dredging Ltd. explota las minas con una flota de 5 dragas, con cangilones continuos, accionados eléctricamente, que excavan a profundidades de 24 a 28 metros debajo del nivel del agua a lo largo del Río Nechí, aguas abajo desde la población de El Bagre en el noreste de Antioquia. Esta es en la actualidad probablemente la explotación de oro, con draga, más grande del mundo. El área está en la esquina noreste de la Zona II, más allá del área cartografiada por el IMN. El resumen presentado aquí se basa en una visita efectuada en septiembre de 1967.

El acceso a El Bagre desde Zaragoza es por el Río Nechí. Zaragoza está conectada con Medellín por carretera. Además hay servicio aéreo entre Medellín y El Bagre. La altura es menor de 50 metros por encima del nivel del mar y el clima es caliente y húmedo todo el año.

Zaragoza ha sido famosa como productora de oro de aluvión desde el siglo XVI. El dragado fué establecido con éxito en este distrito en 1913 y la actual compañía hereda su nombre de una compañía inglesa llamada Pato Gold Mines Ltd. (Singewald, 1950, p.124), por la pequeña población del mismo nombre, situada 17 kilómetros al suroeste de El Bagre. En 1943, la compañía se volvió una filial de Placer Development Ltd. de Vancouver, British Columbia y el número de dragas fué aumentado a 7 y luego reducido a su número actual. En 1961, esta compañía se volvió una filial de International Mining Corporation, antes llamada South American Gold and Platinum Company, con oficinas principales en la ciudad de Nueva York, la cual también operó dragas en los departamentos del Chocó y Nariño a través de otras filiales.

Además de 5 dragas activas, cada una con cangilones de 13.5 pies cúbicos de capacidad, La Pato también tiene tres pequeñas dragas dañadas, con cangilones de 6.5 y 6 pies cúbicos de capacidad, respectivamente. En 1969, dos de las dragas dañadas fueron

transferidas a la Cía. Minera de Nariño S.A., en el Departamento de Nariño y la tercera, a Cía Minera Chocó Pacifico S.A. el el Departamento del Chocó (E. Moseley-Williams, gerente general, Pato Consolidated Gold Dredging Ltd., comunicación escrita, 1969).

El cauce y las planicies de inundación del Río Nechí desde Dos Bocas (confluencia del Porce y el Nechí) hacia el norte, hasta los sitios actuales de las dragas, han sido dragadas durante los últimos años. El Río Porce, arriba de Dos Bocas hasta su confluencia con el Río Mata, una distancia de 21 kilómetros, fué dragado entre 1949 y 1961 con notable éxito, con una draga de 2.5 pies cúbicos (E. Moseley Williams, gerente general, Pato Consolidated Gold Dredging Ltd., comunicación oral, 1967). Anchas planicies aluviales cercanas a los caseríos ribereños de Puerto Claver y Cuturú, 14 y 20 kilómetros respectivamente aguas abajo hacia el norte de El Bagre, son dragados actualmente y están solo en forma parcial dentro de la Zona II. Las dragas son atendidas por pequeñas lanchas desde el campamento El Bagre. La energía para las dragas, el campamento y las comunidades aledañas es generada por instalaciones propias de la empresa. El personal de la compañía es de 500 empleados.

Las cinco dragas activas están provistas con cangilones de 13.5 pies cúbicos de capacidad y cada una tiene una capacidad nominal de excavación de 500.000 yardas cúbicas (382.000 metros cúbicos) por mes, pero bajo condiciones normales de trabajo solo excava algo más de 400.000 yardas cúbicas (306.000 metros cúbicos). Se alcanzan fácilmente profundidades de excavación de 80 a 91 pies (24 a 28 metros) debajo del nivel del agua; las condiciones de excavación son favorables, menos cuando la sobrecarga de arcilla excede de un espesor de 18 metros. Estos gruesos depósitos constituyen un serio problema de extracción porque la arcilla pegajosa y plástica atasca los cangilones, las tolvas y los cedazos; además las bolas de arcillas que pasan sobre las mesas ranuradas tienden a adherirse y atrapar partículas de oro que se pierden en las colas. Algunas de las capas cascajosas auríferas más ricas, están cubiertas por capas gruesas de arcilla y no pueden ser dragadas económicamente mientras no se invente algún medio de contrarestar este problema (E. Moseley Williams, comunicación oral 1967). Muestras de arcilla fueron sometidas a análisis térmico diferencial en un intento de identificar los minerales componentes. Las curvas DTA sugieren que predomina una arcilla con kandita (metahalloysita ?), con apreciable contenido de limonita.

Guijarros y cantes de rocas ígneas parecidos a los del Batolito Antioqueño son frecuentes en el aluvión, aunque los afloramientos conocidos más cercanos de esta roca, están 95 kilómetros aguas arriba del Río Nechí y 100 kilómetros aguas arriba del Río Porce. De posible interés a los colectores de minerales son los abundantes fragmentos de madera petrificada y de andalucita fresca. Los minerales pesados y las llamadas arenas negras son demasiado escasos para tener potencial como subproducto. No se dispone de datos cuantitativos sobre el tenor promedio de los minerales pesados de los terrenos dragados. La composición de la arena negra de Záragoza, según Overstreet (1967, p. 292) es la siguiente:

<u>Mineral</u>	<u>Libra/tonelada corta</u>
Ilmenita	1.484
Zircón	302
Cuarzo	192
Cromita	14
Magnetita	8
Monacita	<u>Trazas</u>
Total.....	2.000

La concentración baja de magnetita en las cifras anteriores, no está de acuerdo con lo observado en los concentrados de arena recogidos actualmente en las dragas, en los cuales la magnetita es el mineral pesado predominante.

El análisis espectrográfico semicuantitativo de una muestra de concentrado pesado donado por la compañía fué hecho por el U.S. Geological Survey (F. J. Flanagan, comunicación escrita, febrero 29, 1968). Algunos de los elementos más interesantes son:

Elemento	Concentración pp. m	Elemento	Concentración pp. m
Bario	70	Níquel	70
Cerio	3.000	Niobio	30
Cromo	1.000	Praseodymio	300
Cobalto	20	Samario	1.000
Cobre	500	Plata	15
Europio	10	Estroncio	7

Cont.

Elemento	Concentración pp.m	Elemento	Concentración pp.m
Oro	100	Estaño	150
Hierro	"mayor"	Titanio	"mayor"
Lantano	1.000	Vanadio	200
Plomo	50	Yterbio	20
Molibdeno	5	Ytrio	300
Neodymio	1.500	Zirconio	70.000

Las cifras anteriores deberían considerarse con cierta precaución. Algunas inconsistencias en el anterior análisis, probablemente son debidas a las limitaciones del método. El zirconio, probablemente como zircón constituye el 7% del concentrado; sin embargo, el hafnio no se leyó en el espectrograma. Deer, Howie y Zussman (1962, v. 1. p. 61) dice: "El zircón siempre contiene una cierta cantidad de hafnio; la relación  $\text{HfO}_2/\text{ZrO}_2$  varía, pero es normalmente alrededor de 0.01". El platino y sus elementos acompañantes no fueron detectados, pero pequeñas cantidades de cromo, níquel y cobalto, elementos asociados con rocas intrusivas ultramáficas sí lo fueron. Los elementos calcófilos tales como cobre y plomo son relativamente escasos y el zinc no fué detectado. Es sorprendente el número y las cantidades de los elementos de las tierras raras encontrados. Su origen puede ser esfena, zircón y alanita, todos accesorios menores comunes en las rocas de la Zona II. El alto contenido de Ti indica que la magnetita ordinaria en la arena está acompañada por magnetita titanífera o ilmenita o por esfena. Los resultados anteriores, sugieren que los minerales pesados de alto valor comercial no están presentes en suficiente concentración para ser recuperados.

La producción total en 1967 fué:

Oro	2.762.624	g.
Plata	295.094	g.

El oro y la plata fueron recobrados de 26.606.000 yardas cúbicas (20.342.000 metros cúbicos) de aluvión, lo que indica un tenor promedio recuperable de 0.1149 g de oro con Ley 903 por yarda cúbica ( $0.15 \text{ g/m}^3$ ).

No se dispone de datos precisos sobre reservas, pero sin duda, quedan millones de metros cúbicos de terreno dragable con tenor aproximadamente igual al del que ha sido trabajado.

Mina La Víborita. - La Víborita, se clasifica en segundo lugar después de la de Pato, entre las minas de aluvión de la Zona II. El depósito está a 2.5 kilómetros al norte-noroeste de la población de Amalfi (Plancha II, a-3) a una altura de unos 1450 m sobre el nivel del mar y 1000 m por encima del Río Porce, el cual fluye hacia el noreste por un fuerte cañón en forma de V tres kilómetros al noroeste del depósito. Una carretera de acceso que sirve a las canteras vecinas de dolomita y mármol, pasa a 1500 m de la mina, pero no hay carretera directa a ella. La corriente principal más cercana es la Quebrada La Víbora, la cual pasa al oriente del área aluvial y confluye al Río Porce 6 kilómetros al norte de la mina. La Quebrada La Víborita, que da el nombre a la mina, fluye hacia el norte a 3 kilómetros del área aluvial hasta desembocar en el Río Porce 2 kilómetros aguas arriba de la desembocadura de la Quebrada La Víbora.

El depósito fué trabajado por una compañía desde 1911 hasta 1930, año en el cual la concesión fué adquirida por Víborita Gold Mines Ltd., (Singewald, 1950, p. 125), la cual excavó un túnel de 1 kilómetro de largo a través de una cuchilla para drenar el área aluvial a la Quebrada La Víborita y la explotación ha continuado en esa forma hasta hoy. En 1947 (?) la propiedad fué adquirida por el señor Manuel Celedón, quien trabajó a una escala reducida debido al cierre del túnel. Amalfi Development Co. compró en 1963 los derechos de Celedón, limpió el túnel y reinició trabajos en gran escala hasta junio de 1966, cuando la propiedad fué transferida a Inversiones Mineras Ltda. En abril de 1968, esta compañía vendió sus derechos al señor Guillermo Mora (Warren Ziebell, primer superintendente de la Víborita, comunicación escrita, 1969).

El depósito tiene 2000 m de este a oeste por 800 m de norte a sur y unos 50 m de espesor. Consiste de cascajos aluviales cubiertos por arcilla lacustre que llenan una cuenca formada posiblemente por un antiguo deslizamiento que represó una corriente de flujo oriental, antecesora de la Quebrada La Víbora. La edad del depósito no se conoce con exactitud, pero es anterior al solevamiento regional y está hoy colgado unos miles de metros por encima del actual nivel. Una muestra de madera proveniente de la arcilla (muestra W-21-38) fué analizada en los laboratorios del U.S. Geological Survey y

dió una edad "más antigua que 42.000 años" pero se cree que los depósitos correspondan al Plio-Pleistoceno.

Los valores más altos están en los cascajos que yacen inmediatamente sobre el basamento que es principalmente un esquisto sericítico. El cascajo está pobremente clasificado y va desde fino hasta muy grueso; los guijos llegan hasta 80 cm de diámetro. El cascajo no está cementado y se disgrega fácilmente bajo los chorros de agua de los monitores. Están representados muchos tipos de roca, pero predominan de manera especial el cuarzo de filón, la cuarcita y el conglomerado con guijos de cuarzo blanco. Son abundantes los fragmentos en forma de barras, de 2 a 4 cm de longitud, de andalucita sericitizada derivada de porfiroblastos del esquisto adyacente. El cascajo está cubierto en muchos sitios por capas de 25 m. de espesor de arcilla plástica pegajosa desprovista de oro. Gran parte de esta arcilla es gris oscura azulosa o verde oscura, probablemente debido al pigmento de hierro ferroso. Muestras de esta arcilla fueron sometidas a análisis térmico diferencial. Las curvas son características del grupo de la kandita y muestran un débil pero definido pico endotérmico a los 130°C, lo que sugiere la presencia de metahaloysita. Un pico endotérmico secundario a los 310°C se debe a una impureza, posiblemente gibrita o goethita. La arcilla tiene la plasticidad de una buena arcilla para bolas, pero contiene demasiado hierro para ser utilizada en cerámica de alto grado o como materia prima para refractarios.

El IMN tiene poca información sobre la composición de las arenas negras de La Vistoria, pero los concentrados de las cubas examinadas contienen magnetita, alguna de ella probablemente titanífera, acompañada por ilmenita, zircón, poco granate, pirita, arsenopirita y esfena. Se dice que la casiterita es un importante componente de las arenas negras de La Vistoria (J. M. Restrepo Domenech, comunicación oral, 1968); sin embargo, el análisis no confirmó esta afirmación: si ocurre, la casiterita es muy poca. Otros minerales mencionados son: calcopirita, columbita-tantalita, berilo, corindón y wolframita (Walter Ziebell, comunicación oral, 1967), pero no se pudo confirmar su ocurrencia.

En la explotación se emplean baterías de 2 a 4 monitores con chorros de agua que golpean el banco, arrastran el material a canalones de madera, cada uno de 1.3 m de ancho por 25 m de largo, provistos de ranuras en secciones removibles. El agua llega a los monitores por 2 kilómetros de tubería de acero de 30 pulgadas

desde un depósito situado en la Quebrada La Víbora con presión hidráulica de 100 metros. En promedio, se mueven 90.000 metros cúbicos de aluvión por mes. Normalmente trabajan tres turnos por día, que ocupan 55 personas. Cada ocho semanas se limpian los canales y el oro es separado de los otros minerales por mazamorreo.

El IMN no dispone de estimativos de reservas, pero el depósito, apreciado por inspección visual, contiene decenas de millones de metros cúbicos no explotados todavía; gran parte del terreno más rico pudo haber sido explotado durante el pasado medio siglo. El tenor recuperado durante 1967 fué en promedio unos 0.13 g de oro por metro cúbico (Walter Ziebell, comunicación oral, 1968). La sobrecarga de arcilla es estéril. Por lo tanto, el tenor del cascajo debe ser del orden de 0.25 o 0.35 g de oro por metro cúbico. La recuperación se estima aproximadamente en 70% (Warren Ziebell, comunicación escrita, 1969).

La producción de oro y plata del municipio de Amalfi durante 1967 según la Asociación Colombiana de Mineros fué:

Oro	104.710	g
Plata	15.587	g

La mayor parte de esta cantidad pertenece a La Víborita. Para estas cifras la ley promedia es de 871 oro y 129 plata.

Otros depósitos aluviales del Terciario (?) cercanos a Amalfi son posiblemente auríferos.

Distrito aluvial de Supía. — La parte suroccidental de la Zona II que fuera en otro tiempo un área importante como productora de oro, merece mención separada a causa de su historia y potencial futuro. El distrito de Supía está 135 kilómetros, por carretera pavimentada, al sur de Medellín. La explotación con draga de la Supía Gold Dredging Co. en el río del mismo nombre, inmediatamente al sur de la población de Supía, fué descrita por Singewald (1950, p. 135), la mayor parte de la información que sigue es copiada de su informe. "La parte dragable del valle es 200 a 300 m de ancho por unos 8 kilómetros de largo, con profundidades de 5 a 6 m al basamento. En 1940 las reservas fueron estimadas en 12 millones de yardas cúbicas (9.2 millones de metros cúbicos) con valores de 40 centavos de dólar por yarda cúbica. Esto es equivalente a 0.35 g de oro por yarda cúbica (0.46 g/metro cúbico). Una draga

con cangilones de 8 pies cúbicos accionados eléctricamente extraña unas 90.000 yardas cúbicas (69.000 metros cúbicos) por mes, producción baja para el tamaño de la draga. El aluvión contiene numerosos cantos grandes, algunos hasta de 3 m de diámetro, lo que hacía difícil la excavación poniendo la draga a vibrar. Se dice que esto causó una apreciable pérdida de oro de las mesas ranuradas. La producción de oro fué de unos 340.000 g en 1942 y 205.000 en 1.944. No se dispone de las cifras correspondientes a otros años. Se dice que la draga fué desmantelada en 1950 después de haber trabajado 10 años a causa posiblemente del agotamiento del terreno dragable".

Aunque el IMN no ha estudiado los depósitos aluviales potenciales al oeste y al sur de Supía, casi todo el aluvión de esta región se sabe que es aurífero. Algunos de los bancos de cascajo más extensos y favorablemente localizados son potencialmente explotables hidráulicamente con monitores o con dragalinas. Algunas de las corrientes principales, que parecen ser especialmente prometedoras son los ríos: Risaralda, Sucio, Quinchía, del Oro, Tareas y Quebrada La Honda. Las terrazas que bordean el Río Cauca también son auríferas. Estos lugares merecen ser investigados.

Distrito aluvial de Anorí. - El área de Anorí es famosa por su oro de aluvión, aunque produce mucho menos hoy que en tiempos anteriores. El distrito, queda fuera del área cartografiada por el IMN, tiene la forma de un rectángulo de 40 kilómetros en dirección norte-sur por 30 kilómetros en dirección este-oeste con la población de Anorí (Plancha II, a-1) en la esquina suroccidental.

Se practicó minería hidráulica por Minera El Hatillo S.A. en Madreseca, desde 1942 hasta 1950, cuando el trabajo fué suspendido a causa de problemas de orden público (P. Marín, comunicación escrita, 1968). No se dispone de estadísticas de producción ni de datos de tenor o de reservas.

En la confluencia de las Quebradas La Tinta y San Bartolo se trabajó un aluvión con tres monitores ocupando 20 hombres, 40 kilómetros al norte de Anorí. La producción es de 1300 g por mes (A. Andrade, comunicación escrita, 1968).

Grupos pequeños de mineros construyen ataguías con troncos en sitios favorables del Río Tenche 35 a 40 kilómetros al noreste de Anorí, haciendo que la grava y la arena se depositen detrás de ellas. El oro se obtiene con batea. Aunque las operaciones indivi-

duales son muy pequeñas, la producción acumulada puede llegar hasta 9.000 g por mes de oro de 870 de ley, durante la estación seca (finales de diciembre hasta marzo). En otras épocas el agua es profunda y la corriente muy fuerte para permitir la minería manual (P. Marín, comunicación escrita, 1968).

Prospecto aluvial de Puerto Antioquia. - Un área sobre el lado occidental del Río Cauca de unos 35 kilómetros cuadrados que incluye y rodea el triángulo formado por las poblaciones de Cáceres, Tarazá y Puerto Antioquia, está cubierta por cascajo grueso aluvial depositado por el Río Cauca y dos de sus tributarios, los ríos Rayo y Tarazá. E. Moseley-Williams (comunicación oral, 1967), dicen que una gran compañía minera exploró esta área con perforaciones, poco antes de la Segunda Guerra Mundial, comprobando una "gran" reserva con valores de oro de unos US \$ 0.21 por yarda cúbica, equivalente a 0.187 g de oro por yarda cúbica (0.244 g/metro cúbico). También afirmaron que otra gran compañía minera había perforado cerca de Cáceres en 1966/67. El IMN no tiene información fidedigna sobre las perforaciones antes mencionadas. En 1966-67, el señor Guillermo Mora hizo el intento de trabajar con monitores una parte de la planicie aluvial situada 1 kilómetro al sureste de Puerto Antioquia. Este trabajo fué abandonado como improductivo a comienzos de 1968 y el equipo fué trasladado 10 kilómetros al sureste sobre el lado oriental del Río Cauca, a una planicie aluvial formada por la Quebrada Purí, unos 5 kilómetros al oriente de El Doce, sobre la carretera troncal Valdivia-Puerto Antioquia (A. Andrade, comunicación oral, 1968).

El triángulo Cáceres-Tarazá-Puerto Antioquia, representa un importante distrito potencial, explotable por draga o por dragalina con planta lavadora flotante, el cual merece atención futura bajo condiciones económicas favorables.

Otros distritos aluviales. - El distrito Porcecito sobre el Río Grande, arriba de su confluencia con el Río Porce, fué explotado con monitores y también por una draga con cangilones de 3 pies cúbicos, desde 1930 hasta 1946 (Singewald, 1950, p. 129). Los monitores y la draga fueron desmantelados cuando la reserva se agotó, pero la minería manual ha continuado hasta el presente.

La minería hidráulica floreció a lo largo del Río Nus cerca Providencia (Plancha II, b-7) antes y durante la Segunda Guerra Mundial. La mina llamada El Gallinazo fué trabajada con una draga-

lina y planta lavadora flotante (Singewald, 1950, p. 128). Se carece de datos de producción, tenor y utilidades de estos trabajos. El Río Nare y sus tributarios también fueron trabajados en tiempos anteriores, pero hoy el trabajo es mínimo. Ciertos sectores del Río Nare, especialmente en la Plancha III, c-9, al suroeste de Cañacol, están rellenados con enormes cantes del Batolito Antioqueño, algunos de 10 m de diámetro (Singewald, 1950, p. 126). Estos nidos de cantes rodados, llamados "organales", actúan como gigantes ranuras que atrapan las gruesas partículas de oro y han sido trabajados en tiempos anteriores por hombres que se deslizan a través de las aberturas existentes entre los cantes y barequean el cascajo subyacente. Estos depósitos son pequeños pero ricos y no pueden ser trabajados por otros métodos. "Organales" semejantes en el Río Nechí al norte de Angostura (Plancha I, d-7) son descritos por Botero A. (1963 p. 34).

#### Origen del oro

El oro de aluvión en la Zona II ha sido concentrado por procesos aluviales y eluviales subsiguientes a la meteorización y erosión de los filones auríferos que ocurren en diversos tipos de roca. El origen de los filones es menos evidente. Se cree que ellos han sido precipitados de soluciones hidrotermales remanentes de la cristalización del magma. Los fluidos ascendieron a lo largo de fallas o fracturas en la parte superior cristalizada de la misma roca plutónica o en las rocas adyacentes. La precipitación fué promovida por cambio de temperatura o pH de los fluidos como resultado del contacto con la roca encajante o quizás, en algunos casos por mezcla con otros fluidos que circularon a lo largo de los mismos canales.

Los filones de oro están compuestos principalmente de cuarzo, pirita y oro. Helgeson y Garrels (1968) discuten la íntima asociación de estos tres componentes desde un punto de vista termodinámico demostrando que los filones explotables pueden formarse por soluciones hidrotermales ácidas que contienen de 1 a 50 mppm de oro, concentración muy baja, a temperaturas entre 175°C y 300°C, las rocas plutónicas del área, que van desde diorita a adamela en composición y desde el Paleozoico al Terciario en edad, son todas auríferas, como lo demuestran los filones de cuarzo aurífero en fracturas o fallas de los plutones mismos o en las rocas más antiguas encajantes intruídas por ellos. Estas rocas constituyen una provincia metalogenética en la cual el oro es el principal metal económico. Las causas de estas concentraciones anómalas de oro en partes locales

zadas de la corteza terrestre, es una cuestión básica de geología con importancia económica.

Algunas especulaciones interesantes relacionadas con la génesis de los depósitos mundiales de estaño hechas por Schuiling (1967) pudieran ser aplicables también al oro de Antioquia. El postula que "culminaciones" geoquímicas o concentraciones primordiales de estaño fueron formadas en el manto a comienzos de la historia de la tierra. Los depósitos de estaño explotables y no, y de todas las edades, parecen estar en fajas que siguen directrices orogénicas que pasan sin interrupción de un continente a otro en una reconstrucción de los continentes que circundaban el Atlántico antes de que tuviera lugar la postulada deriva continental (Schuiling, 1967, pp. 546-547). El sugiere además, que "eventos", particularmente intrusiones magmáticas relacionadas a orogenias dentro de las fajas, son necesarias para formar concentraciones explotables. Las concentraciones primordiales de estaño en el manto son apenas anomalías geoquímicas no comerciales y los depósitos económicos se forman solo por movilización y concentración de estaño en el magma que asciende para intruir partes accesibles de la corteza. Suscituyendo oro por estaño, éste es un atractivo mecanismo que explicaría por qué las intrusiones de varias composiciones y edades de la zona, son auríferas.

#### Producción de oro y plata en la Zona II

La mayor parte del oro y la plata producidos en Colombia en 1967, provino de la Zona II y la mayor parte de ésta (un 98% ) de II B, como se muestra en el cuadro 2

La contribución de la Zona II fué del 74.8% de todo el oro y el 88.8% de la plata producida en Colombia en 1967. Las estadísticas no distinguen entre filones y placeres, pero se estima que el 55% del oro y el 12% de la plata, provinieron de placeres.

#### Futuro de la Minería del Oro en la Zona II

El precio oficial internacional del oro fué fijado en US \$35 por onza troy en 1934. Entre tanto, los precios de todas las materias primas han subido considerablemente y las minas de oro en todas partes han estado aprisionadas entre el precio congelado de su producto y los costos crecientes de trabajo y de los materiales. La producción de oro ha declinado apreciablemente en la Zona II, como

Municipio	Oro	Plata
Amalfi	104.710	15.487
Anorí	24.900	3.509
Cáceres	10.492	1.372
Carolina	3.722	849
Marmato <u>2/</u>	71.312	6.0823
Remedios	12.323	7.693
Santa Rosa	8.059	3.652
Segovia	2.493.248	2.485.489
Yarumal	21.596	7.806
Zaragoza	3.112.049	3.519.95
Otros	126.821	105.918
<b>Totales</b>	<hr/>	<hr/>
Zona II	5.989.232	3.044.593
Colombia	8.011.904	3.423.268

1/ De la Asociación Colombiana de Mineros.

Las cifras no incluyen el oro y la plata de los concentrados de sulfuros exportados para tratamiento metalúrgico.

2/ En el Departamento de Caldas.

#### CUADRO 2

ORO Y PLATA(EN GRAMOS)EN LA ZONA II

1967 1/

ha sido el caso en todo el mundo durante las pasadas dos décadas. De aquí que, un aumento sustancial en el precio internacional del oro estimularía su exploración y su producción y podría causar un despertar notable de la minería de este metal. Sin un aumento en el precio, los mineros continuarán encontrando mayores dificultades para mantener los rendimientos actuales.

#### HIERRO

Depósitos de hierro comercialmente explotables se descubrieron en la Zona II, aunque se han investigado las lateritas de II A como posibles fuentes de hierro. Las lateritas de la parte oriental de Medellín, fueron estudiadas por Cock (1938) y también por Restrepo A. (1959); ningún trabajo adicional sobre ellas ha sido efectuado por el IMN. La laterita de Morro Pelón, 7 kilómetros al noreste de Campamento fué estudiada por el IMN. Ninguna ocurrencia tiene importancia en la actualidad.

Laterita de Medellín. - La laterita ferruginosa derivada de serpentinita aflora sobre las vertientes montañosas del Valle de Aburrá, al noreste de la ciudad de Medellín. El espesor de la parte más rica del manto de laterita va de 1 a 5 m, con un promedio de 3 m, sobre una extensión ovalada de aproximadamente 450 hectáreas (Restrepo A., 1959, p. 20). Segundo Restrepo, la reserva es de 12.5 millones de metros cúbicos. Sin embargo, las investigaciones adelantadas por la Empresa Siderúrgica S.A., comprobaron menos de 4 millones de toneladas métricas con un tenor promedio en hierro de 28% en un manto de solo 1 m de espesor (J. Wollmost, director técnico de Empresa Siderúrgica, comunicación oral, 1969). Comunmente, el manto pasa hacia rriba de serpentinita descompuesta a laterita terrosa (localmente llamada "terrosa") de color amarillo, que pasa primero a color marrón rojizo y luego a color rojo oscuro; sigue una capa hasta de medio metro de espesor, de laterita densa, dura y de color rojo muy oscuro a casi negro ("laterita dura"). La capa dura puede contener 50% o más de hierro, pero es demasiado delgada y local, para constituir por sí misma un depósito económicamente explotable. La laterita terrosa comúnmente tiene una textura oolítica y contiene 15% o más de humedad; el tenor del hierro varía entre 13 y 38%, con un valor promedio de 25%. Calculado sobre base seca, el tenor promedio del hierro es aproximadamente de 30%, según Restrepo A. (1959). En las muestras de Restrepo, la silice y la alúmina tienen un promedio más del 20% cada una, muy alto para mineral de hierro, lo que haría

diffcil y costoso el tratamiento metalúrgico. El mismo autor trae los siguientes análisis parciales de las lateritas:

<u>Sustancia</u>	<u>Rango (porcentaje)</u>		
TiO <sub>2</sub>	0.07	-	0.48
Mn	0.49	-	1.14
Cr	0.07	-	1.62
Ni	0.20	-	0.83
P	0.006	-	0.34
S	0.001	-	0.09

Es interesante anotar que la planta de hierro y acero de la Empresa Siderúrgica S.A., fué fundada en Medellín con la intención de usar la laterita local como su principal materia prima y con este fin se adquirió una concesión minera 1 kilómetro al sureste de Bello. Sin embargo, solo cantidades minúsculas de hierro fueron producidas por la laterita y desde su comienzo en 1938, la planta ha tenido que usar chatarra como su principal materia prima.

Nuevas técnicas para reducir el hierro directamente de los minerales de laterita, han sido desarrolladas desde 1938, cuando el Dr. Julián Cock A., propuso usar la laterita de Medellín. Aunque estos nuevos procesos podrían hacer el plan de Cock un poco más factible de lo que probó serlo en sus días, la posibilidad de usar la laterita de Medellín como mineral de hierro continúa siendo remota, no solamente por razones técnicas sino porque mucha parte del área laterítica ha sido urbanizada en los últimos 30 años.

Morro Pelón. - El cuerpo laterítico de Morro Pelón se conoce hace muchos años (Alvarado y otros, 1939); está 7 kilómetros, por camino de herradura, al noreste de Campamento, una población situada 145 kilómetros al norte de Medellín. Tiene la forma de un óvalo alargado de 2.7 kilómetros en dirección norte-sur por 1 kilómetro en dirección este-oeste, cubriendo el límite entre e-5 y e-6, Plancha I, estando la mayor parte sobre e-6. El depósito ocupa la cresta de una cuchilla de dirección norte con su cúspide a una altura de unos 1440 m sobre el nivel del mar, la cual desciende suavemente 3 kilómetros hacia el norte, al Río Nechí.

Once apiques exploratorios fueron excavados por el IMN a fines de 1964 y principios de 1965. Las reservas son de casi

millones de toneladas métricas en un manto que cubre un área de 60 hectáreas con una profundidad promedia de unos 3 m. El perfil vertical es semejante al de la laterita de Medellín, con una capa dura de óxido de hierro de 10 a 40 cm de espesor que suprayace laterita terrosa oscura de 1 a 5 m de espesor, la cual pasa hacia abajo a serpentinita descompuesta de color verde oscuro o negro.

Con base en 74 análisis, el tenor del hierro varía entre 23 y 56% y el del níquel entre 0.23 y 1.21%, con un promedio de 27.6% de Fe y 0.69% de Ni, respectivamente.

Edad de las lateritas. - Tanto la de Medellín como la de Morro Pelón, son retazos de mantos originales más extensos. La formación de laterita rica en hierro está favorecida por la lenta meteorización de rocas máficas y ultramáficas en terrenos bajos, relativamente planos, con clima tropical húmedo y estaciones alternantes secas y lluviosas ( Harder, 1952; Sherman, 1952; Park y MacDiarmid, 1964, pp. 414-415). El clima actual puede no ser muy diferente al predominante antes del último levantamiento regional, pero la topografía es diferente. La laterita de Morro Pelón en que la erosión ha reducido el tamaño del depósito; es evidente que la laterización precedió al último levantamiento regional, que fué gradual durante cientos de miles de años y puede continuarse todavía. Debe haber comenzado a fines del Plioceno o a principios del Cuaternario. La laterita de Morro Pelón se asigna provisionalmente al Terciario Superior en la Plancha I. La génesis de la laterita de Medellín antes del levantamiento es menos evidente que en Morro Pelón; pero parece razonable suponer que la laterización ocurrió bajo condiciones semejantes al mismo tiempo sobre una gran región; por lo tanto, los cuerpos de laterita en II A son contemporáneos.

#### NIQUEL

Las lateritas niquelíferas han sido estudiadas en el Departamento de Córdoba, desde hace por lo menos una década. La ocurrencia más importante conocida está en Cerro Matoso, 15 kilómetros al suroeste de Montelíbano, justamente al norte de la Zona II. Una concesión para explotar los ricos y extensos depósitos de Cerro Matoso fué solicitada por la Chevron Co.

Depósitos menores de laterita al sur de Cerro Matoso, cerca de la población de Uré, Departamento de Córdoba, fueron estudiados por el IMN. Dos geólogos y un topógrafo fueron destacados

a fines de 1966 para hacer mapas topográficos y geológicos, apiques y tomar muestras a fin de delimitar los cuerpos de laterita y estimar sus reservas. Durante la investigación se excavaron 36 apiques con profundidad entre 3 y 13 m y una profundidad total de 230 m. El trabajo de campo fué realizado entre octubre de 1966 y diciembre de 1967. El personal del IMN que merece mención especial en conexión con el proyecto de Uré incluye los geólogos Hernán Vasquez, Hernán Restrepo, Eduardo E. Alvarez y Darío Velásquez H.

Un total de 578 muestras fueron analizadas para Ni y Fe y un número menor de determinaciones fueron efectuadas para  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ , Mn, P, S, Cr y Co.

La mayor parte de la información que sigue fué proporcionada por Darío Velásquez.

#### Cuerpos lateríticos de Uré

Cuatro cuerpos diferentes fueron delimitados en una faja de 1.5 kilómetros de dirección norte, al oeste de la población de Uré (figura 3), designados de norte a sur La Viera, Las Acacias, Alto del Oso y San Juan, respectivamente.

El cuadro de reservas probables que acompaña al mapa de la figura 3 muestra que La Viera es el más importante de los cuatro. Las Acacias es una parte del cuerpo de La Viera, separado de éste por una angosta banda de serpentinita, de la cual la laterita fué removida por la erosión. El cuerpo del Alto del Oso es pobre en relación con el de La Viera y el de San Juan es de poca importancia.

Consideraciones petrográficas. - La laterita niquelífera es el producto de la meteorización de roca ultramáfica serpentinizada, que en Uré está asociada con metabasalto y metagabro (figura 3). Este conjunto de rocas se considera característico de la llamada serie ofiolítica alpina (Thayer, 1967, p. 222). Las edades relativas de las rocas de Uré no son claras pero pueden ser penecontemporáneas lo que es una característica de las rocas ofiolíticas alpinas, especialmente las asociaciones gabro-serpentinita (Thayer, 1967, p. 222). En Uré las relaciones están veladas por la profunda cubierta de suelo, saprolita y laterita.

La peridotita serpentinizada, la roca matriz de la laterita niquelífera según se indica en las figuras 3 y 4, es verde grisácea

oscura compuesta de antigorita y lizardita con remanentes de olivino y augita (dialaga). La enstatita (?) fué identificada en algunas muestras según Velásquez (comunicación oral, 1969). La roca compuesta de olivino, dialaga y ortopiroxeno se denomina larzolita (Wyllie, 1967, p. 2); sin embargo, la existencia de ortopiroxeno no está comprobada y se prefiere el nombre más amplio de peridotita para la roca ultramáfica original anterior a la serpentinización. Alrededor de un 0.2% de níquel está presente, presumiblemente en sustitución de Mg en la red cristalina de los componentes minerales, especialmente del olivino. Mason (1952, p. 116) dice: "El íon níquel tiene el mismo radio (0.78 Å) y la misma carga que el magnesio y por lo tanto, debería estar oculto en los minerales de Mg. Sin embargo, la relación Ni/Mg es más alta en los cristales formados en primer lugar (especialmente olivino) y muestra una disminución gradual en los minerales y rocas que se forman al final. Las rocas ultramáficas generalmente contienen 0.15% o más de níquel (Goles, 1967; p. 358), en contraste con 0.01% en las rocas ígneas "promedias" (Hawkes y Webb 1962, p. 370).

La serpentinita está altamente fracturada y son abundantes las superficies estriadas.

Perfil de la laterita. - La laterización de la serpentinita desarrolló un perfil característico desde la superficie hasta la roca fresca. Tres capas o zonas designadas A, B y C respectivamente, se reconocen fácilmente en la laterita; el basamento de serpentinita es arbitrariamente llamado zona D (figura 4). Es importante la distinción de estas zonas, tanto para entender el proceso de la laterización como para planificar un método eficiente de explotación, ya que cada zona tiene un tenor diferente de níquel y de hierro.

La Zona A, la más superficial, es tipicamente laterita terrosa de color rojo oscuro, marrón rojizo a marrón, que toma color más claro hacia la base. Su espesor va de 1 a 5 m, en promedio 2.5 m y es más densa y compacta que la Zona B. Son comunes las concreciones de limonita de unos pocos centímetros de diámetro, especialmente hacia la base. A juzgar por el color, la hematita es probablemente el óxido de hierro dominante cerca del topo y los óxidos de hierro hidratado son más prominentes hacia la base de la zona. El tenor de níquel (en promedio 0.43%) es más alto que en la serpentinita fresca, pero más bajo que en las zonas B y C.

La Zona A pasa gradacionalmente a la Zona B, la cual

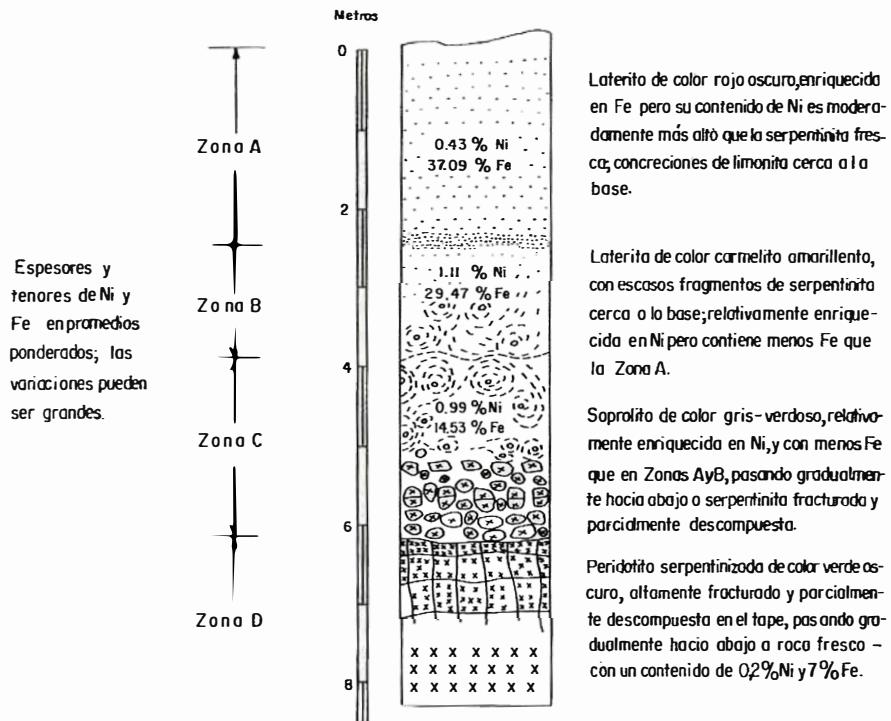


Fig. 4-Perfil característico de la laterita niquelífera cerca a Uré, Córdoba  
(Según D. Velásquez, 1969, informe inédito)

es de color anaranjado o marrón amarillento y más porosa que la A. La Zona B es la más delgada de las zonas, con espesores que van de medio a 3.8 m y en promedio 1.4 m. El tenor promedio de hierro es más bajo que el de la Zona A y el tenor del níquel es el más alto de los tres, variando entre 0.5 y 1.4% con un promedio de 1.11% de Ni (en base seca).

La Zona C es la menos homogénea de las tres zonas lateríticas. El color es verde grisáceo abigarrado, oliva o marrón amarillento y el espesor varía entre medio y 7 metros, con promedio de 2.3 m. Consiste principalmente de fragmentos de serpentinita descompuesta, de color gris verdoso dispersos en una matriz abigarrada de saprolita. La proporción de los fragmentos de roca aumenta hacia abajo y el límite inferior con la serpentinita, relativamente fresca es muy marcado. El tenor del hierro es mucho más bajo que el de las dos zonas anteriores; sin embargo el tenor promedio de níquel es 0.99%, sólo ligeramente más bajo que el de la Zona B.

Las reservas distribuidas por zonas, se indican en la figura 3. En vista del bajo tenor promedio del níquel de la zona A, ésta debe ser descartada.

Origen. - El manto laterítico de Uré se formó por meteorización profunda secular de serpentinita en un clima tropical húmedo con estaciones alternantes húmedas y secas. Sin embargo, la naturaleza de las reacciones químicas y de los productos resultantes es incierta. Velásquez (datos no publicados, 1969), da un breve resumen de dos hipótesis alternativas que parecen explicar, en términos generales, el mecanismo del enriquecimiento níquelífero.

De acuerdo a una teoría, el enriquecimiento de níquel se atribuye a aguas meteóricas infiltrantes que se vuelven ligeramente alcalinas por la disolución del magnesio presente en la serpentinita: el ambiente alcalino, según experimentos de laboratorio favorece el intercambio de  $Mg^{++}$  por  $Ni^{++}$  en las partes inferiores del manto laterítico.

La segunda teoría, sugiere que el agua lluvia, originalmente neutra, se vuelve ácida a medida que disuelve el dióxido de carbono de la atmósfera y los ácidos húmicos del suelo. El agua freática ácida lixivia magnesio, sílice y algo de níquel de la zona superior, dejando un residuo terroso enriquecido en óxidos de hierro

y aluminio. Aunque algún enriquecimiento residual de níquel ocurre en esta zona, la mayor parte del níquel es llevado hacia abajo en la solución ácida y precipitado posiblemente en forma coloidal, cuando la acidez de la solución es parcialmente neutralizada en la parte inferior, rica en magnesio del manto laterítico. Por lo tanto, el proceso de enriquecimiento de níquel es no sólo residual, sino también parcialmente supergénico.

La teoría de la solución ácida parece explicar mejor la concentración más alta de hierro en la Zona A y de níquel en las Zonas B y C, de la laterita de Uré.

Los minerales o sustancias níquelíferas de la laterita no se conocen. La garnierita o minerales arcillosos, tales como nepovita o sepiolita níquelífera (Caillére y Hénin, 1957, pp. 221, 236) pueden estar presentes; pero estos minerales son identificados mejor por rayos X y análisis termo-diferenciales, estudios no realizados por el IMN. Materiales amorfos o coloidales con gran afinidad por el níquel también pueden estar presentes. La identificación de los minerales níquelíferos bien podría ser crítica al metalurgista, que busca los medios más eficientes para la extracción de níquel.

Edad de la laterización. - El período de la laterización no se conoce con precisión. Probablemente es anterior al último levantamiento epeirogénico de la Cordillera Central y es más o menos contemporáneo con la laterización de la serpentinita de Morro Pelón discutida previamente en relación con el hierro.

Otros elementos. - Las determinaciones para sustancias diferentes a Ni y Fe se resumen a continuación:

Sustancia	No. de Análisis	Rango (porcentaje)	Promedio Aritmético (porcentaje)
Alumina $Al_2O_3$	94	2.12 - 38.00	16.55
Cromo Cr	105	0.03 - 2.10	0.46
Cobalto Co	6	0.010 - 0.016	0.0126
Manganoso Mn	131	0.05 - 1.40	0.34
Fósforo P	101	0.004 - 0.100	0.041
Azufre S	74	0.020 - 0.390	0.122

La alúmina tiene la misma variación del óxido de hierro

en la laterita; de un 25% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la Zona A, disminuye hasta un 14% en la Zona C.

El cromo, presumiblemente como cromo-espinela (picotita) o cromita en la roca ultramáfica, no muestra tendencia a concentrarse en una zona particular, aunque los datos del apique No 1 indican una concentración ligeramente más alta, posiblemente más mecánica que química, en la parte superior de la Zona B (Velásquez, datos no publicados, 1969).

El cobalto no parece haber sido enriquecido ni empobrecido en la laterita. El tenor promedio del cobalto en 6 muestras es 0.0126% o 126 ppm, cercano a los 110 ppm, de Co típicas de las rocas ultramáficas (Goles, 1967, p. 358). Con un tenor promedio de níquel de 0.77% (figura 3), la relación Ni/Co en la laterita de Uré es de 61:1.

El manganeso puede haber sido ligeramente enriquecido en la laterita de Uré porque el promedio de 3.400 ppm de Mn es más alto que la abundancia normal de 1.040 ppm en las rocas ultramáficas analizadas por Goles (1967, p. 358); sin embargo, faltan los análisis cuantitativos de Mn en la serpentina fresca de Uré.

El fósforo y el azufre también pueden haber sido ligeramente enriquecidos en la laterita, pero los datos del IMN son incompletos.

Importancia económica. - Se sabe que la laterita de Cerro Matoso es más rica que la laterita de Uré (Velásquez, datos no publicados, 1969). Lógicamente, la explotación de la laterita níquelífera de Colombia debe comenzar en Cerro Matoso. Velásquez señala que después de que las reservas de Cerro Matoso se hubieren agotado y los costos de la planta metalúrgica amortizados entonces la laterita de Uré podría ser económicamente explotada. Por lo tanto, es un recurso potencial más bien que uno de explotación inmediata.

#### CROMITA

Las Palmas. - Santa Elena. - La cromita ocurre localmente en una faja de serpentinita de 4 kilómetros de ancho y con rumbo norte localizada en esquistos y anfibolita equivalentes a los del Grupo Valdivia, en las Palmas y Santa Elena. 10 kilómetros por

carretera al sureste de Medellín. Tres depósitos pequeños se conocen desde hace algunos años (Singewald, 1949, pp. 91-93; Wolkittel, 1960, p. 161), pero la explotación ha sido esporádica y en escala reducida. La cromita ocurre como vetas y lentes en serpentinas o en la dunita encajante y en cantos rodados. Las pocas superficies de exposición indican reservas de sólo unos pocos miles de toneladas de cromita de tenor variable. Pequeñas cantidades de material con 30% de Cr pueden obtenerse por minería selectiva y escogencia cuidadosa a mano. La explotación actual es esporádica y primitiva en apiques superficiales. La producción de cromita bruta no pasa de 200 toneladas por año, y se usa principalmente para colorear envases de cerveza y para productos químicos y pigmentos. Recientemente, una fundición de Medellín empezó a agregar cromita de Las Palmas a las cochadas de acero de sus hornos eléctricos a fin de producir una aleación con 1.5% de Cr para usarla en la fabricación de bolas de trituración. El consumo actual es de 5 a 10 toneladas por semana de cromita con 25 a 30% de cromo. Pequeños lotes de mineral de cromita se benefician en mesas Wilfley en la planta piloto del Servicio Minero de Medellín, para producir un concentrado con 35 a 42% de Cr que se usa en fundición para complementar la cromita. Los resultados son satisfactorios para la compañía. Los depósitos conocidos no pueden soportar una explotación a grande escala.

Prospección de grandes cuerpos minerales. - La posibilidad de descubrir grandes cuerpos mineralizados ocultos debajo de la superficie es pequeña, pero no puede ser descartada totalmente. Probablemente los métodos de exploración directa, tales como trincheras, apiques, socavones y perforación con brocas de diamante son preferibles a los métodos geofísicos indirectos. Los estudios con magnetómetro probablemente serían de poca utilidad a causa del despreciable e impredecible contraste de susceptibilidad magnética entre la cromita y las rocas ultramáficas encajantes. Las investigaciones gravimétricas podrían ser provechosas (W. J. Dempsey, U.S.G.S., comunicación oral, 1968). El contraste de densidad entre cromita (4.3-4.6) y serpentinita (2.5-1.6) es grande aunque las rocas máficas o ultramáficas no serpentinizadas asociadas, con densidades intermedias (3.0-3.2) podrían complicar la interpretación de las anomalías.

#### MERCURIO

Mina Nueva Esperanza - Aranzazu. - La Compañía Minería.

Nueva Esperanza, S.A., filial de Southern Union Co. de Dallas Texas, operó la mina de mercurio Nueva Esperanza al norte de Aranzazu, Caldas. La mina está en el borde sur del cuadrángulo J-8. Esta fué la única mina activa de mercurio en Colombia desde el cierre en 1940 de la mina el Quindío, Tolima y ha sido explotada esporádicamente desde su descubrimiento en 1948 por Roberto Botero, un hacendado de la localidad (R. Wokittel, 1958). La siguiente descripción se basa en la información obtenida durante una visita a la mina en agosto de 1967 y complementada por datos suministrados por la compañía.

Los trabajos y el molino están cerca de la base de una pendiente muy fuerte que mira al oeste, 200 m abajo de la cresta de la Cuchilla de Manzanillo, un angosto filo de dirección norte con elevación en la cima de unos 2.200 m. El filo es accesible por 7 kilómetros de carretera destapada al norte de Aranzazu, pero a la mina puede llegarse solamente a lo largo de medio kilómetro de un sendero que desciende al valle de la Quebrada Manzanilla.

Después de un período inicial de explotación irregular, la mina fué adquirida por el Consorcio Minero Colombiano Ltda., y los trabajos fueron ensanchados. Durante la última parte de 1958 el Consorcio arrendó la concesión a la Compañía Minera Chocó Pacífico S.A., la cual trabajó la mina como una fuente de mercurio para la recuperación por amalgamación del oro y el platino extraídos en el Chocó. La compañía renunció su arriendo en 1960. El consorcio entonces arrendó la mina a particulares que trabajaron a una escala reducida. Finalmente, en 1965, la Southern Union Co. formó la Compañía Minera Nueva Esperanza S.A., con el Consorcio Minero Colombiano Ltda. como accionista minoritario. (A. Rivera, comunicación oral, 1967).

El mercurio nativo ocurre como pequeñas gotitas diseminadas a lo largo de una zona de cizalladura de rumbo aproximadamente N 20°E, con fuerte buzamiento hacia el este, concordante con la foliación de un esquisto de cuarzo-sericitita grafita, equivalente al del Grupo Valdivia. Se dice que la zona mineralizada tiene un ancho promedio de 1.5 m (A. Rivera, comunicación oral, 1967), pero es variable y poco definido. El mercurio ocurre en glóbulos, la mayor parte menores de 1 mm de diámetro, dispersos a lo largo de la foliación y de los planos de fractura. Algunas manchas de cinabrio, de pirita finamente diseminada y venitas irregulares de cuarzo lechoso y calcita, acompañan al mercurio nativo en la zona mineralizada.

zada. Se cree que estos minerales fueron depositados por fluidos hipógenos de baja temperatura provenientes de los intrusivos andesíticos del Terciario que se presentan en el distrito (Wokittel 1958).

Seis socavones han sido abiertos en la falda de la colina a intervalos verticales de aproximadamente 20 metros; aparentemente toda la producción viene de los tres niveles inferiores designados Nos. 4, 5 y 6. Más de un kilómetro de galerías subterráneas han sido abiertas desde que la mina se inició, pero muchas son ahora inaccesibles.

Un compresor con capacidad de 125 pies cúbicos por minuto a 90 libras por pulgada cuadrada proporciona aire a las perforadoras subterráneas. El mineral es arrancado con dinamita y cargado a mano en carros de una tonelada. Se extraen unas 60 toneladas por día, de las cuales aproximadamente la mitad es material estéril. Los trabajos subterráneos han sido interferidos por la contaminación del aire de la mina con vapor de mercurio, un serio peligro para la salud. Para el éxito de la mina es esencial una buena ventilación y la natural debe ser complementada con ventiladores eléctricos que lleven aire al interior a través de tubería. Los mineros son rotados a trabajos de superficie a intervalos frecuentes para evitar larga exposición al vapor de mercurio.

El soporte del terreno también ha sido un gran problema de trabajo y un factor de costo. El esquisto de cuarzo mica grafito encajante es estructuralmente incompetente y la cizalladura en la zona mineralizada ha agravado su debilidad natural. El esquisto cizillado cede plásticamente, de modo que las paredes y el techo de las galerías se mueven hacia dentro y las maderas de soporte deben ser reemplazadas frecuentemente, a veces con intervalos de unos pocos días. Los rieles son doblados y desplazados dificultando el transporte del mineral. Revestimientos de hormigón armado o arcos de acero con poco espaciamiento podrían resolver este problema de control del terreno, pero a un costo muy alto.

El molino actual fué instalado en 1967 en un esfuerzo por mejorar la recuperación ya que con el anterior el mercurio nativo era recuperado con un aparato manual con grandes pérdidas. La nueva planta comprende: depósito del mineral, trituradora de quijada, molinos de rodillos, cribas, trampas para mercurio y equipos auxiliares. La calcinación en retorta no se practica. Solamente se recobra el mercurio nativo y el cinabrio asociado se descarta en

las colas. Se dice que el molino tiene una capacidad de 100 toneladas por día pero molió solamente 30 toneladas diarias en agosto de 1967.

En 1967 un total de 4.600 toneladas métricas molidas durante 260 días dieron 192.2 botellas (6.631 kilos), equivalentes a un tenor recuperado de 0.144 kilos de mercurio por tonelada métrica de mineral tratado. El verdadero tenor de Hg es apreciablemente más alto que esta cifra porque no todo el mercurio nativo es recuperado y el cinabrio se pierde. Se carece de un control de análisis de las cargas del molino y de las colas, de modo que no puede darse un tenor preciso ni un factor de recuperación.

El IMN no tiene datos sobre reservas. Se dice que la zona mineralizada tiene una longitud, según el rumbo, de 85 m (Wokittel, 1958) y ha sido desarrollada por unos 100 m a lo largo del buzamiento. A fines de 1968 se abrió una clavada a una profundidad programada de 30 m para desarrollar más mineral debajo de la galería No. 6. No se conocen los resultados.

El mercurio nativo recuperado, que se dice tiene una pureza del 99.97% es envasado en botellas patrones de hierro de 76 libras (34.5 kilos) netas para entregarlas al mercado. Los principales compradores incluyen la Planta Colombiana de Soda de Zipaquirá, la Pato Consolidated Gold Dredging Ltd., la Compañía Minera de Nariño y fabricantes de pintura, productos químicos y farmacéuticos.

Prospecto de Aguadas. - Cinabrio diseminado y gotitas de mercurio nativo ocurren en un esquisto de cuarzo-mica-grafito y en esquistos cloríticos cizallados equivalentes a los del Grupo Valdivia cerca al fondo del valle de la Quebrada El Mico, a una altura de 1.520 m ; 2.5 kilómetros al suroeste de Aguadas, Caldas. El área está en el cuadrángulo J-8 y no fué estudiada en detalle por el IMN. La primera referencia publicada sobre el mercurio de esta localidad es la de Morer y Nicholls (1962), quienes lo describen como la "mina El Socorro". Se afirma que una concesión para explorar y explotar mercurio fué otorgada a un grupo de comerciantes de Caldas (A. Sánchez, comunicación oral, 1967). En 1966 se construyeron tres cortos socavones de exploración para intersectar la fallación del esquisto, que lleva rumbo norte con un buzamiento muy fuerte hacia el este pudiendo llegar a ser vertical. El primer socavón, con rumbo N 30°E, tiene 30 m de longitud; el segundo mide 18

m. con rumbo de N 40°E y el tercero se derrumbó en agosto de 1967 y es inaccesible. Todos están aproximadamente a la misma altura, unos pocos metros encima del nivel de la quebrada. Hacia la mitad del socavón de 30 m una veta de cuarzo lechoso y calcita, de 5 cm. de ancho, concordante con el esquisto, contiene manchas diseminadas de cinabrio y unos pocos globulos, muy pequeños, de mercurio nativo en las grietas y en la foliación del esquisto. Ningún mineral de mercurio se observó en el socavón de 18 m localizado 40 m al sur, pero unas pocas muestras del material de la veta y de esquisto colectadas en el botadero contenían manchas de cinabrio y globulitos de mercurio. El tercer socavón, sobre el lado opuesto de la quebrada y 250 m aguas abajo al sureste del socavón de 18 m. estaba inaccesible, pero se dice que contiene algo de cinabrio y mercurio nativo (M. Barsona, comunicación oral, 1967). El trabajo fue abandonado en 1966, sin que en ninguna ocasión se hubiera producido mercurio. Morer y Nicholls (1962) consideraron que el prospecto tiene muy poco valor económico y los autores de este estudio están de acuerdo. Sin embargo, la presencia de mercurio en cada uno de los tres socavones, separados por una distancia horizontal de 250 metros, sugiere un ambiente geológico favorable para el mercurio aunque la mineralización fué demasiado débil para formar depósitos explotables.

Perspectiva para futura exploración. - Varias concesiones para explorar y explotar mercurio dentro de una faja de 8 kilómetros de ancho y 35 kilómetros de largo, comprendida entre la mina Nueva Esperanza y el prospecto Aguadas, han sido otorgadas por el Ministerio de Minas y Petróleos. Esta faja parece ser favorable para la prospección de mercurio. El terreno es muy quebrado con relieve local de 500 metros o más, pero la región está bastante poblada y atravesada por una carretera troncal; por consiguiente, la accesibilidad no es un obstáculo. La cartografía geológica del cuadrángulo J-8 y la parte norte del cuadrángulo K-8 serán útiles como una guía de prospección general pero no suficientemente detalladas por sí mismas para permitir una selección de sitios de exploración específica. La exploración para mercurio en la faja Aguadas-Aranzazu podría ser realizada mejor en etapas como sigue:

1. - Reconocimiento detallado; obtención de información de los residentes en la región, examen y evaluación de las ocurrencias de mercurio; fijación de prioridades dando énfasis a las localidades que muestran mineralización y un ambiente

geológico favorable, especialmente fallas y zonas cizalladas en esquistos graffíticos situados a pocos kilómetros de intrusivos andesíticos del Terciario.

2. - Análisis geoquímico de muestras de suelo y sedimentos de corriente para localizar concentraciones anómalas de mercurio. La utilidad de pequeños detectores de vapor de mercurio portátiles en este trabajo ha sido demostrada en otras partes (Halla, 1965) y comprobada por pruebas preliminares efectuadas en la faja Aguadas Aranzazu por Alfredo Andrade ( comunicaciones escrita y oral 1967). Serio pero no insuperable obstáculo, a esta o a cualquiera otra técnica geoquímica es el movimiento descendente del material coluvial y eluvial en terrenos montañosos; este material puede cubrir el terreno mineralizado y posiblemente desplazar las anomalías cientos de metros de sus fuentes originales. Es necesario mucho cuidado en la interpretación de cualesquier anomalías que se descubran.
3. - Métodos directos, tales como apiques, galerías subterráneas o perforaciones con brocas de diamante, deberán ser empleados tan pronto como lo aconsejen los resultados de las etapas 1 y 2. Una cartografía geológica a escala 1:10.000 o más grande, deberá preceder o ser efectuada simultáneamente con estos trabajos.

#### MANGANESO

Los únicos depósitos de manganeso de alguna importancia conocidos en la zona están localizados en II A, 4 kilómetros al noroeste de Santa Bárbara en el cuadrángulo J-8, 50 kilómetros por carretera al sur de Medellín. Fueron descritos por Botero R. (1945) y también estudiados por R. Wokittel (1955) y por D. Velásquez H. (datos no publicados, 1967).

Liditas de estratificación delgada intercaladas con tobas, rocas verdes, filitas, cuarcitas y margas, afloran en el lado oriental de la Quebrada La Loma. La edad de estas rocas no se conoce con precisión: se han correlacionado con la Formación Quebrada

Grande del Cretáceo (Botero A., 1963, pp. 44-45). Los estratos tienen rumbo hacia el norte y buzan fuertemente hacia el este. Los lentes manganíferos concordantes con las liditas verde oscuro, rojas y negras, tienen un espesor de 3 a 8 metros y una extensión indeterminada a lo largo del rumbo (Velásquez, datos no publicados, 1967). Botero R. (1945, pp. 314-316) identificó el material manganífero principalmente como tefroita y braunita, con cubiertas superficiales de pirolusita o "wad". Dos muestras fueron estudiadas por Feininger por rayos X en junio de 1969. Una muestra de material manganífero negro y masivo resultó braunita. La otra muestra de lidita roja cubierta con una membrana negra botroidal fue identificada como vernadita.

Las muestras de mano pueden contener 50% o más de manganeso, pero los cuerpos de tamaño explotables son altamente silíceos con un tenor promedio de menos de 30% de Mn. Diez muestras tomadas por Wokittel (1955) fueron analizadas con el siguiente resultado:

Composición de 10 muestras (% en peso)

	<u>Rango</u>	<u>Promedio</u>
SiO <sub>2</sub>	44.6 - 85.6	70.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.1 - 10.8	5.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0 - 15.2	5.7
Mn	0.4 - 29.1	9.4

Dos muestras seleccionadas por Botero R. (1945, p. 318) dieron 24 y 38% de Mn, con 55 y 37% de SiO<sub>2</sub>, respectivamente Wokittel, Botero R. y Velásquez coincidieron en que las ocurrencias de Santa Bárbara no son económicamente explotables y que el material de la composición anterior no sería clasificado como mineral comercial en otros países. Sin embargo, una fundición de Medellín recientemente comenzó a agregar "mineral" crudo de Santa Bárbara a cochadas de acero en sus hornos eléctricos para hacer aleación de manganeso que se usa en revestimientos de molinos de bolas y en trituradoras de quijada. El consumo actual es de 5 a 10 toneladas por semana. Esta es la primera explotación comercial que se menciona de los depósitos de Santa Bárbara.

El posible origen de estos lentes manganíferos apenas lo mencionan. Botero R. (1945, pp. 316-317) presume la precipita-

ción de carbonato de manganeso de soluciones meteóricas, ricas en bicarbonato de manganeso, derivadas de la lixiviación de rocas ígneas vecinas. Sugirió que la tefroita y la braunita se formaron después de que el carbonato original fué oxidado, luego fué atacado por soluciones ricas en sulfato. Wokittel (1955) propuso un origen hipogenético: los óxidos de manganeso fueron depositados en los intersticios de la "cuarcita" por soluciones de origen desconocido. Sugirió que los bolsones más ricos pueden ser, en parte, un producto de enriquecimiento supergenético.

Los depósitos de manganeso asociados con rocas sedimentarias y volcánicas marinas en otras partes del mundo son consideradas por algunos investigadores como singenéticos, relacionados al volcanismo submarino (Park y MacDiarmid, 1964, pp. 379 381; Hewett, 1966; Sorem y Gunn, 1967). Este concepto puede ser aplicable a los depósitos de Santa Bárbara. El material manganífero y la lidita, especialmente la lidita de color rojo oscuro, ocurren juntos en forma tal que sugiere una depositación contemporánea posiblemente alrededor de manantiales submarinos relacionados al volcanismo en el fondo oceánico.

#### COBRE

Pocas, pequeñas y locales manifestaciones de minerales de cobre han sido observadas por los geólogos del IMN durante el curso de la cartografía regional, pero ningún prospecto promisorio se encontró. Los prospectos individuales se discuten brevemente a continuación. Pequeñas cantidades de calcopirita están diseminadas con pirita y otros sulfuros en muchas vetas de cuarzo aurífero. Por ejemplo, los minerales de las minas auríferas de la Bramadora y Marmato contienen 0.1% o menos de cobre, principalmente como calcopirita finamente diseminada. Es probable que los minerales de la mayoría de las pequeñas minas auríferas de filón de la zona tengan un tenor similar de cobre, aunque se carece de datos específicos. A la escala y con los métodos de trabajo actuales, es enteramente impráctico considerar la recuperación del cobre. La Frontino Gold Mines Ltd. muele 550 toneladas por día de mineral aurífero y recupera por flotación pequeñas cantidades de plomo y zinc contenidos, pero no de cobre.

Buriticá. - Una investigación detallada fué efectuada por el IMN entre julio de 1964 y octubre de 1966 en un prospecto situado al oeste del Río Cauca cerca de Buriticá, 140 kilómetros por ca-

rretera al noroeste de Medellín. Pirita diseminada y escasas perlitas de malaquita en las fracturas de rocas alteradas hidrotermalmente sugieren un ambiente favorable para concentraciones de cobre y posiblemente otros metales básicos, oro y plata. La investigación incluyó cartografía geológica a grande escala, perforación con brocas de diamante, análisis de muestra de canal y de los núcleos de perforación. Los resultados fueron desalentadores y sólo un breve resumen de la geología y una apreciación de las posibilidades económicas se consigna aquí.

La pirita de grano fino está irregularmente diseminada en la parte centro-occidental alterada de una cúpula andesítica del Terciario de 2 kilómetros de diámetro, intruída en rocas sedimentarias y volcánicas del Cretáceo Inferior y en cuarzo-diorita del Cretáceo Superior (?). Los productos de alteración son principalmente caolín y propilita y en algunos lugares la roca tiene características que sugieren una brecha piroclástica. La pirita diseminada, localmente constituye hasta el 4% de la andesita alterada pero el tenor promedio no es más de 2%.

Treinta y cuatro muestras de canal se obtuvieron en la andesita en afloramientos que mostraron poca pirita diseminada. Los análisis de las muestras se resumen a continuación:

Metal	Rango del tenor	Tenor promedio aritmético
Cu	0.01 - 0.07%	0.03%
Pb	0.02 - 6.59%	0.12%
Au	0.0 - 4.0 g/ton	0.34 g/ton
Ag	0.0 - 5.648 g/ton	15.29 g/ton *

\* No incluye dos ensayos de Ag altamente erráticos.

Dos muestras de las 34, cada una con galena visible, dieron ensayos de plata de 5.648 y 1.175 gramos por tonelada métrica respectivamente, pero la mayoría de los ensayos para oro y plata fueron negativos o indicaron trazas solamente.

Se hicieron cuatro perforaciones con broca de diamante, las cuales variaron en profundidad desde 37 a 86 metros, con un promedio de 66 metros; los ensayos de los núcleos dieron los siguientes resultados:

Perforación No.	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
No. de muestras	19	37	56	30
Cu, porcentaje	0.066	0.046	0.065	0.083
Pb, porcentaje	0.081	0.029	0.061	0.15
Zn, porcentaje	0.17	0.10	0.11	0.16
Au, g/ton.	0-tr	0-tr	0-tr	0-tr
Ag, g/ton.	0-tr	0-tr	0-tr	0-tr

Los resultados de los análisis de un gran número de muestras superficiales y subterráneas indican que el prospecto de Buriticá es de poco interés económico. El tenor de los sulfuros es demasiado bajo por ello no se recomienda ningún trabajo adicional.

Toledo. - Una pequeña manifestación de calcopirita con pirita ocurre en esquistos verdes del Grupo Valdivia en la Quebrada El Bique, 1200 metros al norte de El Brujo, en la Plancha I, a-6, 7 kilómetros por camino de herradura al oeste de Toledo. Se rumora que una concesión para cobre fué solicitada hace algunos años. Un solo socavón de 4.5 metros ha sido excavado en la colina, 20 metros encima del nivel de la quebrada, encontrando unas pocas vetas de sulfuros concordantes con la foliación del esquisto encajante, el cual tiene rumbo norte y buza fuertemente hacia el este.

El ancho total de la zona mineralizada es aproximadamente de medio metro. Muestras con 2.5% Cu pueden obtenerse mediante muestreo cuidadoso, pero el tenor sobre un ancho explotable (mínimo 1 metro) es menor del 1% de cobre. No se observaron otros minerales metálicos básicos.

Los sulfuros probablemente representan material sínético movilizado y redepositado a lo largo de foliaciones y planos de cizalladura locales. La pendiente superior está cubierta por suelo y matorral y a juzgar por el carácter de la roca encajante, la débil mineralización y la ausencia de alteración hidrotermal, la probabilidad de hallar un cuerpo mineral explotable es mínima y no se recomienda trabajo adicional.

Anserma. - Dos prospectos que contienen minerales de cobre se conocen cerca de Anserma. Uno está 2 kilómetros al noreste de Anserma en una cantera a orilla de la carretera, sobre el lado oriental del Río Risaralda, y el otro está 3 kilómetros al sur-oeste de la misma ciudad sobre el lado occidental del mismo río al

cual se llega por un camino de 2 kilómetros. Los dos son de características similares. Calcocita, posiblemente supergenética, con películas secundarias de malaquita, azurita, rellena fracturas en zonas de cizalladura desarrolladas en metabasalto del Cretáceo(?). Es posible obtener muestras con 3 a 4% de Cu, pero el tenor promedio a través de un ancho explotable (mínimo 1 metro) se estima en menos de 1%. Las zonas mineralizadas no tienen continuidad y desaparecen en unos pocos metros a lo largo de los rumbos. Ninguna exploración adicional se recomienda en los prospectos de Anserma.

#### Prospectos de cobre al oeste del Río Cauca

Una gran parte del área al oeste del Río Cauca, en la cordillera Occidental está fuera de los límites de la Zona II, pero será estudiada en un futuro cercano, y se considera conveniente incluir los siguientes comentarios:

La mayoría de los prospectos de cobre de la Cordillera Occidental, como aquellos de Anserma, están en o asociados con basaltos y rocas verdes del Mesozoico (Cretáceo ?). Esta es una relación interesante y posiblemente significativa. La abundancia de cobre en la mayoría de los basaltos (3 a 300 ppm, promedio 123 ppm) con base en 130 muestras (Prinz, 1967, p. 278) es más alta que en la roca ígnea promedio (70 ppm. Hawkes y Webb, 1962, p. 22). Los prospectos de la Cordillera Occidental pueden haber sido producidos por migración y concentración local del cobre contenido en las rocas basálticas mismas, como ha sido sugerido para los depósitos de cobre asociados con basaltos del Precámbrico en Michigan, U.S. A. (White, 1968, p. 323). Sin embargo, es dudoso que un mecanismo como el postulado por White pudiera producir depósitos de cobre de tamaño y tenor económicos en los basaltos geológicamente jóvenes y poco alterados de la Cordillera Occidental. Es más probable que cualquier concentración de minerales de cobre que pueda hallarse asociada con los basaltos del Mesozoico sea enteramente epigenética, depositada en fallas o zonas de cizalladura por soluciones hidrotermales ascendentes, remanentes de la cristalización del magma basáltico que fué forzado hacia arriba desde el manto de la tierra.

#### PIRITA

La pirita ocurre, en la Zona II, en pequeños cristales

accesorios, de menos de un milímetro de grueso, diseminada en gran variedad de rocas. No se encuentra concentrada en depósitos masivos. La pirita rara vez se encuentra en proporción mayor del 10% en peso y generalmente va acompañada por otros sulfuros, está diseminada en las vetas de cuarzo aurífero. La Frontino Gold Mines Ltd., cerca de Segovia, descarta unas 40 toneladas de colas por día que contienen en promedio 8.6% de pirita. Hace unos años, la compañía consideró la posibilidad de construir una planta de tostión de pirita para producir ácido sulfúrico como subproducto, pero el estudio demostró que era necesario procesar un mínimo de 60 toneladas por día de pirita para un beneficio económico (M. E. Burke, Frontino Gold Mines Ltd. gerente general, comunicación personal, 1968).

Las minas pequeñas de oro tales como Marmato y la Bramadora extraen un total, estimado, de 1500 toneladas por año de pirita. No se aprovecha nada de esta cantidad, pero a la escala y con los métodos de explotación actuales, su recuperación no es práctica ni económica.

Los geólogos del IMN encontraron manifestaciones de pirita masiva al lado de la carretera, 1 kilómetro al sureste de Ituango (Plancha I, a-4). Lentes delgados, casi verticales, de pirita masiva de grano fino ocurren en una zona de 4 metros de ancho en esquistos verdes del Grupo Valdivia. Los lentes son demasiado pequeños para ser de interés económico, pero su presencia sugiere un ambiente geológico favorable para cuerpos masivos de pirita. El área merece investigación adicional, si en el futuro se instalara una planta de tostión de pirita en Colombia.

#### PLOMO Y ZINC

La recuperación como sub-producto de los concentrados de galena y esfalerita por la Frontino Gold Mines Ltda. ha sido mencionada en la sección correspondiente al oro y la plata. De la mina de oro La Bramadora se despachan a Selby, California, unas 120 toneladas por año del concentrado de sulfuros de las mesas Wilfley, que contienen de 2 a 3%, tanto de plomo como de zinc. Sin embargo, el valor del concentrado está más en el contenido de oro y plata que en los metales básicos. Los minerales de las otras minas de oro de filón contienen pequeñas cantidades de galena y marmatita o esfalerita, pero la recuperación no es económica con los métodos y la escala de trabajo actual. No se conocen en la Zona II, depósitos

explotables esencialmente para plomo y zinc.

## RECURSOS NO METALICOS

### Materias primas para cemento

La fabricación de cemento portland es una industria importante en la Zona II y el valor anual de las materias primas consumidas puede exceder al de cualquier otro producto mineral en la Zona, con exclusión del oro. El cuadro 3 indica las cuatro compañías de cemento que trabajan en la zona, su capacidad diaria en clinker y el tonelaje aproximado de cemento producido en 1967. Se describen brevemente estos trabajos a continuación.

El consumo en 1967, de materias primas para cemento en la Zona II fué el siguiente:

Materias Primas	Toneladas métricas estimadas consumi- das en 1967.
Caliza	750.000
Arcillas	172.000
Hierro	10.000
Yeso	28.000
 T o t a l	 960.000

1/ Incluye 2.000 toneladas de arena en Nare

2/ Consumido por Cementos Caldas

Además, en adición a lo anterior fueron utilizadas 140.000 toneladas de carbón subbituminoso en los hornos de El Cairo y Caldas y 120.000 barriles de petróleo en los hornos de Nare.

Cementos El Cairo. - Esta planta de proceso húmedo fué construida en 1943 cerca de la población de El Cairo. 9 kilómetros al sureste de Santa Bárbara y tiene una capacidad diaria de clinker de 1.000 toneladas métricas. La cantera está en un cuerpo lenticular de mármol de 350 m de largo y 120 m de ancho que tiene rumbo noreste y buza fuertemente hacia el sureste. El lente está intercalado en un esquisto equivalente al del Grupo Valdivia. Este lente

Compañía	Localización de la planta	Proceso	No. de Hornos	Capacidad diaria en clinker (ton.mét.)	Producción de cemento terminado (ton. mét.)
Cementos El Cairo	Sta. Bárbara, 60 km al sur. de Medellín.	Húmedo	4	1.000	280.000 <sup>2/</sup>
Cementos Nare	Margen occidental del Río Magdalena, 225 km al este de Medellín, por ferrocarril.	Húmedo	3	600	147.000 <sup>3/</sup>
Cementos Caldas	Neira, 20 km al norte de Monizales.	Húmedo	2	650	100.000
Cementos Argos	Medellín	<sup>4/</sup>	<sup>4/</sup>	1.200 <sup>5/</sup>	218.000 <sup>6/</sup>

Notas :

- 1/ Datos de empleados de las compañías.
- 2/ Producción de clinker solamente; el 70% del clinker de El Cairo es pulverizado en los molinos de Argos. Aproximadamente 100.000 toneladas por año del cemento terminado, es pulverizado en la propia planta de molienda de El Cairo.
- 3/ Incluye 24.600 toneladas de cemento blanco.
- 4/ Cemento Argos no elabora clinker; opera con molinos solamente, que se alimentan con el clinker de los hornos de El Cairo; también pulverizo algún clinker de Nare.
- 5/ Capacidad de trituración.
- 6/ Cemento terminado de clinker producido afuera.

C U A D R O 3

PRODUCCION DE CEMENTO EN LA ZONA II

1967 <sup>1/</sup>

calcáreo pudo haber sido una caliza arrecifal, formada localmente en una porción pande de la gran cuenca eugeosinclinal en la cual se depositaron los sedimentos de grano fino que posteriormente fueron transformados a los esquistos del Grupo Valdivia. El metamorfismo recristalizó la caliza a mármol, destruyendo todos los fósiles. El mármol es triturado y molido en una planta, cerca de la cantera y bombeado como lodo a través de 4 km. de tubería de acero de 8 pulgadas a silos cercanos a los hornos. Las reservas de mármol son limitadas, pero parecen suficientes para alimentar la planta por algunos años más. El material arcilloso que proporciona la alúmina y la sílice para la mezcla se obtiene de una colina cercana a los hornos y consiste en suelo y saprolita derivados de la descomposición del esquisto sericítico. Análisis típicos proporcionados por la compañía de los principales ingredientes de la mezcla (en porcentaje) son:

	<u>Ingrediente calcáreo</u>	<u>Ingrediente arcilloso</u>
SiO <sub>2</sub>	8.06	66.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.01	16.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.19	6.08
CaO	48.37	3.03
MgO	1.17	1.36
Pérdidas por ignición	39.10	5.40
T o t a l.	99.90	98.57

El carbón subbituminoso es traído en camiones desde Amagá, secado y pulverizado en la planta para quemar en los hornos. El carbón se consume a una tasa de 400 toneladas por día. Unas 100.000 toneladas de cemento por año se fabrican en la planta de El Cairo, pero la mayoría del clinker es transportado a Medellín para ser terminado en la planta de Cementos Argos, S. A.

Cementos del Nare S. A. - Esta planta construida en 1933 cerca de la confluencia del Río Nare y el Río Magdalena, está conectada a Medellín por ferrocarril. Operan dos hornos rotatorios con una capacidad conjunta para 500 toneladas por día de cemento portland y un horno más pequeño con capacidad para 100 toneladas por día de cemento blanco. La cantera está localizada en las má-

genes del Río Nare, 15 km. aguas arriba de los hornos. El mármol mezclado con suelo arcilloso es convertido a lodo en la planta de trituración y molienda y conducido a los hornos a través de 13 kilómetros de una tubería doble; una de 5 pulgadas de diámetro y la otra de seis. Arcilla saprolítica de un depósito cercano a la planta se agrega a la mezcla cuando es necesario. Una pequeña cantidad de arena aluvial se agrega, a veces, para aumentar la sflice a las proporciones requeridas. Caolín, libre de hierro, de La Unión se agrega al lodo para el cemento blanco.

Las reservas de mármol en el área de Nare se miden en millones de toneladas y la mayor parte contiene 95% de  $\text{CaCO}_3$  con menos de 1% tanto de Mg como de Fe.

Una compañía asociada, Colombiana de Carburo y Derivados S.A., trabaja un horno eléctrico con capacidad para 35 toneladas por día de carburo de calcio,  $\text{CaC}_2$  (Gómez A., 1966). El horno trabaja con electricidad producida por la planta hidroeléctrica de Cementos Nare, cercana a las canteras de mármol. Las materias primas incluyen cal viva producida por la calcinación de mármol en un pequeño horno rotatorio y coque de Belencito o carbón antracítico de la parte nororiental de Santander. La producción es de unas 10.000 toneladas por año, de las cuales 7.000 se consumen en la fabricación de cloruro de polivinilo en la planta de la compañía en Ca-jicá, Cundinamarca, el resto se usa en generadores de acetileno y en lámparas de mineros.

Cemento Caldas, S.A. -Esta planta, construida en 1.959 cerca de Neira, 20 km al norte de Manizales, tiene dos hornos rotatorios, cada uno de 325 toneladas por día. Cuatro kilómetros al oriente de la planta está un cuerpo lenticular de mármol gris de grano fino, de 200 m de largo y 20 m de ancho con buzamiento fuerte hacia el este, intercalado en esquisto cuarzo sericitico equivalente al del Grupo Valdivia. La forma lenticular y la extensión limitada de este cuerpo sugiere que también pudo haberse originado como caliza arrecifal, tal como se sugirió antes para el lente de El Cairo. El mármol triturado se transporta a la planta por un cable aéreo de 4 km. El magnesio y la sflice son variables. Las reservas son limitadas.

La arcilla, traída en camiones desde una trinchera 3 km al oriente de los hornos, se deriva de una toba andesítica profundamente descompuesta. Este material, de origen volcánico, es rela-

tivamente, rico en potasio en comparación con la mayoría de los materiales arcillosos que se usan en la fabricación de cemento. Mensualmente se venden 125 toneladas de polvo del horno, que contiene 5% de  $K_2O$  y 40% de  $CaO$ , como materia prima para la preparación de fertilizantes.

El mármol como la arcilla son pobres en hierro y por lo tanto 35 toneladas deben agregarse por día de material ferruginoso a las mezclas. Este material, que contiene un 33% de  $Fe_2O_3$ , se obtiene de un manto ferruginoso de un metro de espesor que yace en los flancos del Nevado del Ruiz.

Cía. de Cementos Argos S.A. - Esta compañía fundada en 1934, originalmente trabajó tres hornos rotatorios en Medellín que se alimentaban con caliza explotada cerca de San José del Nus al sur-oeste de Maceo, en II B. El transporte de 120 km. por tren, era aneconómico y dos de los hornos fueron trasladados a Nare y el tercero a El Cairo. La planta de Argos quedó convertida en una instalación de molienda con una capacidad de 1.200 toneladas por día alimentada principalmente con clinker de El Cairo y también de Nare. Un 4% de yeso procedente de la Mesa de Los Santos, en Santander o de la península de la Guajira, se muele con el clinker.

#### CALIZA Y MARMOL

Subzona II A. - La roca carbonatada es relativamente escasa en II A, comparada con II B y excluyendo los lentes de mármol que alimentan los hornos de cemento en el Cairo y en Neira descritos antes, está restringida principalmente a lentes en esquistos cuarzo-sericitico, situados unos pocos kilómetros al sur de la población de Cocorná, 50 km al sureste de Medellín. Los lentes son pequeños, difficilmente accesibles y tienen poco valor económico actualmente.

Varios estratos de caliza impura y marga ocurren localmente intercalados en los sedimentos clásticos del Cretáceo y del Terciario, especialmente en el cuadrángulo J-8, pero tienen poco valor económico.

La cantera Neira es fuente de materia prima para cemento y cal viva industrial. Un pequeño horno de eje vertical construido cerca de la cantera, tiene una capacidad de 187 toneladas de cal viva por mes, la cual se usa principalmente para blanqueamiento en Manizales.

zales y alrededores.

Subzona II B. - Las reservas de mármol y caliza cristalina son calculables en miles de millones de toneladas en II B. La figura 2 muestra la distribución de los cuerpos de rocas carbonatadas en una faja estrecha entre Segovia y Aquitania. Se carece de datos químicos, pero parece probable que gran parte de estas rocas carbonatadas pueden ser adecuadas para la fabricación de cementoportland, como en Nare. La mayor parte de esta región es quebrada y poco poblada de modo que la poca accesibilidad y la distancia de los centros de consumo son obstáculos que impiden por ahora su desarrollo.

Además de la cantera trabajada por Cementos Nare, cinco o seis pequeñas canteras se explotan para cal al norte de la población de Segovia. El mármol es calcinado en pequeños hornos verticales que queman leña, para obtener la cal viva, que luego es hidratada para obtener cal apagada. Esta última es llevada a Medellín, donde es molida a mallas 100. Las ventas de cal apagada alcanzan a 500 y 600 toneladas métricas por mes y es usada principalmente para purificación de aguas, cal agrícola, tratamiento de cueros, blanquimento y para productos químicos (L. Duque y B. Bran, comunicación oral, 1968).

Mármol en bloques, principalmente de la cantera de Amalfi (mencionada bajo "Dolomita"), es molido y vendido como blanquimento y relleno para varias industrias, especialmente pinturas y plásticos. No se dispone de las cifras precisas, pero se estima que 4.500 toneladas por año se consumen en esta forma. La fábrica de vidrio Peldar en Medellín usó 6.400 toneladas de mármol de Amalfi en 1967.

#### DOLOMITA

Amalfi. - Un lente de mármol, con rumbo este, situado 4 km al noroeste de Amalfi (Plancha II, a-3), tiene cerca de 1 km de largo y varía en ancho desde 160 m en el extremo oriental hasta 300 m en el occidental. Está encajado en esquistos sericíticos equivalentes a los del Grupo Valdivia. La mayor parte del lente es mármol casi puro, en el extremo oriental es dolomítico. Las reservas de mármol dolomítico, calculadas por H. Lozano y H. Restrepo, son solamente de 600.000 toneladas métricas, en tanto que el resto del lente tiene 39.000.000 toneladas métricas probables.

Se ignora por qué solo una pequeña parte es dolomítico y si es dolomita primaria o secundaria. Este cuerpo pudo haberse originado como una caliza arrecifal, tal como se sugirió para los lentes de El Cairo y Neira. La conversión a mármol pudo haber destruido los fósiles en el carbonato original. El mármol dolomítico es blanco o de color crema y tiene una textura sacaroidal. El mármol adyacente es de grano medio (2 a 4 mm) y de color gris. Las dos rocas se distinguen fácilmente en el campo. Los análisis (en porcentajes) de muestras típicas se dan a continuación: (Servicio Minero de Medellín).

	<u>Mármol dolomítico</u>	<u>Mármol</u>
CaO	33.29	55.51
MgO	18.07	0.01
SiO <sub>2</sub>	0.42	0.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14	0.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.22	0.05
Mn	Trazas	Trazas
Ti	Trazas	Trazas
P	-	-
H <sub>2</sub> O	0.04	0.00
Pérdidas por ignición	<u>46.77</u>	<u>43.28</u>
T o t a l	98.95	99.56

El bajo contenido en sílice y de hierro, es característico en ambos materiales. No toda la parte dolomítica es tan alta en magnesio como lo indicado por el análisis; algunas partes contienen solamente de 6 a 12% de MgO equivalente a una caliza magnesiana.

Hay dos canteras en explotación; una para mármol y la otra, para mármol dolomítico. Aproximadamente 11.500 toneladas métricas de dolomita fueron extraídas en 1967, de las cuales 5.900 fueron consumidas en la fabricación de vidrio en Medellín y Bogotá y el resto en usos no especificados.

El Jordán. - Lentes de mármol dolomítico en cuarcita,

ocurren cerca de la población de El Jordán (Plancha III, c-11), 140 km por carretera al oriente de Medellín. El diópsido presente, es un mineral deletéreo y limita los usos de este material. Las reservas se desconocen.

#### ARCILLA

La arcilla fué poco estudiada por el IMN. Los estudios generales de arcilla en Antioquia fueron hechos por la Facultad Nacional de Minas (Suescún y otros, 1966, pp. 3-53; Elwanger, 1966, p. 55-132). Compañías privadas tales como Locería Colombiana S.A. y Erecos S.A. han hecho estudios extensos de los recursos de arcilla en Colombia.

Un manto de saprolita con manchas de hierro cubre la mayor parte de las rocas de la Zona II y es especialmente notable sobre el Batolito Antioqueño. Los depósitos de caolín de buena calidad son menos comunes que el manto de saprolita; el depósito de La Unión es quizás el más importante. Los pequeños hornos caseros para ladrillo y teja que usan saprolita son muy numerosos y constituyen una industria importante.

Caolín de La Unión. - Este depósito, localizado en II A, en las afueras de la población de La Unión, 55 km al sureste de Medellín, ha sido conocido y explotado desde muchos años (Nicholls, V., 1960). Está desarrollado en la parte central de una cúpula del Batolito Antioqueño que cubre aproximadamente 65 km<sup>2</sup>, y esta rodeada por anfibolita y esquistos equivalentes a los del Grupo Valdivia. La cúpula está separada del batolito principal por un techo pendiente de esquistos de 3 km de ancho. El depósito de arcilla está limitado a unos pocos kilómetros cuadrados cerca del centro de la cúpula. Investigadores anteriores han establecido que el caolín de La Unión es un producto residual de la meteorización de la tonalita (Suescún y otros, 1966, pp. 22-44; Nicholls, 1960). Con todo, los autores de este informe consideran que la alteración hidrotermal jugó un papel importante en la formación del caolín de La Unión por las siguientes razones:

a) Profundidad. - Suescún y otros (1966, p. 40) mencionaron perforaciones de 45 m que no encontraron la roca fresca. Dietrich Paetsch (comunicación oral, 1967) informó de una perforación de 80 m en la cual no hubo cambio apreciable en el caolín. Carbonización completa a estas profundidades por meteorización sub-

aérea es improbable.

b) Blancura. - El caolín de La Unión es blanco o de color crema. La saprolita producida por la meteorización normal de tonalita es roja o marrón por la oxidación del hierro en la biotita y hornblenda. Los análisis del caolín de La Unión muestran menos de 1.5% de  $Fe_2O_3$  en contraste con 3 a 8% en tonalita normalmente meteorizada. Es difícil explicar la blancura y el bajo contenido de hierro por meteorización; por otra parte, el blanqueamiento es un fenómeno común de alteración hidrotermal. Puede argüirse que la tonalita de La Unión es una facies alaskítica o felsítica del Batolito. No hay ninguna evidencia directa de esta suposición, por el contrario, el Batolito es notable por su uniformidad y normalmente contiene más de 15% de minerales maficos y entre 5 y 8% de  $Fe_2O_3$  y FeO combinados.

c) Ocurrencia localizada. - Otras áreas extensas de tonalita, sujetas a la misma meteorización, no tienen depósitos de caolín de igual calidad.

El material predominante es caolinita, con cantidades menores de cuarzo. La textura ígnea de la roca original está perfectamente preservada. Los granos de cuarzo son removidos por lavado y tamizado en la mina y se usan como sílice en cerámica. Otro rasgo notable del depósito es la presencia de granos aplanados de 2 a 5 mm de diámetro, perfectamente pseudomorfos de mica que están compuestos de caolinita pura de acuerdo al análisis de Paetsch y otros (1963). La mica alterada probablemente fué biotita, el principal mineral mafico en la tonalita del Batolito Antioqueño. Esta completa caolinización de la mica de La Unión puede interpretarse como evidencia adicional en favor del origen hidrotermal. La mica generalmente es resistente a la meteorización (Deer y otros, 1961, v. 3, p. 70) y a menudo se preserva en la saprolita como escamas brillantes. La alteración completa de la mica a caolinita es común en zonas afectadas por fluidos hidrotermales ácidos (Deer y otros, 1962, v. 3, pp. 208-209). El borde externo de la cúpula de tonalita lógicamente pudo haber cristalizado primero, atrapando los fluidos hidrotermales que pudieron haber alterado deutéricamente el núcleo central a caolinita.

Los datos siguientes, concernientes al perfil vertical del depósito de La Unión, han sido proporcionados gentilmente por Dietrich Paetsch (comunicación oral, 1968). El depósito está cubierto

por un manto de 1.5 m de espesor de material gris, amorfo, (análisis con rayos X) probablemente en su mayor parte alófana, con alguna materia orgánica y hasta 10% de cuarzo libre. Luego sigue una capa de 1 m de espesor de color gris claro que contiene aproximadamente: 65% de kandita, caolinita o metahalloysita o una mezcla de éstas (la metahalloysita va desde 30% en la parte superior hasta 15% en la parte inferior), 25% de cuarzo y 5% de gibsita. Esta capa pasa, en forma abrupta, al cuerpo principal de arcilla blanca subyacente, compuesto de 60% de caolinita, 12% de halloysita y 27% de cuarzo. La textura ígnea, bien preservada en el cuerpo principal, es apenas observable en la segunda capa y ausente en la superior. Este perfil es consecuencia de la meteorización aérea del depósito que fué formada por alteración hidrotermal.

Análisis químicos representativos del caolín de La Unión se dan a continuación:

	<u>1</u>	<u>2</u>
SiO <sub>2</sub>	44.04	48.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37.83	33.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.05	0.9
TiO <sub>2</sub>	0.74	0.6
CaO	0.38	1.0
MgO	0.21	0.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.38	n. a.
K <sub>2</sub> O	n. a.	0.5
Na <sub>2</sub> O	n. a.	0.1
H <sub>2</sub> O	<u>15.32</u>	<u>14.3</u>
T o t a l	99.95	100.4

1. Nicholls (1960, muestra No. EN-207)
2. Caolín de La Unión lavado, tamizado y analizado en Laboratorio de Centrales de Servicios Corona S. A., Medellín
- n. a. No analizado

La producción de caolín de la mina principal de Locería Colombiana fué de 19.000 toneladas métricas en 1967; unas 15.000 toneladas adicionales se obtienen anualmente de otras minas vecinas. El material es llevado a Medellín para ser usado en la fabricación de loza, azulejo, aisladores eléctricos, artículos sanitarios y otros productos cerámicos. Cantidades menores de caolín se usan como relleno, en pesticidas, pinturas y plásticos. En 1967 el IMN asistió a Locería Colombiana S.A., en los arreglos para ensayar el caolín de La Unión como posible fuente de arcillas de alto grado para revestimiento de papel y relleno en papel y caucho con miras a la exportación del producto. Los ensayos mostraron que la arcilla de La Unión, sin tratamiento previo no es adecuada para estos usos. La investigación futura puede probar la posibilidad de procesar la arcilla de La Unión para producir revestimientos y rellenos de alto grado. La reserva puede ser calculable en decenas de millones de toneladas.

Otros depósitos de caolín. - Se presentan otros depósitos en varios sitios de la Zona II, pero ninguno igual a la arcilla de La Unión en pureza y blancura, facilidad de explotación y reservas. El caolín del Carmen de Viboral, 13 km al norte de La Unión, es similar a este último en el modo de ocurrencia pero menos puro. El Carmen de Viboral fué inicialmente la sede de unas doce plantas pequeñas de cerámica que hacían loza, floreros y artículos decorativos baratos, pero después del establecimiento de plantas modernas de Cerámica en Medellín, todas menos dos o tres de ellas, fueron obligadas a cerrar. Caolín altamente plástico se obtiene en pequeñas cantidades en Guarne, 25 km al oriente de Medellín y caolín transportado derivado de la meteorización del Batolito Antioqueño se obtiene de los aluviones de Rionegro, 40 km. al sureste de Medellín. Capas de lodolita, intercaladas con mantos de carbón, en el borde occidental de la Zona II, como por ejemplo en Amagá y Sopetrán (Suescún y otros, 1966, p. 43), están compuestas de caolín impuro transportado. Toba felsítica meteorizada, parcialmente descompuesta a caolín, fué observada por Jaime Durán a lo largo de la carretera cerca de La Ceiba, 15 km al norte de Anserma. Este material es alto en sílice (69% SiO<sub>2</sub>), pero bajo en hierro (0.9% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y podría usarse en cerámica. Las reservas no han sido probadas. Otro depósito fué observado por Jorge Muñoz, al oeste de Anserma, cerca de la hacienda Monte Grande. El material es blanco, de grano muy fino, angular y no plástico. Ha sido explotado esporádicamente en pequeña escala para hacer artículos de cerámica y polvo de limpieza en Manizales. El material podría ser un producto de

alteración hidrotermal de diorita hornbléndica del Terciario (?); las reservas no se conocen.

#### Materias primas refractarias

La planta de refractarios Erecos de Medellín fabrica mil toneladas por mes de ladrillo refractario con las especificaciones de la ASTM, con una amplia gama de composiciones, formas y tamaños. El caolín es la materia prima principal, pero otros materiales, nacionales o importados, también se usan como se muestra en el cuadro No. 4

Los materiales importados constituyen solamente el 20% en peso, pero aproximadamente el 40% del valor total de las materias primas usadas.

Arcillas con alto contenido de alúmina y arcillas con pedestal no se han encontrado hasta ahora en la Zona II. Un delgado manto de saprolita arenosa, rica en caolín, que contiene un 5% de gibsita en forma de veticas y nódulos, ocurre cerca de los Llanos de Cuivá, pero el mineral no tiene valor como materia prima refractaria y sería antieconómico tratar de separar la gibsita de la matriz saprolítica.

Los materiales no arcillosos que pudieran ser usados en refractarios básicos incluyen la cromita y las rocas encajantes ultramáficas ricas en magnesio cercanas a las Palmas y Santa Elena, (véase "Cromita"). El mármol dolomítico de Amalfi podría ser usado como materia prima refractaria básica. Gravas de cuarzo para ladrillos de sílice ocurren cerca a Amalfi. Andalucita, la cual se usa en refractarios de alto contenido de alúmina, ocurre en numerosos lugares de la zona como cristales, en forma de bastones diseminados en esquistos aluminícos y en fragmentos en los aluviones.

#### FELDESPATOS

La Ceja. - Locería Colombiana S.A., explota una pegmatita encajada en anfibolita del Paleozóico, 12 kilómetros al sur de La Ceja. El depósito no fué estudiado por el IMN. El lente de pegmatita tiene de 10 a 20 m de ancho, algunas decenas de metros de largo y está compuesto principalmente de feldespato con cantidades menores de cuarzo y moscovita. El feldespato está generalmente manchado por pequeñas cantidades de óxidos de hierro y manganeso

ITEM	Toneladas usadas por año	Fuente	Observaciones
Caolín	4.800	La Unión, Antioquia	Contiene mas de 35% de $Al_2O_3$
Caolín	600	Guarne, Antioquia.	Altamente plástico
Caolín	4.800	Rionegro, Antioquia	Moldeable
Caolín	1.200	Arcabuco, Boyacá	Buena plasticidad
Tierra de diatomáceas	600	Zarzal, Valle	Para ladrillos refractarios
Arena de sílice	120	Angelópolis, Antioquia	Para ladrillos de sílice
Feldespato	120	La Ceja, Antioquia	Agente esmaltador
Bauxita	3.000	Guyana (Alcán)	Producto alto en aluminio.
Corindón	10	Alemania (Lonzawerke)	Productos especiales para trabajos pesados
Bentonita	60	U. S. A. (American Colloid Co.)	Para agente aglomerante
Grafito	12	U. S. A. (Asbury Vermont.)	En las coladas del alto horno.

CUADRO N° 4

MATERIAS PRIMAS REFRACTARIAS

lo cual reduce su aplicación en cerámica.

Un análisis del material, casi libre de hierro, se dá a continuación:

(Centrales de Servicio Corona S.A.)

	<u>%</u>
SiO <sub>2</sub>	73.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05
CaO	1.50
MgO	-
Na <sub>2</sub> O	5.00
K <sub>2</sub> O	3.60
Pérdidas por Ignición	<u>0.60</u>
<hr/>	
T o t a l.	99.40

El 73% de sílice en el análisis anterior, contrasta con el 63 a 66% en la mayoría de los feldespatos comerciales y sugiere que una cantidad apreciable de cuarzo libre está presente en el material usado en las fábricas de cerámica. Parte del potasio está en forma de moscovita.

Se explotan unas 9.000 toneladas por año, las que clasificadas a mano son enviadas a Medellín. Aproximadamente las dos terceras partes de la producción se consumen en las plantas de Lofería y el resto en Cristalería Peldar S. A. Pequeñas cantidades son adquiridas por consumidores menores que lo emplean como esmalte y como material de relleno.

Los feldespatos de la Ceja no son de alto grado, pero hasta ahora no se han hallado otros recursos mejores.

Otros depósitos. - Lentes de pegmatita cerca de La Pintada, han sido explotados esporádicamente en pequeña escala durante varias décadas. Los geólogos del IMN localizaron varios lentes

de pegmatita potencialmente explotables, cerca del borde oriental de la Plancha I a-5, a lo largo de la carretera a unos 18 kilómetros al sureste de Ituango. Estos lentes blancos, irregulares, tienen varios metros de ancho y posiblemente se extienden vertical y horizontalmente por varios centenares de metros. Los lentes de pegmatita están encajados en neises del Paleozóico del cual pueden haberse derivado durante el metamorfismo regional. La pegmatita es cristalina de grano grueso y está compuesta de albite con conciñades menores de cuarzo y moscovita.

Una muestra analizada en el laboratorio de Centrales de Servicio Corona S.A., dió el siguiente resultado:

	<u>%</u>
SiO <sub>2</sub>	64.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1
CaO	2.0
MgO	1.3
Na <sub>2</sub> O	9.4
K <sub>2</sub> O	0.7
Pérdidas por ignición	<u>0.8</u>
 T o t a l .	
	99.6

El análisis muestra que el ejemplar es "Feldespato sódico". Muestras de control tomadas por Locería Colombiana S. A. dieron resultados menos satisfactorios que los anteriores; sin embargo, sus muestras fueron de material superficial meteorizado y el material fresco puede dar mejores resultados (F. Viertel, comunicación oral, 1968).

#### TALCO

Distrito de Yarumal. - Depósitos de talco situados en terreno montañoso a 14 kilómetros de Yarumal, fueron investigados entre febrero de 1966 y noviembre de 1967 (Hall y Estrada, 1969). Los depósitos son conocidos y explotados en pequeña escala desde 1952. Locería Colombiana S.A. y el IFI, obtuvieron concesiones adyacen-

tes en el área. La concesión del IFI comprende los cuerpos de talco de buena calidad y mejor localizados. Por lo general, el talco es explotado y limpiado a mano. Lencería y otros consumidores compran unas 90 toneladas por semana, directamente a los mineros.

Lentes de serpentinita esteatizada del Mesozoico ocurren en una banda de 400 m de ancho y 15 km de largo de augeneises de cuarzo-feldespato-mica, miembro del Grupo Valdivia ( Plancha I, d-6). Los cuerpos de talco individuales van desde venitas de unos pocos centímetros de grueso hasta lentes de 50 metros de ancho y centenares de metros de largo. Los cuerpos más grandes contienen inclusiones de neis y varían considerablemente en pureza y grado de esteatización. Análisis químicos del talco seleccionado a mano, se indican en el Cuadro No. 5

Los estudios geológicos y los datos de 12 perforaciones con broca de diamante (ver planchas IV, V y VI ) efectuados por el IMN, indican una reserva de 6 millones de toneladas hasta una profundidad de 200 metros en el área estudiada y una reserva adicional de 14 millones de toneladas posibles en extensión de 8 kilómetros de la faja de talco hacia la población de Cedeño.

Cerca de la mitad de las 4.500 toneladas producidas anualmente las usa Lencería Colombiana S.A., y el resto, molido a polvo fino, se usa como relleno en pinturas, plástico y productos de goma. Pequeñas cantidades se usan en cosméticos y preparaciones farmacéuticas, en la limpieza de los rodillos de imprimir textiles, en bombones y en otros usos.

El obstáculo mayor para aumentar la producción del talco en Yarumal, es el contenido relativamente alto de hierro que afecta el color natural y el de ignición. El hierro está presente como películas limoníticas llenando fracturas, en clorita y actinolita ac-cesorias primarias. Los ensayos de beneficio preliminar efectuados por H. P. Le Van e I. L. Feld, del Laboratorio de Investigación Tuscaloosa, U.S. Bureau of Mines, muestran que la flotación puede reducir el hierro total de 4.2 a 3.5%, pero con pérdidas altas en las colas. La factibilidad de beneficiar el talco de Yarumal es dudosa en la actualidad, en parte, porque la demanda nacional es demasiado pequeña para soportar una planta y también porque los costos de beneficio y transporte serían demasiado altos para competir en el mercado mundial. La industria del país continuará creciendo y el mercado puede llegar a ser bastante grande para justificar una explota-

	Muestras de Talco		Talco puro
	1	%	(H <sub>2</sub> O. 3MgO. 4SiO <sub>2</sub> )
SiO <sub>2</sub>	53.75	60.10	63.50
MgO	24.91	29.20	31.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.39	3.40	
FeO	0.68	2.30	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.24	0.71	
MnO	0.12	0.05	
CaO	2.86	2.50	
S		0.08	
Na <sub>2</sub> O - K <sub>2</sub> O	0.72		
CO <sub>2</sub>		0.28	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	5.15	4.60	4.80
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.17		
Total.....	99.99	103.22	100.00

1o.- Analizada en el Servicio Minero, Medellín

2o.- Analizada en Tuscaloosa, Alabama, Laboratorio de U. S. Bureau of Mines

#### CUADRO N° 5

#### ANALISIS QUIMICOS DE TALCO

ción y una planta de beneficio de tamaño económico.

#### Otros depósitos

Se han encontrado otros depósitos de talco y material talcoso por ejemplo, en la cuadrícula en la Plancha I, e-5, asociados con serpentinita cerca de los prospectos de asbestos de las Brisas y en la Plancha I, b-6, asociado con esquistos verdes en la hacienda Cacagual, en la carretera, 16 kilómetros al norte de San Andrés de Cuerquera. Estos depósitos son demasiado pequeños y de baja calidad.

#### CARBON

Aunque el estudio del carbón fué excluido del programa del IMN, los depósitos de carbón subbituminosos son uno de los más importantes recursos de la zona y merecen mención en este informe.

Durante la cartografía de campo, los geólogos del IMN encontraron mantos de carbón lignítico o subbituminosos en sedimentos clásticos del Terciario, especialmente en los lugares siguientes: 10 km al sureste de Puerto Antioquia (Plancha I, e-1); 3 km al este de Ituango (Plancha I, a-4); 10 km al sur-suroeste de Ituango (Plancha I, a-5); cerca al caserío Toyugano (Plancha I, a-6), y 9 Km al norte de Sabanalarga (Plancha I, a-7). Estos mantos son de poca importancia en la actualidad ya sea por su localización o porque son delgados o de mala calidad. Mantos de carbón, económicamente explotables, ocurren a lo largo de la margen occidental de la Zona II, en una faja de 1 a 14 km de ancho que se extiende desde Sopetrán en el norte, pasando por la población de Ebéjico, Heliconia, Titiribí, Amagá, Venecia y Fredonia (Grosse, 1926, pp. 101-161). El carbón de Antioquia no coquiza, excepto algunos mantos cerca de Titiribí que pueden haber sido afectados por silos andesíticos adyacentes. Las reservas dentro de la cuenca de Amagá son calculables en centenares de millones de toneladas (Grosse, 1926, pp. 330-331).

Mina El Silencio. - La mina El Silencio, 2.5 km al norte de Amagá es la más importante en el área y la segunda en Colombia. La mina ha sido trabajada por Industria Hullera S.A. desde 1940.

Los trabajos que comprenden muchos kilómetros de galerías subterráneas están desarrollados en un sinclinal pando cuyo eje cabecea 12°SSW. Los tres mantos principales de carbón tienen es

pesores de 1.2 a 2.2 m y están separados entre sí por areniscas y arcillolitas hasta de 14 m de espesor. El respaldo inferior de los mantos es arcillolita gris masiva. (Aparentemente de ningún valor como arcilla refractaria, de acuerdo con el gerente de la mina) y el superior arenisca limosa gris, masiva de grano fino. Los sedimentos corresponden al Oligoceno Superior según Van der Hammen (1958, p. 113).

El carbón es negro con raya negra marrón, tiene un lustre brillante, fractura concoidal, dureza 2.5 y gravedad específica 1.3. La calidad es relativamente buena para carbón de rango sub-bituminoso. Grosse (1926, pp. 126-127) da los análisis aproximados de 20 muestras de la cuenca de Amagá, los cuales se resumen a continuación. También se incluye un análisis de la mina El Silencio. (Véase cuadro de 20 muestras de la Cuenca Amagá).

La extracción del carbón se hace por socavones horizontales de 2.0 por 1.8 m. Las vagonetas de descargue lateral y capacidad de una tonelada son movidas por pequeñas locomotoras diesel. El buzamiento de los mantos de 12° a 15° permiten que se emplee el sistema de minería de bancos largos.

Bancos largos de 180 m de longitud total se construyen paralelos al rumbo por medio de un cortador rotatorio eléctrico el cual hace cortes de 60 cm de ancho en cada paso. Se necesita una pequeña carga de explosivos para romper la parte superior del manto no alcanzada por el cortador. El carbón arrancado es llevado a la superficie por un transportador de banda continuo de 1.8 km de longitud, accionado eléctricamente y con capacidad de 200 toneladas por hora.

La roca estéril es retirada de la banda transportadora por una pareja de trabajadores en boca mina, pero no se practica otra forma de beneficio y el carbón, sin tamizar tal como sale de la mina, es transportado por carretera a Medellín o a El Cairo. La producción es de unas 800 toneladas por día con 420 hombres en dos turnos de 8 horas diarias. La mina El Silencio puede fácilmente aumentar su producción por lo menos en un 50% pero está limitada por el mercado y la competencia de pequeñas minas cercanas. Toda la producción se consume en los hornos de cemento de El Cairo, en generar vapor en las fábricas de textiles y en la termo eléctrica de Coltejer en Medellín. Las reservas dentro de la concesión El Silencio son adecuadas para sostener la producción de 200.000 toneladas por

	20 muestras de carbón de la cuenca de Amagá	Carbón típico de la mina El Silencio.	1/
	<u>Promedio</u>	<u>Rango</u>	
Carbono fijo	49.7	42 - 59	49.8
Volátiles	41.0	30 - 48	37.9
Humedad	8.1	4 - 11	9.4
Cenizas	3.0	1 - 6	2.4
Azufre	0.6	0.4 - 1.2	0.5
Poder calorífico (Cal/Kg)	5.800	5.070 - 6.270	6.120

1/ Análisis proporcionado por Industrial Hullera, S. A. Medellín.

Es notable el contenido bajo de azufre y cenizos.

CUADRO N°6  
ANALISIS DE LOS CARBONES DE LA CUENCA DE  
AMAGA Y MINA EL SILENCIO

año durante varias décadas (A. Chinchilla, comunicación oral 1968).

Otras minas en el distrito de Amagá. -La mina de carbón San Fernando, unos pocos km al oriente de El Silencio, es la segunda en importancia en el distrito de Amagá y produce 250 toneladas diarias. Unas 30 minas más pequeñas son trabajadas esporádicamente de manera primitiva. La producción total de estas minas es de unas 11.000 toneladas por mes y es consumida por las industrias locales.

Otros depósitos de carbón en la Zona II. -Otros depósitos de carbón subbituminoso afloran al sur del distrito de Amagá, a lo largo del borde occidental de la Zona II en el Departamento de Caldas, especialmente cerca de Riosucio, donde una mina produce 30 a 50 toneladas por día para los hornos de Cementos Caldas S.A. en Neira. Varias minas pequeñas cerca de Quinchía han estado en explotación por muchos años (Fetzser, 1941). Los mantos presumiblemente equivalentes al Oligoceno Superior de Amagá, son en parte coquizables, aunque friables y sujetos a altas pérdidas de finos (Wokittel, 1960, pp. 69-73). Otros depósitos pequeños han sido observados en los siguientes lugares: Diez km al sureste de Quinchía donde afloran mantos de 2 m de espesor, con buzamiento hacia el este; a lo largo de la carretera sobre la margen oriental del Río Cauca y en la Quebrada del Sargento, 1.5 km al este de Aranzazu afloran, en un intervalo de 3.5 m de espesor, mantos de carbón lignítico de mala calidad, intercalados con sedimentos terciarios que buzan de 15° a 30° este (A. Andrade, comunicación escrita, 1968).

#### MATERIALES PARA AGREGADO

No se dispone de estadísticas, pero el valor anual de la roca triturada, de la arena y gravas aluviales que se usan en carreteras y como agregados en construcción, puede estimarse en varios millones de pesos. Las materias primas para construcción no fueron estudiadas por el IMN, pero los mapas geológicos, Planchas I, II y III, serán útiles en las investigaciones futuras de estos materiales.

Roca triturada. - Las canteras al borde de carretera, abiertas por el Ministerio de Obras Públicas o contratistas, generalmente son trabajadas con un solo compresor portátil de aire y uno o dos taladros. El uso de explosivos es mínimo. La mayor parte de las canteras municipales son trabajadas por grupos de campesinos,

quienes toman la roca del frente de trabajo y la trituran con mazas.

Se usa una amplia variedad de rocas incluyendo tonalita del Batolito Antioqueño, para agregado cuando no está muy descompuesto; anfibolita y esquistos que tienden a ser friables y a romperse en fragmentos aplanados; neises; rocas verdes o metabasaltos y aún serpentinita, esta última en un mal agregado para hormigón, pero útil en afirmado de carreteras porque se rompe y compacta fácilmente. Se presta poca atención, en muchos casos, a la clase de roca o a su calidad, siendo los principales requisitos, la localización conveniente y la facilidad de extracción. El control de calidad se practica en los grandes proyectos de construcción, tales como represas o carreteras pavimentadas.

Material de aluvión. - Medellín y sus suburbios son los grandes consumidores de materiales para agregado de la zona. La mayor parte de estos materiales se obtienen de las márgenes del Río Medellín, especialmente en areneras cercanas a la población de Caldas, cerca de Bello y Girardota y en la Quebrada Iguaná. La arena y la grava se emplean generalmente sin tratamiento. Algunos usuarios, interesados en la calidad y resistencia del hormigón exigen el lavado, tamizado y gradación para asegurar la calidad de las mezclas. Cementos Argos tiene una moderna central de mezclas, junto a su planta de cemento, con capacidad para 400 metros cúbicos de hormigón por día, con las especificaciones de la ASTM y el material de aluvión del Río Medellín, es lavado y seleccionado con anterioridad a su uso. Los materiales aluviales también son empleados en pavimentos asfálticos. Una planta operada por el municipio de Medellín, produce 60.000 toneladas métricas por año, de mezcla caliente para pavimento a partir de grava triturada, tomada del Río Medellín, y asfalto.

Roca Ignea meteorizada. - Varias fábricas de Medellín hacen bloques de cemento y tubería usando granodiorita alterada, finamente triturada, obtenida de sus propias canteras cercanas a la ciudad y mezclada con cemento. Estas plantas producen varios cientos de toneladas diarias de bloques y tubería con maquinaria automática de moldeo a alta presión.

La granodiorita alterada también se lava y tamiza para obtener "arena" para revoco y mortero. Este material contiene un componente arcilloso que produce una reacción puzolánica con el

cemento, dando un concreto de alta resistencia (H. von Stauffen, comunicación oral, 1969 ).

Material para agregado liviano. - Poca atención ha dado la industria de la construcción a los materiales para agregado liviano, aun cuando se conocen dos fuentes potenciales en la Zona II.

1) Muestras de shale negro cerca de Amalfi (Plancha II a-3), se hinchan a 950°C y representan una fuente potencial de agregados livianos. Las reservas de la shale hinchante son suficientes para una explotación comercial. Ensayos adicionales serían necesarios para probar su utilidad.

2) A pocos kilómetros al este de Manizales, las vertientes montañosas están cubiertas por un manto de fragmentos de pómex de 0.3 a 3.0 cm de diámetro, que bien podría servir como agregado liviano y como material aislante. Cementos Caldas la ha usado para hacer cemento puzolánico (F. Arenas, comunicación oral, 1967) Las reservas se desconocen, pero un área extensa está cubierta por este material que tiene espesores que van desde 1 hasta 3 metros.

#### PIEDRA DECORATIVA

Esquistos verdes. - La empresa Piedra Esmeralda de Colombia, Ltda., explota esquistos verdes del Grupo Valdivia cerca de esa población. La roca, en la cantera, es laminada y se separa fácilmente en grandes lozas de espesor bastante uniforme. Existen algunas fracturas y diaclasas perpendiculares a la laminación de la roca, las cuales facilitan la extracción. La explotación se hace por medio de huecos verticales estrechamente espaciados y perforados a mano. Los huecos son rellenados con paja que luego se prende y el calor hace que el bloque se agriete a lo largo de la línea de los huecos y pueda ser separado, quedando lista para la división en lájas y desbaste. Esta técnica es lenta, pero tiene la ventaja de preservar los bloques. Los bloques son divididos paralelamente a la foliación en lozas del espesor deseado, luego cortados a máquina y desbastados en un taller cercano a la cantera. Una cantidad considerable de la roca es llevada a Medellín para ser pulida en los talleres de la compañía. La piedra, compuesta de cristales finos de epidota, clorita, actinolita y albita, es dura y su pulimento es costoso. La compañía vende alrededor de la mitad de las lozas producidas sin pulir.

La piedra se usa en enlucido de fachadas, patios y muros interiores. Medellín es el principal mercado, pero se hacen embarques a otras partes del país. Los ensayos hechos para exportar este material no han tenido éxito. Las reservas de esquistos verdes son muy grandes en II A, pero limitadas las de calidad equivalente al de la cantera de Valdivia; sin embargo, son suficientes para soportar cualquier demanda futura.

Otros tipos de piedra decorativa. - El mármol abunda en II B, pero se dispone de poca información en Colombia sobre el mercado de este mármol como material decorativo. El acceso difícil a la mayor parte de los cuerpos de mármol de alta calidad es un inconveniente para su explotación. Pedazos de mármol de las canteras de Amalfi y El Cairo se usan para hacer los llamados pisos y baldosas de "marmolina"

Aunque poco usada como piedra decorativa y estatuaría, la tonalita del Batolito Antioqueño puede tener valor potencial en estos usos porque tiene la composición, aspecto y textura de rocas graníticas, similares a las de otras partes. Zonas de roca fresca, no meteorizada y con diaclasas verticales uniformes, pueden producir piedra comercial.

#### CUARZO Y ARENA SILICEA

Cuarzo de filones. - Una gran planta de trituración y varias más pequeñas procesan en Medellín bloques de cuarzo lechoso procedentes de filones y lentes, especialmente cerca de El Retiro. Los filones y lentes ocurren en esquisto cuarzo sericítico equivalente al Grupo Valdivia y en el Batolito Antioqueño. El cuarzo es una fuente de sílice industrial. Finalmente triturado, se usa en abrasivos, jabones, relleno en pinturas, betunes y compuestos de asfalto y similares. La cantidad consumida se estima en unas 100 toneladas por mes.

Arena silícea. - Peldar usa arena proveniente de una arenisca terciaria, pobremente consolidada, de Titiribí, para producir vidrio en el cual el contenido de hierro no es tan crítico. Esta arena es lavada y seleccionada en una pequeña planta. El consumo es de unas 150 toneladas por mes.

Empresas tales como Triturados e Impalpables S.A., usan arena de Titiribí para procesarla como arena de molde o fundición, agente filtrante en plantas de purificación de agua y otros usos.

El consumo promedio se estima en unas 400 toneladas por mes.

Arena para ladrillo silíceo. - La planta de refractarios Erecos fabrica unas 10 toneladas por mes de ladrillo silíceo usando arena de Titiribí. Una fuente potencial de arena de buena calidad es el conglomerado cuarzoso en Amalfi (Plancha II, a-3). Estratos masivos, hasta de 5 m de espesor, están compuestos casi en su totalidad de guijos de cuarzo blanco de 1 a 4 cm de diámetro, cementado por una matriz silícea. No se dispone de análisis químicos, pero se cree que el contenido de  $SiO_2$  no es inferior al 95% y el color blanco sugiere un contenido muy bajo de hierro.

#### ASBESTOS

La Solita - Las Brisas. - Todas las ocurrencias de asbestos (crisotilo) de la Zona, están en II A. La más grande está en La Solita - Las Brisas, en Plancha I, e-5, 10 km al norte de Campamento y se conoce desde 1944. La firma Johns-Manville Co. Ltd. desarrolló un programa de exploración y evaluación desde 1952 hasta 1953, el cual incluyó cartografía geológica, levantamiento con magnetómetro, apiques y perforación con brocas de diamante. Después, en 1964, la Nicolet Industries Inc., adquirió derechos en la concesión y formó una compañía con Asbestos Colombianos Ltda. La primera etapa de la perforación exploratoria fué terminada en marzo de 1967, comprobando, con base en 5 perforaciones que suman 1.200 m de profundidad, 2.5 millones de toneladas de roca con un contenido de fibra recuperable del 5% principalmente de los grupos 4 y 5 de la clasificación de Quebec, (H. Harris, comunicación escrita, septiembre de 1968). El depósito es llamado "Las Brisas" por Nicolet para distinguirlo de "La Solita", nombre originalmente usado por Jhns Manville Co. Ltda. (ambos nombres se derivan de quebradas que drenan la loza rica en asbestos).

En mayo de 1967 se hizo un levantamiento aeromagnetométrico sobre esta área y otros sitios con serpentinita; los resultados de este levantamiento no se conocen. La carretera de acceso fué mejorada y la perforación, con brocas de diamante, reiniciada a mediados de 1968. A principios de 1969, se había terminado un total de 11 pozos adicionales con una profundidad de 1.800 m de los cuales 330 corresponden a serpentinita con un 4% de crisotilo de fibra sedosa a semi-aspera, adecuada para una amplia gama de productos de asbestos (H. Harris, comunicación escrita, febrero de 1969). No se dispone de datos de las reservas adicionales probadas; la perforación ex

ploratoria continua.

Según Harris, el cuerpo de Las Brisas, está formado por estovercas de venitas de crisotilo de fibra cuarzada de 1 a 20 mm de ancho, en una faja de rumbo noroeste y buzamiento de 45° hacia el SW, encajada en una masa de serpentinita fuertemente cizallada y que tiene el mismo rumbo. Nicolet Industries, Inc. y sus socios, Asbestos Colombianos Ltda., adquirieron una concesión y están construyendo un molino para producir 25.000 toneladas de fibra procesada por año, la mayor parte de la cual, se usará en productos de asbesto-cemento. El excedente será exportado (H. Harris, comunicación oral, junio de 1949).

Otros prospectos de asbestos. -Prospectos de menor potencial se conocen en Las Nieves (Plancha I, d-4) y en Búfalo (Plancha I, e-3). Estos son en general, semejantes a Las Brisas, pero el acceso es más difícil y los depósitos son más pequeños y de más bajo contenido en fibra. La calidad sin embargo, es adecuada para productos de asbesto-cemento. Ambos depósitos fueron explorados por Johns - Manville Co. Ltda. en 1952-1953. Los prospectos están en cuerpos de serpentinita aislados como se muestra en la Plancha I. También exploraron un cuarto prospecto llamado "La Polca" situado 1.5 km al norte de La Solita-Las Brisas, sobre el lado norte del Río San José y puede considerarse como continuación de ese yacimiento.

Otros prospectos de asbesto de potencial pequeño a despreciable fueron encontrados 8 km al este de Sabanalarga ( Plancha I, a-8) y 2 km al norte de Breceño (Plancha I, c-5). Los prospectos de Sabanalarga contienen fibra de aceptable calidad. El de Breceño es antigorita (picrolita) fibrosa a lo largo de espejos de falla.

#### WOLLASTONITA

La wollastonita ha tomado importancia en los Estados Unidos como mineral industrial desde 1949, especialmente como materia prima en cerámica, en baldosas refractarias y en la fabricación de lana de roca. No es un mineral raro, pero los depósitos explotables son escasos.

Se estudiaron los depósitos de wollastonita al oeste y sur-oeste de Maceo (Plancha II, c-7), desde Agosto hasta Octubre de 1965 por medio de cartografía geológica a grande escala y 5 perforaciones con broca de diamante, poco profunda (20 m en promedio.)

El programa se suspendió por la mala recuperación de los núcleos (Néstor Castro, datos no publicados, 1966). Depósitos semejantes en San José del Nus, unos pocos kilómetros al sur del área donde se perforó, fueron explotados esporádicamente durante varios años, antes de 1966. La wollastonita en ambos lugares se presenta en lentes y vetas irregulares, originados por metamorfismo de contacto, encajados en los techos pendientes de mármol, cercanos al borde oriental del Batolito Antioqueño. Las perforaciones indicaron una reserva de 16.000 toneladas de roca rica en wollastonita, en forma de vetas, la mayoría de menos de 1 metro de espesor encajadas en mármol cuarzoso, en un área menor de una hectárea, sobre la margen suroccidental de la Quebrada La Calera, 4 km al oeste de Maceo.

La wollastonita de San José del Nus se usó entre 1963 y 1966, mezclada con mármol, como placas decorativas en pisos a base de cemento o mosaico granítico. Las canteras fueron abandonadas desde 1966 porque resultó más económico usar fragmentos de mármol de Amalfi y El Cairo. La wollastonita no se ha usado como materia prima en cerámica.

Los prospectos son favorables para localizar reservas mayores que las indicadas por las perforaciones del IMN. No se conocen en Colombia otras fuentes de wollastonita económicamente explotables.

#### ANDALUCITA

Andalucita en esquistos. - La andalucita, junto con sus polimorfos, cianita y sillimanita, se usa en la fabricación de refractarios de mulita artificial y porcelanas eléctricas. La andalucita, de origen metamórfico regional, es común en la Zona II como porfiroblastos sericitizados de 0.5 a 1 cm de diámetro y 2 o 3 cm de largo, en los esquistos cuarzo-sericiticos de la Plancha II, a-1 y a-3, en II B y en la Plancha I, a-4, b-5, b-6, c-3, c-4, e-1, e-2 en II A. Rara vez se encuentran porfiroblastos frescos. La andalucita sericitada es de poco valor económico.

Andalucita aluvial. - En el Bagre, en la parte noreste de II B extensas acumulaciones de arena y cascajo, desechos de las labores de dragado para oro del Río Nechi, contienen cristales redondeados de andalucita relativamente fresca. Menos del 1% de los desechos es andalucita y existe una gran reserva en los millones de

toneladas de desechos de las dragas a lo largo de este tramo del Río Nechí.

#### BAUXITA

Se conocen pequeños depósitos de bauxita en Llanos de Cúcuta (Plancha I, c-8). 80 km al norte de Medellín (Singewald, 1950, p. 90). El más favorable de éstos fué estudiado con una serie de 30 arranques de 1.5 a 4 m de profundidad (Londoño, datos no publicados, 1966). La saprolita caolínítica de 1 a 4 m de espesor, derivada de la meteorización del Batolito Antioqueño, contiene localmente hasta 15% de gibsita diseminada como nódulos de 2 a 20 cm de diámetro y como venitas de 0.1 a 1 cm de ancho. El material en bruto contiene desde 17 hasta 28% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y llega a 68% de silice. Una muestra analizada con rayos X, tenía una composición mineralógica aproximada de: 50% cuarzo, 40% metahalloysita (?) y 5% gibsita (D. Paetsch, comunicación escrita, 1967). Los nódulos de gibsita, del tamaño de un puño, pueden contener hasta 54% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Sin embargo, el tenor promedio de gibsita en la saprolita arcillo-arenosa es solo de 5%. El bajo tenor de gibsita y lo delgado del manto de saprolita, descarta toda posibilidad de explotación.

## BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, Benjamín, Palau, Clímaco y Paba Silva, Fernando, 1939. - El yacimiento de hierro de Morro Pelón, Municipio de Campamento (Antioquia): Colombia Minas y Petróleos Bol. Bogotá, Nos. 121 - 144, pp. 61 - 64.
- Botero A., Gerardo, 1963. -Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia: Colombia Facultad de Minas Anales, Medellín, No. 57, 101 p.
- Botero R., Gilberto, 1945. - Yacimiento de manganeso de la Quebrada de "La Loma", Municipio de Santa Bárbara, Departamento de Antioquia: Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia, Bogotá, v. VI, pp. 307-319.
- Caillère S., and Hénin, S., 1957. - The chlorite and serpentine minerals (ch. 8); and the sepiolite and palygorskite minerals (ch. 9); in R. C. Mackenzie ed., The differential thermal investigation of clays; Mineralogical Soc. London, 456 p.
- Clausen, C. F. 1960. - Industrial minerals and rocks; Am. Inst. Min. Met. and Petroleum Engineers, 3d ed., New York, pp. 203-231.
- Cock, J.A., 1938. - La empresa siderúrgica de Medellín:Dyna (Revista de la Escuela Nal. de Minas), Medellín, v. 2 No. 3 pp. 142 - 173.
- Dana, E. S., 1892. - Descriptive mineralogy: John Wiley & Sons, New York, 1134 p.
- Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, Jack, 1962-63. -Rock-forming minerals: 5 v. 1, ortho-and ring silicates, 333 p.; v. 2, chain silicates, 379 p.; v. 3, sheet silicates, 270 p.; v. 4, framework silicates, 435 p.; v. 5, nonsilicates, 371 p.: John Wiley & Sons Inc., New York.

- Ellwanger, Reinaldo., 1966. - Informe sobre las investigaciones de arcilla hechas en los laboratorios de la Facultad Nacional de Minas; Colombia: Serv. Geol. Nal. Bol. Geológico, Bogotá, v. XIV, Nos. 1-3, pp. 55-132.
- Feininger, Tomas., 1970. - The Palestina fault: Geol. Soc. Am. Bull, Boulder, Colorado v. 81, No. 4. pp. 1201-1216.
- Fetzer, W. G., 1939. - Contribución al estudio de las minas de Suiza y Marmato: Rev. minera, Asoc. Colombiana Mineros, Medellín, v. 7, No. 81, pp. 7237 - 7255.
- Fetzer, W. G., 1941. - Comisión Geológica de Caldas, Compilación de los Estudios Geológicos en Colombia; Serv. Geol. Nal. Bogotá, Tomo V p. 503.
- Forbes, J. H., and Smart, E., 1921. - 3d ed., revised by Allen, A. W.; Cyaniding gold and silver ores: Chas. Griffin & Co. Ltd., London, 417 p.
- Goles, G. G., 1967. - Ultramafic and related rocks: John Wiley & Sons, Inc., New York, 464 p.
- Gómez A., Bernardo, 1966. - Descripción del proceso para la producción del cloruro de polivinilo por la vía carburo - ace - tileno: Dyna, Colombia Facultad Nal. de Minas, Medellín. No. 81, pp. 12 - 16.
- Grosse, Emil., 1926. - Estudio geológico del Terciario carbonífero de Antioquia: Berlín, Dietrich Reimer, 361 p.
- Hall, R. B., 1965. - A field test of two methods of geochemical analysis for mercury in soil: CEMENTO Seminar on Field Techniques for Mineral Investigation, Isfahan, Iran, pp. 125 - 132.
- Harder E. C., 1952. - Problems of clay and laterite genesis Am. Inst. Min. Engineers, New York, pp. 35 - 64.
- Hawkes, H. E., and Webb, J. S., 1962. - Geochemistry in mineral exploration; Harper and Row, New York, 415 p.

- Helgeson, H. C., and Garrels, R. M., 1968. - Hydrothermal transport and deposition of gold: Econ. Geol. v. 63, Urbana, Illinois, pp. 622 - 635.
- Hewett, D. F., 1966. - Stratified deposits of theoxides and carbonates of manganese: Econ. Geol., v. 61, No. 3, Urbana, Illinois, pp. 432 - 461.
- Ladoo, R. B., 1960. - Industrial Minerals and Rocks: Am. Inst. Min. Met. and Petroleum Engineers, New York, pp. 897 - 899.
- Mason, Brian., 1952. - Principales of geochemistry: John Wiley & Sons, Inc., New York, 176 p.
- Morer, J. J., y Nicholls V., Eduardo, 1962. - Informe de la mina "El Socorro", mercurio, Municipio de Aguadas, Dpto. de Caldas: Colombia Serv. Geol. Nat. Bol. Geológico, v. X, Nos. 1-3, Bogotá, pp. 217 - 228.
- Nicholls V., Eduardo, 1960. - Arcillas y caolines del Municipio de La Unión, Antioquia: Colombia Serv. Geol. Nat. informe No. 1349, Bogotá, 22 p.
- Overstreet, N. C., 1967. - The geologic occurrence of monazite: U. S. Geol. Survey Prof. Paper 503, Washington, D.C., 327 p.
- Paetsch, D., Feltkamp, K., and Schimmel, G., 1963. - Ein ungewöhnlicher kaolinit: Berliner Deutschlands Keramische Gesellschaft, v. 40, Berlin, pp. 386 - 389.
- Park, C. F., Jr. and MacDiarmid, R. A., 1964. - Ore deposits: W. H. Freeman and Co., San Francisco, 475 p.
- Prinz, Martin, 1967. - Basalts, the Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition: Interscience Publishers, v. 1 New York, pp. 271 - 323.
- Restrepo A., Hernán, 1959. - Mineral de hierro al norte de Medellín, Colombia Serv. Geol. Nat. Bogotá, informe No. 1329, 24 p.
- Restrepo, Vicente., 1937. - Estudio sobre las minas de oro y plata de Colombia: primera ed., 1884; 2a. ed., 1888, Silvestre

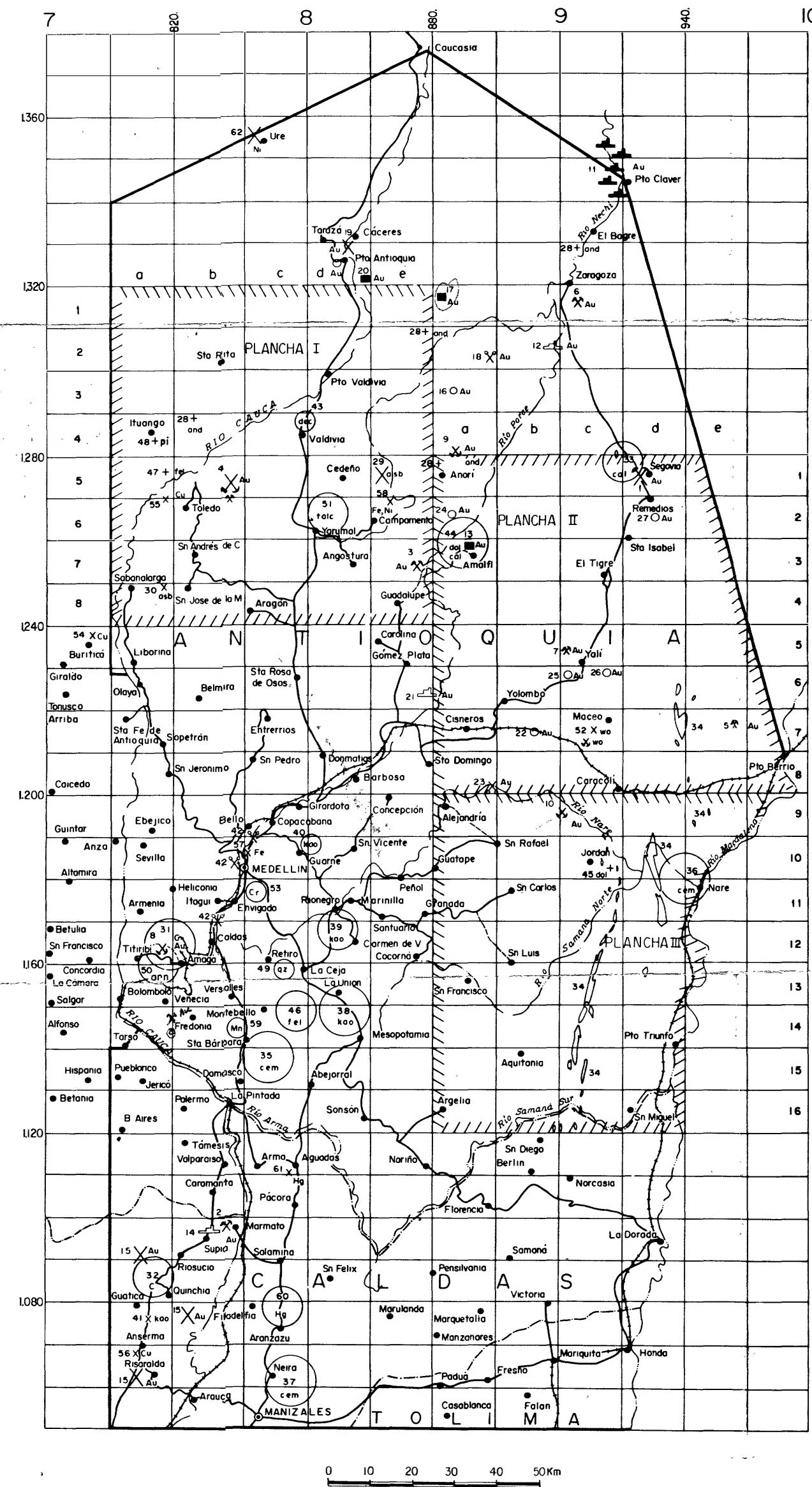
- y Cía. Bogotá; Anales de la Escuela de Minas, Medellín pub. especial, 314 p.
- Schuiling, R. D., 1967. - Tin belts on the continents around the Atlantic Ocean: Econ. Geol. Urbana, Illinois, v. 62, pp. 540 - 550.
- Sherman, G. D., 1952. -Problems of clay and laterite genesis: Am. Inst. Min. Engineers, New York, pp. 154 - 161.
- Singewald, Q. D., 1950. - Mineral resources of Colombia (other than Petroleum): U. S. Geol. Survey Bull. 964-B, Washington, D. C., pp. 53 - 204.
- Sorem, R. K., and Gunn, D. W., 1967. - Mineralogy of manganese deposits Olimpic Peninsula, Washington: Econ. Geol., Urbana, Illinois v. 62, No. 1, pp. 22 - 56.
- Suescún, D., Ellwanger, R., Rico, H., Gómez, E., y Ospina, H. 1966. - Estudio de las arcillas de la zona central de Antioquia: Colombia Serv. Geol. Nal. Bol. Geológico, Bogotá, v. XIV, Nos. 1 - 3, pp. 3 - 53
- Thayer, T. P., 1967. - Ultramafic and related rocks: John Wiley & Sons Inc., New York, 464 p.
- Van der Hammen, Thomas., 1958. - Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos: Colombia Serv. Geol. Nal. Bol. Geológico, Bogotá, v. VI, Nos. 1 - 3, pp. 67 - 128.
- White, W. S., 1968. - Ore Deposits of the United States: Am. Inst. Min. Met. and Petroleum Engineers, New York, v. 1, pp. 303 - 325.
- Wilson, F. K., and Darnell, B. F., 1942. - A lode gold mine in Colombia: Eng. & Min. Jour., New York, v. 143, No. 4 pp. 62 - 66, No. 5 pp. 58 - 62.
- Wokittel, Roberto., 1960. - Recursos minerales de Colombia; Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia: Colombia Serv. Geol. Nal. Bogotá, v. X, 393 p.

Wokittel, Roberto., 1958. - La mina de mercurio "La Esperanza".  
Municipio de Aranzazu, Departamento de Caldas: Colombia  
Serv. Geol. Nal. informe No. 1282, Bogotá, 14 p.

Wokittel, Roberto., 1955. - Yacimiento de manganeso en el Municipio  
de Santa Bárbara, Departamento de Antioquia: Colombia  
Serv. Geol. Nal. informe No. 1099, Bogotá, 8 p.

Wyllie, P. J., (ed) 1967. - Eltramacic and related rocks: John Wiley  
& Sons, New York, 464 p.

# MINAS Y PROSPECTOS



## MINAS DE VETAS

- ✓ 1 Frontino Gold Mines, Ltd.
- ✓ 2 Minas Nacionales de Marmato
- ✓ 3 La Bramadora
- ✓ 4 Berlín
- ✓ 5 El Carmen
- ✓ 6 El Limón
- ✓ 7 El Corocito
- ✓ 8 El Zancudo
- ✓ 9 La Constancia
- ✓ 10 Las Camelias

## MINAS DE ALUVION

- ✓ 11 Pato Consolidated Gold Dredging Ltd.
- ✓ 12 Antigua explotación por draga en el bajo Porce, Pato Consolidated.
- ✓ 13 La Vistoria
- ✓ 14 Supia Gold Dredging Co.
- ✓ 15 Prospecciones aluviales SW de Supia
- ✓ 16 Minera El Hatillo S.A. (Madreseca)
- ✓ 17 La Tinta - San Bartolo
- ✓ 18 Prospecciones a mano del Río Tenche
- ✓ 19 Prospecciones de Pto. Antioquia y minas abandonadas perteneciente a G. Mora
- ✓ 20 Monitor de Purí
- ✓ 21 Minas de Oro de Porcicito
- ✓ 22 Mina hidráulica antigua en el Río Nus
- ✓ 23 Prospecciones a mano del Río Nus
- ✓ 24 Minas hidráulicas San Benigno-Norizal
- ✓ 25 Mina hidráulica El Limón
- ✓ 26 Minas hidráulicas antiguas en el Río San Bartolomé y sus afluentes
- ✓ 27 Minas hidráulicas antiguas al sur de Remedios
- ✓ 28 Combia

## SÍMBOLOS

- Mina de veta en producción >100 toneladas por día
- Mina de veta en producción 10 a 100 toneladas por día
- Mina de veta en producción < 10 toneladas por día
- Mina de veta abandonada
- Mina activa de aluvión en pequeña escala
- Mina pequeña de aluvión abandonada
- Prospección de alguna posibilidad

## OTRAS MINAS, CANTERAS Y PROSPECCIONES

- ✓ 28 Varias prospecciones de andalucita (ver texto)
- ✓ 29 Depósitos de asbestos, Las Brisas y La Solita.
- ✓ 30 Prospección de asbestos, Sabanalarga
- ✓ 31 Minas de carbón, Amagá
- ✓ 32 Minas de carbón, El Salado, Caldas
- ✓ 33 Rocas decarbonatadas vivas, Segovia
- ✓ 34 Afloramientos de calizas y mármoles al oriente de Antioquia
- ✓ 35 Cementos El Cairo
- ✓ 36 Cementos El Nare
- ✓ 37 Cementos de Neira (Caldas)
- ✓ 38 Caolín de La Unión
- ✓ 39 Caolín de Río Negro y Carmen de Viborá
- ✓ 40 Caolín de Guarne
- ✓ 41 Prospección de caolín al norte de Anserma (Caldas)
- ✓ 42 Recursos de agregados cerca a Medellín
- ✓ 43 Piedra para enchapado (esquistos verdes) de Valdivia.
- ✓ 44 Dolomita y mármol cerca a Amagá
- ✓ 45 Prospección de dolomita, El Jordán
- ✓ 46 Feldespato al sur de La Ceja
- ✓ 47 Afloramiento de feldespato al sur de Ituango
- ✓ 48 Prospección de pirita en Ituango
- ✓ 49 Cuarzo cerca de El Retiro
- ✓ 50 Arena de cuarzo de Angelópolis y Titiribí
- ✓ 51 Talcio al NE de Yarumal
- ✓ 52 Wollastonita al SW de Maceo
- ✓ 53 Cromita al SE de Medellín
- ✓ 54 Prospección de cobre y plata cerca a Buritacá
- ✓ 55 Prospección de cobre al W. de Toledo
- ✓ 56 Prospección de cobre al SW de Anserma
- ✓ 57 Laterita ferruginosa al N. de Medellín
- ✓ 58 Laterita ferruginosa en Morro Peñón
- ✓ 59 Prospecciones de manganeso en Sta. Bárbara
- ✓ 60 Mina de mercurio, Nueva Esperanza
- ✓ 61 Prospección de mercurio, Aguadas
- ✓ 62 Laterita níquelífera cerca a Uré (Córdoba)

## SÍMBOLOS

- |      |                                |     |                         |     |            |      |                 |
|------|--------------------------------|-----|-------------------------|-----|------------|------|-----------------|
| ond  | Andolítico                     | cem | Materiales para cemento | fel | Feldespato | qz   | Cuarzo          |
| osb  | Asbesto                        | Cr  | Cromita                 | Hg  | Mercurio   | orn  | Arena de cuarzo |
| C    | Carbón                         | Cu  | Cobre                   | Kao | Caolín     | X    | Agregado        |
| col  | Roca de carbonato              | dec | Piedra de enchapado     | Mn  | Manganeso  | tolc | Talcio          |
| colc | Afloramientos de roca calcárea | dol | Dolomita                | Ni  | Níquel     | Wo   | Wollastonita    |
|      |                                | Fe  | Hierro (laterita)       | pi  | Pirita     |      |                 |

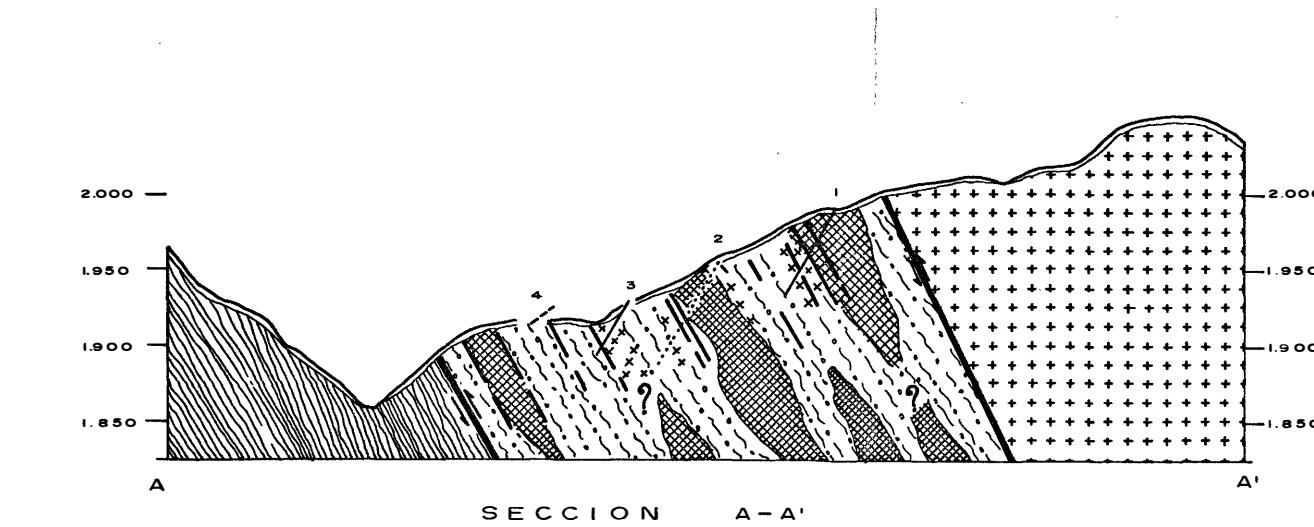
## MINAS O CANTERAS EN PRODUCCIÓN

- Producción: >100 toneladas por día
- Producción: entre 10 y 100 toneladas por día
- Producción: < 10 toneladas por día

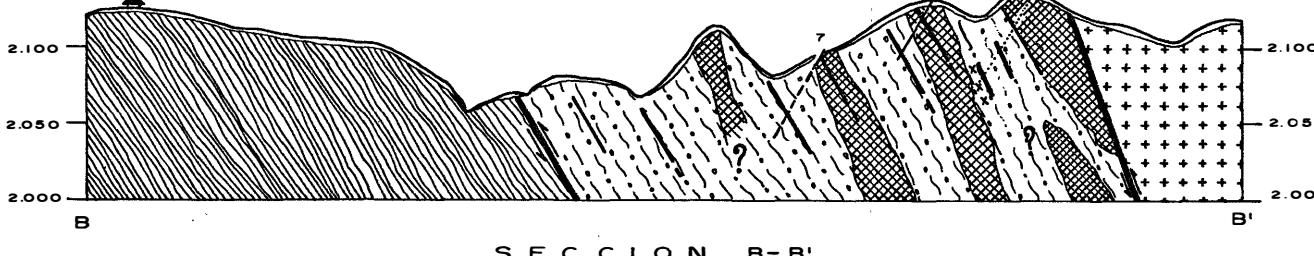
## PROSPECCIONES

- ✗ Prospección de gran posibilidad
- ✗ Prospección de poca posibilidad
- ✚ Prospección
- ⤵ Contorno de mapas geológicos publicados por "Ingeominas"

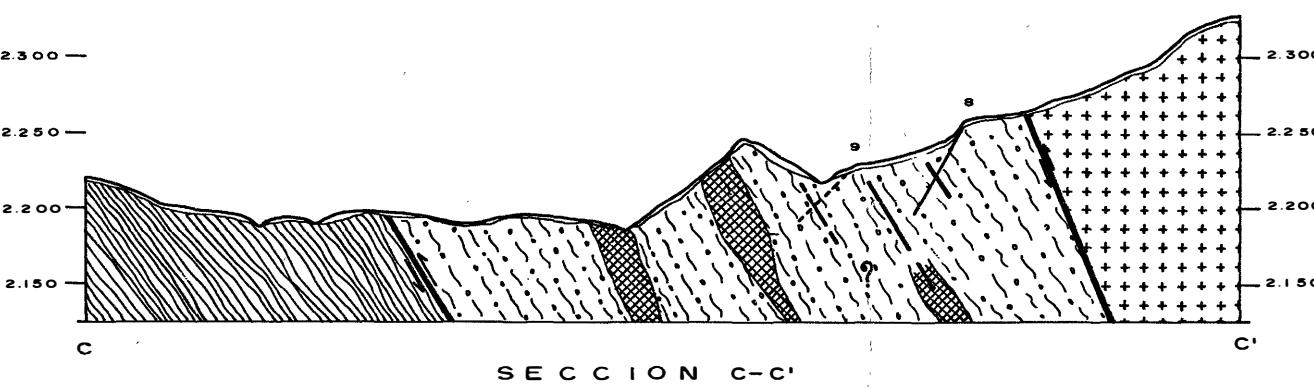
Fig. 2 - Croquis de localización de los recursos principales de la Zona II, Antioquia central y Caldas septentrional.



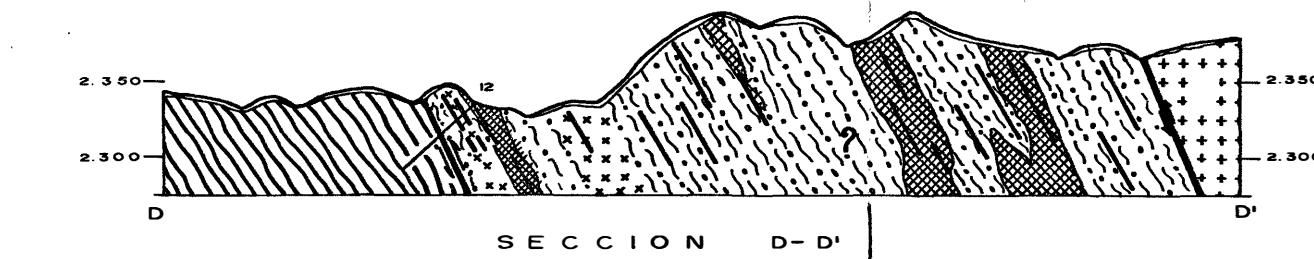
### LEYENDA



- Metagabbro
- Talc y roca talcoso con intercalaciones locales de neis ougen y serpentinitite
- Serpentinito, localmente talcoso.



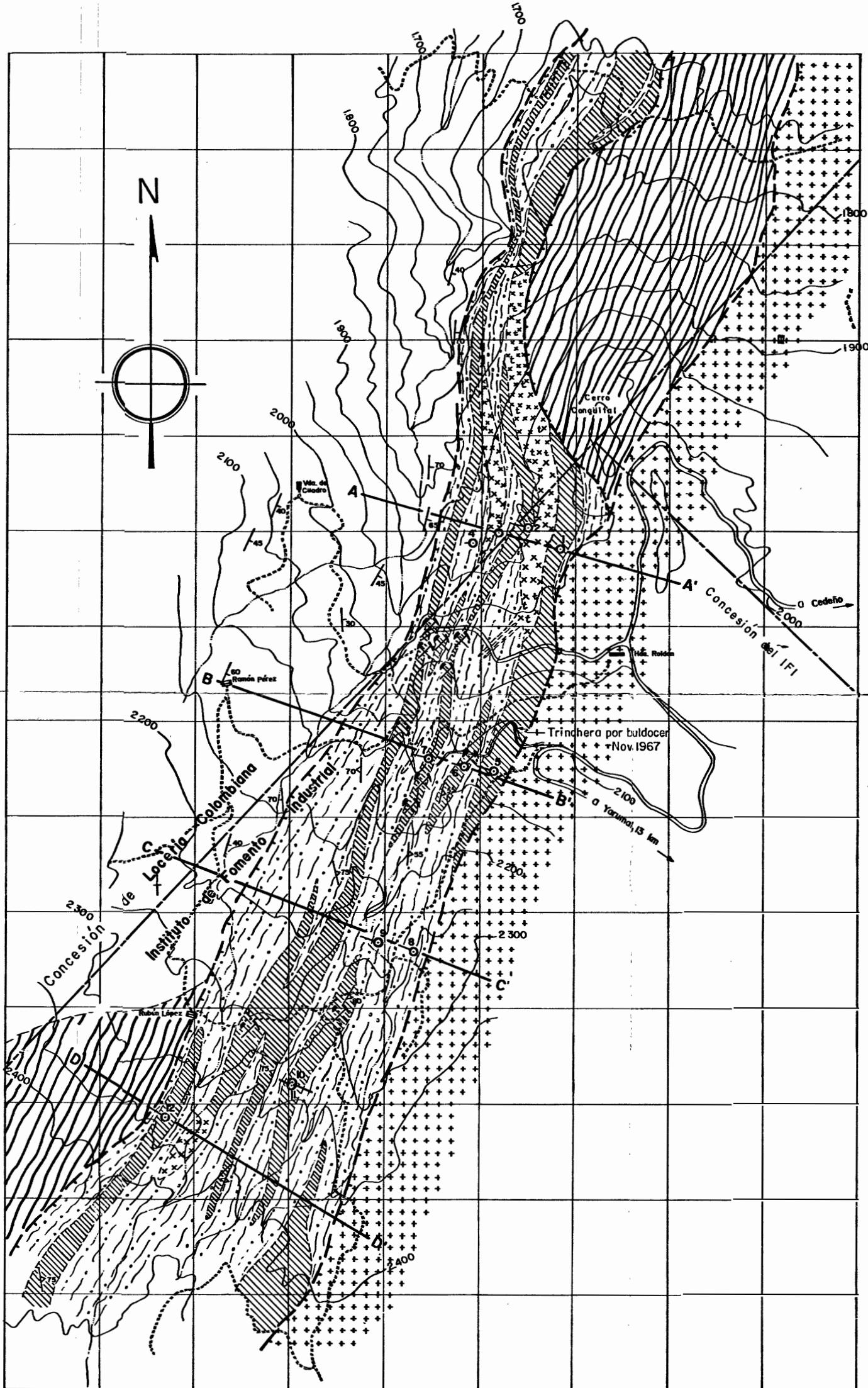
- Anfibolita
- Esquisto, principalmente de cuarzo y mico con copos de esquisto verde.
- Neis ougen



- Vetos o lentes delgados de talco
- Suelos coluviales
- Fallo inferida
- Pozo de perforación
- Proyecto de pozo de perforación del lado del lector
- Proyecto de pozo de perforación del lado opuesto del lector

Nota: Exceptuando los pozos de perforación las secciones fueron interpretadas. El control geológico de la superficie es pobre debido a la cobertura de suelos coluviales.

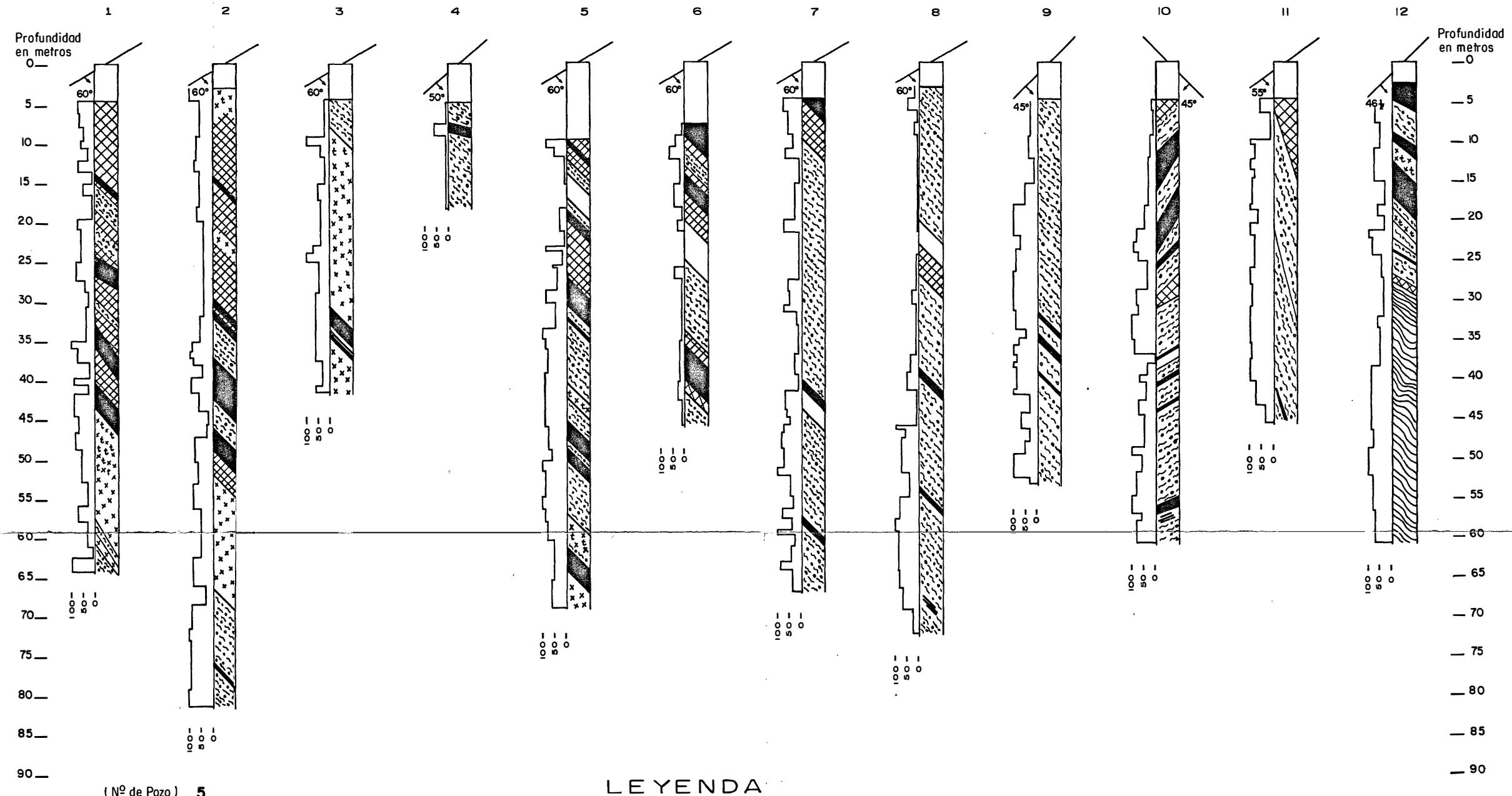
100 50 25 0 100 200 M.  
Escala horizontal y vertical



## LEYENDA

- [Pattern of crosses] Metagabro
  - [Hatched pattern] Talco y raca talcosa con intercalaciones locales de neis augen y serpentinitas
  - [Cross-hatched pattern] Serpentinita talcosa
  - [X pattern] Serpentinita
  - [Wavy lines] Anfibolita
  - [White box] Esquisto, principalmente de cuarzo y mica con capas de esquisto verde con clorita y actinolita.
  - [Hatched pattern] Neis augen
  - [Dashed line] Contacto inferido
  - [Line with arrow] Falla, dientes indican el respaldo dto.
  - [Line with angle] Rumbo y buzamiento de estratificación y foliación de esquistos metasedimentarios.
  - [Line with angle] Rumbo y buzamiento de foliación
  - [Circle with number and angle] Ubicación, número e inclinación de pozo de taladro
  - [Hammer icon] Apique hecho a mano para extracción de talco
  - [Line with dots] Límite de concesión
  - [Line with diagonal dashes] Carreteable
  - [Line with wavy dashes] Camino de herradura
  - [White box] Casa
- Base topográfica por: L.G. Castaño, 1966  
 Geología por: A Estrada y L.V. Blaile, 1966  
 Modificada por: R.B. Hall, 1967
- Curvas de nivel cada 50 metros

Plancha-IV Mapa geológico de los depósitos de talco, Yarumal Dpto. Antioquia



Inclinación del pozo  
desde el plano horizontal, exceptuando  
Nº 10 todos los  
pozos son de rumbo NW.

Porcentajes de  
recuperación de  
núcleos.

Suelos y rocas  
meteorizadas sin  
recuperación

Talco de calidad  
utilizable

Roca talcosa  
de calidad inferior  
y no utilizable

Serpentinita

Serpentinita  
talcosa

Neis augen

Anfibolito

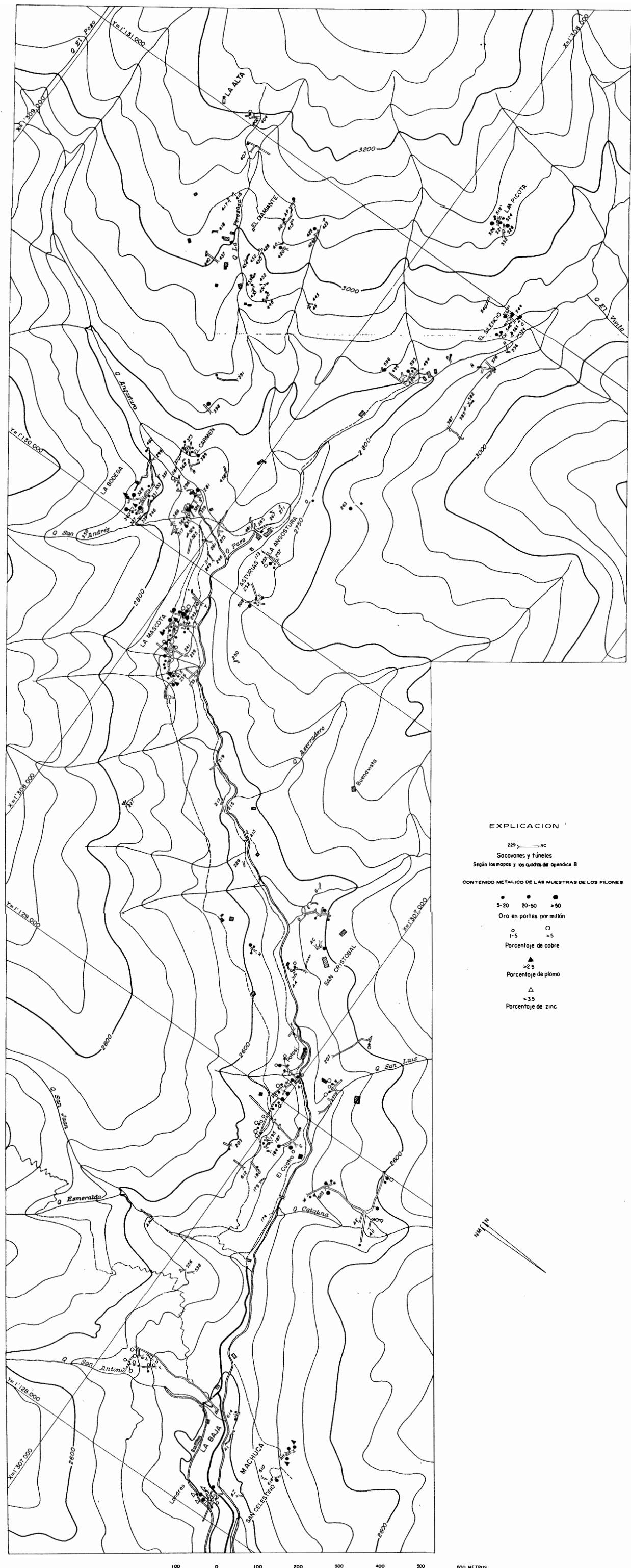
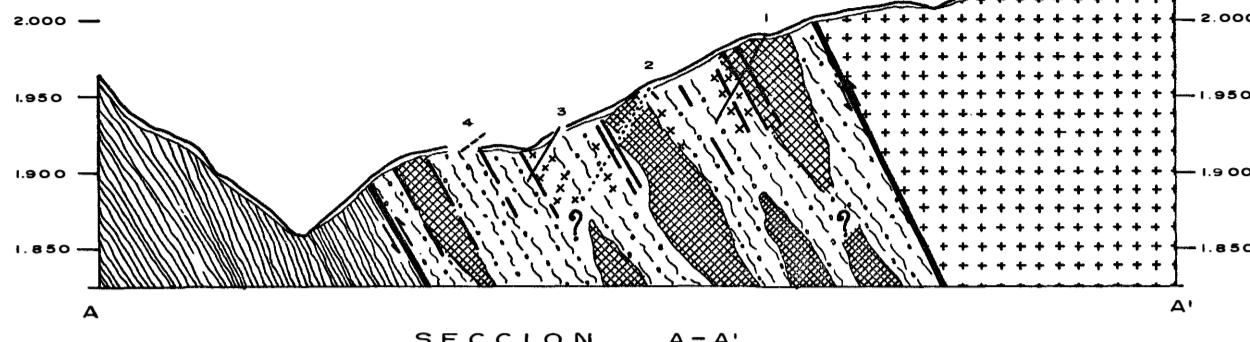
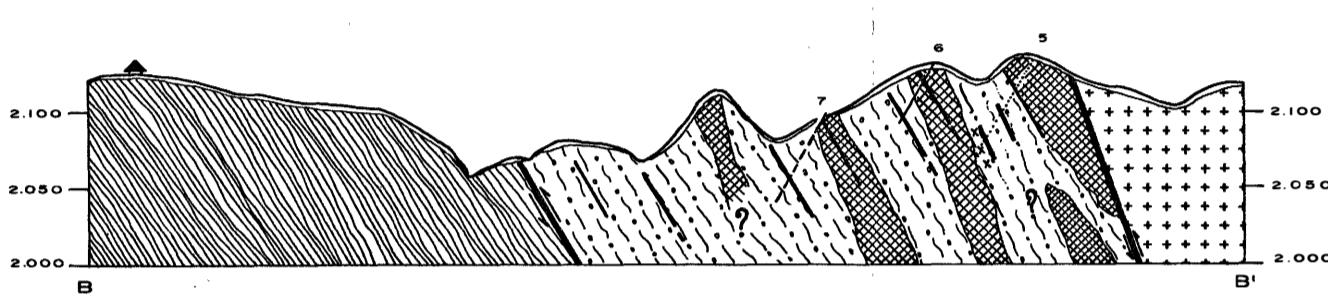


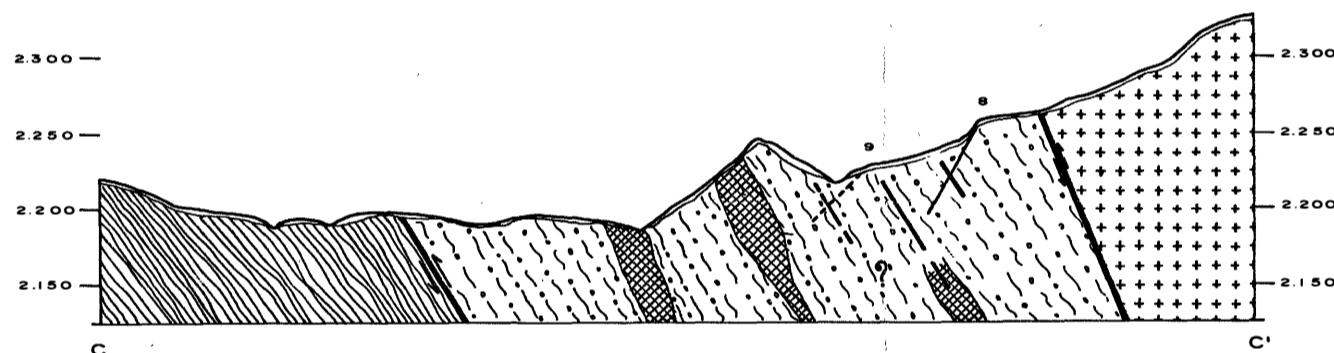
Fig. 10 - Mapa que muestra las minas, los prospectos y la localización de las muestras con cantidades significativas de oro, cobre, plomo y zinc - área de La Baja - La Alta. Municipio de California, Santander



SECCION A-A'



SECCION B-B'



SECCION C-C'



SECCION D-D'

### LEYENDA

Metogabro

Talco y roca talcoso con intercalaciones locales de neis ougen y serpentinita

Serpentinito, localmente talcoso.

Anfibolita

Esquisto, principalmente de cuarzo y mico con copos de esquisto verde.

Neis ougen

Vetas o lentes delgados de talco

Suelos coluviales

Follo inferido

3. Pozo de perforación

4. Proyecto de pozo de perforación del lado del lector

2. Proyecto de pozo de perforación del lado opuesto del lector

Nota: Exceptuando los pozos de perforación las secciones fueron interpretadas. El control geológico de la superficie es pobre debido a la cobertura de suelos coluviales.

100 50 25 0 100 200 M.

Escala horizontal y vertical



Fig 4 - MAPA GEOLOGICO DEL AREA MINERA DE CALIFORNIA (ALTA Y BAJA)