

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

BOLETIN GEOLOGICO
VOLUMEN XVIII, No. 1 1970



RECURSOS MINERALES
DE LA SIERRA NEVADA
DE SANTA MARTA

por

Charles M. Tschanz
U.S. Geological Survey

y

Andrés Jimeno V. y Jaime Cruz B.
Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras

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

0-2337

PRESENTACION

El Gobierno que preside el doctor Misael Pastrana Borrero decidió, desde el comienzo de su mandato, publicar todos los trabajos realizados por el conjunto de actividades que se conocen con el nombre de Inventario Minero. Esas actividades fueron inspiradas por el doctor Víctor G. Ricardo, Ministro de Minas en la segunda administración del doctor Alberto Lleras Camargo y organizadas básicamente por medio de la Resolución número 1862 de 21 de diciembre de 1964, expedida por el entonces Ministro del ramo, doctor Enrique Pardo Parra.

Según esa resolución, las actividades del Inventario Minero comprenden el planeamiento, la ejecución, evaluación y divulgación de las investigaciones sistemáticas de los recursos naturales no renovables diferentes del petróleo en el área nacional. Su desarrollo se ha efectuado con fundamento en programas especiales financiados con recursos del presupuesto de inversiones directas destinados a ese fin con los aportes financieros y técnicos obtenidos de organismos internacionales o de cualquier otro origen.

Hasta el momento se ha contado con la asistencia financiera de la Agencia para el Desarrollo Internacional (A.I.D.) y con la asesoría técnica del U. S. Geological Survey.

Por medio del Inventario Minero se busca información técnica y económica sobre yacimientos minerales, para estimular la inversión privada en los trabajos exploratorios y de explotación del subsuelo colombiano que fomenten el desarrollo de la industria nacional o que puedan servir para consumo externo.

Para lograr la continuidad en la búsqueda de esas metas, el Inventario promueve, además, la formación, el entrenamiento y la especialización de personal técnico colombiano en todas las fases de la investigación y de la industria mineras.

Los principales objetivos del programa, con base en el Convenio de Préstamo suscrito por el gobierno nacional con la AID en 1963, se lograron con un costo de 38 millones de pesos y dos millones de dólares. Tales objetivos fueron:

- 1) Educación avanzada de 16 profesionales colombianos en Universidades o Institutos idóneos de los Estados Unidos.
- 2) Estudios fotogeológicos de zonas seleccionadas.
- 3) Apoyo de laboratorio y adquisición de equipo
- 4) Investigación de recursos minerales, con exclusión del petróleo, carbón y oro aluvial, en cuatro zonas del país que totalizan 70.000 kilómetros cuadrados.

En junio de 1964 se iniciaron los trabajos de campo en las Zonas I. - Sierra Nevada de Santa Marta; II. - Antioquia y Caldas y IV. - Cundinamarca. Los trabajos en la Zona III Santander y Norte de Santander se iniciaron a fines de 1965.

Los trabajos de campo de esta primera etapa del Inventario Minero se concluyeron a fines de 1968 y en ellos intervinieron 45 geólogos colombianos y 17 geólogos del U.S. Geological Survey ; 10 de ellos, permanentes y 7 ocasionales.

El presente tomo trata de los recursos minerales de la Zona I, que comprenden 22.500 kilómetros cuadrados en los departamentos del Magdalena, Guajira y Cesar. Posteriormente se publicarán los tomos correspondientes a las otras zonas y además, los informes sobre la geología detallada de cada una de ellas, complementando los mapas geológicos ya publicados.

El actual gobierno ha logrado con la A.I.D. un nuevo Convenio de Préstamo, para las mismas finalidades del Inventario Minero, impulsándolo hacia sus nuevas etapas, por valor de un millón setecientos mil dólares, que ya obtuvo el concepto favorable del departamento Nacional de Planeación y del Consejo de Política Económica y Social y fué presentado ante la Comisión Interparlamentaria. El nuevo programa continúa las investigaciones geológico - mineras en cinco zonas del país, con una extensión aproximada de 100.000 kilómetros cuadrados, que cubren parte de los siguientes departamentos y comisarías: Antioquia, Caldas, Chocó, Santander y Norte de Santander, Cundinamarca, Boyacá, Meta, Huila, Tolima, Quindío, Risaralda, Nariño, Cauca y Putumayo.

Al publicar esta obra trascendental y al gestionar con

buen éxito su continuación e incremento, el gobierno presidido por el doctor Misael Pastrana Borrero ha hecho una demostración significativa. Ha puesto en evidencia que, contrariamente a lo que puede dar a entender una interpretación equivocada que considere su nombre como una labor estática de mero registro notarial, el Inventario Minero implica un impulso muy dinámico y ahora en plena actividad exploratoria e investigativa de enormes posibilidades para el desarrollo del país en el sector minero, tradicionalmente considerado como de pronóstico favorable pero con datos de carácter reservado.

Esta empresa intelectual viene, históricamente, desde muy atrás. Su primer iniciador fué el Arzobispo Virrey don Antonio Caballero y Góngora, rector de los destinos del Nuevo Reino de Granada entre los años 1782 y 1789. La adelantó valiéndose de un grupo de mineros alemanes que, con sus familias, hizo venir a las vetas argentíferas de Santa Ana, hoy Falan, en el actual Departamento del Tolima. Les dió por director a don Juan José D'Elúyar y por moderador a don José Celestino Mutis, a quien acababa de apoyar para que organizara la Expedición Botánica.

Mutis y su huésped insigne en 1801, Alejandro de Humboldt, fueron preclaros propulsores del inventario y del trabajo mineros en la época virreinal. Sus nombres, junto al del criollo genial y patriota heroico Francisco José de Caldas, constituye el comienzo decisivo y admirable de una vasta tarea científica que se prolonga afortunadamente en nuestros días.

Dar a la publicidad y, sobre todo, impulsar vigorosamente estas actividades científicas del Inventario Minero, que tan auténticamente continúa los trabajos de la Expedición Botánica, es tal vez el mejor paso de avanzada que pueda darse hoy hacia un manejo más adecuado del futuro de la minería colombiana.

JUAN B. FERNANDEZ RENOWITZKY
Ministro de Minas y Petróleos

	<u>CONTENIDO</u>	<u>Página</u>
RESUMEN		1
INTRODUCCION		1
RECURSOS MINERALES NO METALICOS		3
CALIZA		3
Caliza de Durania		4
Geología		4
Reservas		5
Composición química		5
Factores que afectan la explotación		15
Caliza del Valle del Ranchería		15
Geología		15
Reservas		16
Composición química		16
Factores que afectan la explotación		19
Otros depósitos		20
MARMOL		21
Mármol de Ciénaga		21
Geología		21
Explotación		22
Potencial económico		23
Reservas de mármol		23
Reservas de mármol dolomítico		26
Mármol de la Cuchilla Piedras Blancas		27
TALCO TREMOLITA		29

	<u>Página</u>
Depósitos de la Quebrada Rodríguez	29
Geología	29
Posibilidades económicas	30
FELDESPATO	31
ARCILLAS	31
Depósitos de caolinita de San Pedro se la Sierra	32
Depósitos de caolinita de El Platanal	32
Depósitos de caolinita de El Secreto (El Congo)	33
Depósitos de bentonita	34
GRAFITO	35
MICA	36
SILICE	36
YESO	36
MAGNESITA	37
RECURSOS MINERALES METALICOS	38
MINERALES DE HIERRO - TITANIO Y APATITO	38
Depósitos de <u>ilmenita -apatito</u> de la Quebrada El Hierro	38
Geología	38
Datos analíticos	39
Potencial económico	40
Rocas metamórficas ricas en ilmenita, magnetita o apatito	41
Magnetita de Mocoa (Espfritu Santo)	42

	<u>Página</u>
Depósitos de magnetita La Reina	43
Depósito de magnetita La Socola	44
Arenas negras de playa	44
COBRE	45
Depósitos en los lechos rojos	46
Descripción	46
Potencial económico	48
Depósito de cobre El Rincón	48
ORO	48
OTROS MINERALES METALICOS	49
SUGERENCIAS PARA EXPLORACION FUTURA	51
RECURSOS DE AGUAS SUBTERRANEAS	52
Valle del Ranchería	52
Valle del Cesar	53
REFERENCIAS CITADAS	54

ILUSTRACIONES

- Plancha I. ✓ Mapa geológico general de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia (En bolsillo)
- Figura 1. Mapa geológico de los depósitos de calizas de Durania . (En bolsillo).
- ✓ 2. Mapa geológico y sección transversal del mármol y la dolomita de Ciénaga (En bolsillo)
3. Mapas de los depósitos de talco y tremolita derivados de la serpentina de la Quebrada Rodríguez (En bolsillo).

- ✓ 4. Mapas de los depósitos de apatito-ilmenita de la Quebrada del Hierro (En bolsillo)

CUADROS

Cuadro	1.	Resumen de las reservas de caliza de Durania.	6
	2.	Reservas probables del Bloque 1, Durania	8
	3.	Reservas probables del Bloque 2, Durania	9
	4.	Reservas probables del Bloque 3, Durania	10
	5.	Reservas probables del Bloque 4, Durania	11
	6.	Reservas probables del Bloque 5, Durania	12
	7.	Reservas probables del Bloque 6, Durania	13
	8.	Análisis de calizas al este de los bloques de reservas, Durania	14
	9.	Análisis químicos de las calizas del Cretáceo al oeste del Valle del Ranchería, cerca de Chorrera	17
	10.	Análisis químicos de los mármoles dolomíticos de Ciénaga	24
	11.	Análisis químicos promedios de los mármoles de la Cuchilla Piedras Blancas	28

RESUMEN

La Sierra Nevada de Santa Marta, en la costa norte de Colombia, es un área montañosa, triangular y aislada, que alcanza alturas de casi 5.800 metros. La geología, excesivamente compleja, se muestra en el mapa geológico a escala 1:200.000.

A pesar de que ocurrieron cinco períodos principales de intrusión granítica, tres de metamorfismo y varias erupciones volcánicas extensas, los depósitos metálicos son pequeños y están muy dispersos. Parecen estar ausentes los yacimientos de sulfuros económicamente explotables. Muchos depósitos pequeños de cobre, con calcocita, cuprita, malaquita y azurita, se encuentran en las rocas epidotizadas de los estratos rojos del Mesozoico y en las rocas volcánicas intercaladas, pero su potencial económico es muy pequeño. Los de otros metales básicos comunes, parecen estar ausentes. Los metálicos más importantes pueden ser los yacimientos de ilmenita-apatito, asociados con anortosita néisica. Los yacimientos conocidos de magnetita son demasiado pequeños para ser explotados comercialmente. No se reconocieron yacimientos de oro primario y los de aluvión son muy pequeños y antieconómicos.

Los yacimientos más grandes e importantes son los no metálicos. Las enormes reservas de calizas son adecuadas para fabricar cemento y algunas de ellas, de alta pureza, son aptas para los usos químicos más exigentes. Pequeños depósitos de talco-tremolita pueden ser explotados localmente para su uso en cerámica. Los importantes yacimientos de carbón bituminoso del área de Cerrejón, se excluyen de este estudio. Otros recursos no metálicos incluyen rocas ígneas de una gran variedad de colores y texturas utilizables como piedra de ornamentación y dolomita para usos agrícolas. Existen probablemente importantes recursos de aguas subterráneas sin desarrollar en los flancos de los amplios valles del Ranchería y del Cesar, que separan la Sierra Nevada de la Serranía de Perijá.

INTRODUCCION

El presente estudio se refiere a una de las cuatro áreas o zonas de Colombia, cuyos recursos minerales fueron evaluados

por el Inventario Minero Nacional, Ministerio de Minas y Petróleos, con la cooperación de geólogos asesores del U. S. Geological Survey. El programa cuatrienal establecido por el Ministerio fue parcialmente financiado con un préstamo concedido al Gobierno de Colombia por la Agencia para el Desarrollo Internacional. El Inventario Minero Nacional, estuvo estrechamente asociado con el Servicio Geológico Nacional durante el proyecto y ambos forman parte actualmente del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS).

Casi todo el trabajo de campo fue ejecutado por geólogos colombianos, como lo indica el mapa índice de la Plancha I; pero este informe es de la exclusiva responsabilidad de sus autores. En las partes pertinentes del texto y sus ilustraciones se hacen reconocimientos individuales a los diferentes geólogos.

El área cubierta por este estudio incluye la Sierra Nevada de Santa Marta, comprende 22.500 kilómetros cuadrados situados en la costa norte de Colombia y es designada como la Zona I del Inventario Minero Nacional. La Sierra Nevada es una masa montañosa triangular y aislada, que yace en la proyección de la Cordillera Central, pero la Zona I también incluye el amplio valle drenado por los ríos Cesar y Ranchería y al oriente de éste, una parte pequeña de la Serranía de Perijá. Un mapa índice de Colombia en el reverso de la Plancha I, muestra la localización aproximada de la Zona I, pero no los límites exactos del área.

En la Plancha I, se indica la geología de la Zona I y en el lado opuesto, la localización de las muestras. Algunas de ellas están ubicadas en los mapas geológicos de escala mayor, que ilustran este texto.

Los recursos minerales metálicos son pequeños y muy dispersos. Aunque muchos depósitos pequeños de minerales de cobre de la Serranía de Perijá y de la parte meridional de la Sierra Nevada, han sido estudiados varias veces, solamente uno tiene potencial económico significativo. Los depósitos metálicos más promisorios para exploración adicional son los de apatito-ilmenita o ilmenita, asociados con anortosita. A pesar de que existen abundantes riegos y vetas a lo largo de la Quebrada del Hierro y en otros lugares que indican la posible existencia de depósitos económicos de estos minerales en la región, el potencial no ha sido

comprobado. Sin embargo, éstos son los únicos yacimientos metálicos de posible importancia económica conocidos en la Sierra Nevada. Por lo tanto, se recomienda exploración y estudios geológicos detallados a lo largo de una faja de anortositas, con dirección noreste, que tienen características geológicas favorables con el fin de obtener la información básica para su evaluación. Los depósitos metálicos restantes, son pequeños y poco atractivos para grandes compañías.

Los principales recursos identificados en este estudio son las grandes reservas de calizas de las áreas de Durania y Ranchería y los pequeños depósitos explotables de mármol, talco o tremolita y quizás dolomita. Muchas rocas ígneas y metamórficas, pueden cortarse y pulirse para obtener piedras de ornamentación atractiva.

El carbón fué específicamente excluído del estudio por el Inventario Minero Nacional, pero las reservas del área de Cerrejón, constituyen un recurso principal que ha sido parcialmente evaluado en varios estudios previos inéditos.

RECURSOS MINERALES NO METALICOS CALIZA

El recurso mineral más importante de la Zona I descrito en este informe, es la caliza. Solo se tomaron muestras de las calizas del Cretáceo, aun cuando existen en el Pensilvaniano, el Pérmico y el Paleoceno (?). Las dos secciones muestreadas: una en Durania (coordenadas d-15) y otra en Chorrera (k-6), se indican con el símbolo Ca en la Plancha I. La caliza cretácea bordea ambas márgenes del valle del Cesar y del Ranchería. A diferencia de las calizas del Cretáceo y del Paleoceno, las del Paleozoico, en el área cartografiada, no son fácilmente accesibles por carretera.

Recursos muy grandes de calizas aptas para cemento, caliza agrícola o cal y muchos usos químicos, se encuentran en el Grupo Cogollo y en la Formación la Luna, justamente al oeste del valle Cesar - Ranchería y tienen fácil acceso. Las reservas potenciales en estas unidades son casi ilimitadas; por eso no fué necesario muestrear las calizas del oriente del valle, ni las del Paleozoico.

Las calizas del Cretáceo cercanas a Durania, se muestrearon cuidadosamente y la calidad de las reservas indicadas allí, se considera típica para toda la faja cretácea del borde sur de la Sierra Nevada. Así, las reservas son mucho mayores que las probadas en Durania.

La faja de calizas del Cretáceo situada al oeste del valle del Rancharía y al noreste de la Sierra Nevada, contiene reservas ilimitadas con la calidad indicada por la sección muestreada cerca de Chorrera, donde el espesor es una pequeña fracción de la misma. La mayor parte de las calizas son probablemente aptas para cemento. Es posible que una exploración cuidadosa descubra grandes depósitos de roca de cemento natural, en las secciones del Cretáceo o del Paleoceno. Tales rocas contienen la porción adecuada (25%) de material arcilloso para cemento Portland. Todas las calizas analizadas, sin embargo, requieren adición de material arcilloso.

Reservas grandes de calizas pero más pequeñas que las anteriores se hallan en la Serranía de Perijá al noreste de la Paz y cerca de Codazzi (i-15 Plancha I). Estratos de mármol en las rocas metamórficas del Precámbrico y en los esquistos del Eoceno de la parte noroeste de la Sierra Nevada, podrían proporcionar fuentes locales de cal y cal agrícola, pero no son adecuadas para producir cemento. Los mármoles cerca de Ciénaga se describen separadamente.

Las calizas paleozóicas de las áreas de Cerrejón, Río Seco y Manare, en la parte oriental de la Zona I, son probablemente adecuadas para cemento; pero no fueron evaluadas porque su localización es mucho menos favorable que la de las cretáceas.

Calizas de Durania

Geología. - Calizas cretáceas del Grupo Cogollo intercaladas con shale, cubren unos 80 kilómetros cuadrados cerca del extremo sur de la Sierra Nevada. Estas calizas fueron muestreadas en seis lugares, en un área de siete kilómetros cuadrados, en la Hacienda Durania, en el borde noroeste del área de afloramiento, como se indica en la figura 1. Aquí el escarpe de caliza fue muestreado en un espesor estratigráfico que varía de 6.4 a 25.3 metros y las reservas fueron calculadas en seis bloques. El espesor total de las rocas cretáceas expuestas se estima en 250 metros. Así, las reservas probables calculadas en los seis bloques represen-

tan un 10% del área total de afloramiento y menos del 10% del espesor.

La parte muestreada es principalmente caliza maciza que contiene unos pocos estratos delgados de caliza arcillosa y arenosa. Estas rocas suprayacen más de 30 metros de caliza arenosa, la cual gradualmente hacia abajo se convierte en arenisca o arenisca conglomerática en la base. Un estrato relativamente grueso y prominente de shale piritoso, negro y calcáreo con caliza negra arcillosa se encuentra en la mitad de la sección, estratigráficamente encima de las rocas que fueron muestreadas. Las rocas del Cretáceo tienen un buzamiento regional de suave a moderado hacia el sureste.

Reservas. - Se cree que las calizas de Durania (figura 1) son típicas para un mismo intervalo estratigráfico en toda el área del afloramiento. Fueron muestreadas cerca de Durania porque allí están bien expuestas y son fácilmente accesibles. Se colectaron 144 muestras. Las reservas probables están resumidas en el Cuadro 1. Las reservas y los análisis para cada bloque se presentan en los Cuadros 2 a 7. Se supone que las reservas probables de 202.466.000 toneladas, en los bloques 1 a 6, son 10 veces mayores para el mismo intervalo en el área total del afloramiento (Plancha I), con una composición química promedia aproximadamente igual. Las reservas posibles pueden ser multiplicadas por un factor de seguridad de 3 a 5 para reflejar la cantidad de caliza en el 90% no muestreado de la sección estratigráfica, teniendo en cuenta la cantidad estéril de shale, arenisca o caliza arenosa. Las reservas posibles para el intervalo muestreado, son de unos 2.000 millones de toneladas y las potenciales adicionales de grado incierto para el resto de la sección estarían entre 6 y 10 mil millones de toneladas.

Las reservas probables y los datos analíticos de los Cuadros 2 a 7, dan una idea clara de las variaciones químicas en cada bloque, aunque los estratos individuales no pueden ser correlacionados de un bloque al otro por falta de afloramientos adecuados. Las muestras en cada Cuadro están enumeradas en orden estratigráfico descendente y los intervalos cubiertos no muestreados están indicados con una línea horizontal.

Composición química. - Las reservas probables tienen aproximadamente la siguiente composición promedia en porcentaje por peso: 48.8 CaO; 38.5 pérdidas por ignición; 10.5 materia insoluble; 0.7 MgO; 0.2 P₂O₅; 0.4 Fe₂O₃ y 0.4 Al₂O₃. La pérdida

por ignición es principalmente CO_2 porque el agua de cristalización es casi nula. La materia insoluble es esencialmente cuarzo, del tamaño de granos de arena a limo.

Los análisis de muestras dispersas, colectadas al este de los bloques calculados y cuya posición estratigráfica es incierta, se indican en el Cuadro 8. Estos pocos análisis confirman la suposición de que la composición química de la caliza, es semejante a lo largo de la faja calcárea.

El grado medio total puede mejorarse omitiendo el bloque 4, que tiene un contenido más alto de impurezas clásticas. Suprimiendo este bloque se incrementaría el contenido de CaO en cerca de 2% y se reduciría el contenido de materia insoluble en 3.8%, mientras que las reservas probables totales se disminuirían a 176.000.000 de toneladas, según se indica en el Cuadro 1. El hecho de que el contenido insoluble sea principalmente cuarzo está claramente indicado por el contenido promedio relativamente uniforme de alúmina y de hierro.

Los espesores explotables de calizas muy puras para casi cualquier uso, según lo muestran los análisis de los 3.5 metros superiores del bloque 2 (Cuadro 3) pueden ser explotados a tajo abierto. Casi con seguridad la exploración descubrirá espesores explotables de calizas de pureza igualmente alta en los bloques adyacentes y en otros lugares del mismo intervalo estratigráfico.

La reserva probable de caliza pura en el bloque 2 es de 5.470.000 toneladas. El análisis promedio del espesor de 3.5 metros en porcentaje es: 55.5 CaO ; 42.7 pérdida por ignición; 0.9 materia insoluble; 0.3 MgO ; 0.11 Fe_2O_3 ; y solamente 0.03 P_2O_5 . Esta caliza podría usarse para cualquier uso químico. Satisface todas las especificaciones con excepción de las químicas más estrictas. Caliza de pureza aún más alta, podría extraerse de los 2.4 metros inferiores de este intervalo, el cual contiene solamente 0.56% de materia insoluble, porcentaje muy inferior al de las especificaciones más estrictas, aún en el caso de que la materia insoluble sea enteramente sílice.

La caliza de alta pureza podría usarse para la elaboración de carburo de calcio, cianamida, carbonato sódico anhidro y otros productos con requerimientos menos exigentes. Si se desarrollara un mercado a gran escala, un reconocimiento cuidadoso

Cuadro 2 - Reservas probables del Bloque 1, Duronio

Análisis químicos (porcentaje por peso)

Contenido de carbonato (porcentaje)

Muestra número	Espesor (metros)	Volúmen(1000 metros cúbicos)	Peso (1000 tons.)	H ₂ O -105°C	Pérdida por Ignición	Residuo Insoluble	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ca Co ₃	MgCO ₃
IMN 121	0.30	429	988	0.03	40.79	5.04	50.76	2.35	0.15	0.37	0.06	90.64	4.91
IMN 123	.60	859	1,975	.04	40.68	4.10	53.50	.00	.17	.30	.98	95.53	.00
IMN 124	.30	429	988	.10	28.86	32.05	36.27	.12	.17	1.12	1.11	64.76	.25
IMN 125	.20	286	658	.10	30.49	28.07	38.84	.04	.09	.79	1.37	69.35	.08
1. IMN 126	.20	286	658	.11	29.12	31.64	37.01	.05	.23	.87	.95	66.08	.10
IMN 127	.70	1,002	2,304	.08	30.22	28.74	38.65	.05	.03	.57	1.35	69.01	.10
IMN 129	1.00	1,431	3,292	.09	40.76	4.75	51.85	1.49	.00	.27	.68	92.58	3.11
IMN 131	.60	859	1,975	.06	37.61	12.01	48.85	.05	.00	.37	.98	87.23	.10
IMN 132	.30	429	988	.13	37.24	12.49	48.55	.61	.03	.33	.59	86.69	1.27
IMN 133	.30	429	988	.06	37.75	10.52	48.91	1.41	.00	.30	.80	87.33	2.94
IMN 135	.50	716	1,646	.05	39.14	6.92	52.40	.03	.00	.49	.96	93.57	.06
IMN 136	.60	859	1,975	.11	39.44	8.48	51.15	.01	.37	.37	.01	91.33	.02
IMN 137	1.00	1,431	3,292	.18	38.04	11.72	48.43	.84	.17	.32	.26	86.43	1.75
IMN 139	.75	1,073	2,469	.20	35.17	18.10	44.70	.90	.14	.35	.41	79.82	1.88
IMN 140	.50	716	1,646	.12	38.05	11.63	48.33	1.19	.17	.30	.18	86.30	2.48
IMN 141	.75	1,073	2,469	.17	38.21	11.57	48.28	1.07	.19	.31	.15	86.21	2.23
IMN 142	.30	429	988	.16	39.93	7.50	51.16	.13	.29	.30	.16	91.35	.27
IMN 143	.30	429	988	.11	38.99	8.42	50.48	.90	.31	.24	.50	90.14	1.88
IMN 144	.30	429	988	.17	37.26	14.48	47.27	.11	.11	.29	.36	84.41	.23
IMN 145	.30	429	988	.15	37.81	12.73	47.40	.88	.18	.19	.39	84.64	1.84
IMN 147	.30	429	988	.10	42.10	2.42	52.73	1.79	.12	.15	.58	94.16	3.74
IMN 149	.85	1,217	2,798	.15	40.48	5.79	51.87	1.06	.17	.24	.14	92.62	2.21
IMN 150	.75	1,073	2,469	.18	40.58	4.99	51.66	1.33	.28	.38	1.86	92.75	2.78
IMN 152	.70	1,002	2,304	.17	39.26	8.80	50.20	.61	.17	.40	.18	89.64	1.27
IMN 153	.30	429	988	.25	38.18	11.30	48.00	1.00	.28	.42	.10	85.71	2.09
IMN 154	.90	1,288	2,963	.16	41.59	3.12	52.40	1.98	.15	.22	.18	93.57	4.14
IMN 156	.70	1,002	2,304	.18	41.82	2.72	54.41	.30	.10	.31	.04	97.16	.62
IMN 157	.80	1,145	2,634	.10	42.03	2.35	54.59	.16	.15	.14	.06	97.48	.33
IMN 159	.80	1,145	2,634	.12	40.14	6.62	51.66	.61	.30	.42	.03	92.25	1.27
Totales y promedios	15.90	22,753	52,345	.12	37.99	11.34	48.63	.73	.16	.38	.53	86.85	1.52

El área del Bloque 1 es 1.431.000 metros²

t- Intervalo cubierto 2 metros de espesor

Análisis por El Laboratorio Químico Nacional

Cuadro 3- Reservas probables del Bloque 2, Durania

Análisis químicos (porcentaje en peso)

Análisis: Laboratorio Químico Nacional

Contenido de carbonato
(porcentaje)

Muestra número	Espesor (metros)	Volumen (1000 m ³)	Peso (1000 tons.)	H ₂ O -105°C	Pérdida por Ignición	Residuo Insoluble	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	MgCO ₃
IMN 56	1.10	748	1,720	0.10	42.47	1.60	55.22	0.35	0.00	0.10	0.00	98.60	0.73
IMN 55	1.40	952	2,190	.10	42.77	.77	55.60	.24	.00	.10	.01	99.28	.50
IMN 54	1.00	680	1,564	.09	42.88	.36	55.70	.28	.09	.11	.04	99.46	.58
IMN 53	1.40	952	2,190	.07	39.00	7.32	51.47	.41	.36	.42	.19	91.91	.85
IMN 51	1.10	748	1,720	.07	38.13	8.97	50.04	.10	1.57	.57	.21	89.35	.21
1 IMN 50	.50	340	782	.09	41.25	2.48	54.08	.22	.95	.40	.02	96.57	.46
IMN 48	.60	408	938	.06	42.71	.98	53.79	.84	.18	.28	.99	96.05	1.75
IMN 47	.80	544	1,251	.10	42.20	1.72	54.08	.55	.73	.45	.02	95.57	1.05
IMN 46	1.20	816	1,877	.08	42.23	1.46	53.27	1.82	.52	.40	.03	95.12	3.80
IMN 45	.90	612	1,408	.08	42.41	1.03	54.16	.80	.18	.41	.33	96.71	1.67
IMN 44	.50	340	782	.08	42.09	1.28	55.15	.56	.18	.32	.10	98.48	1.17
IMN 43	1.00	680	1,564	.13	42.62	1.99	53.81	.44	.36	.42	.02	96.08	.92
2 IMN 42	1.00	680	1,564	.10	42.14	1.73	54.16	.94	.36	.31	.15	96.71	1.96
IMN 41	.60	408	938	.11	40.09	6.25	51.47	.64	.52	.28	.12	91.91	1.33
IMN 40	.90	612	1,408	.10	42.75	1.71	53.63	.37	.95	.42	.02	95.76	.77
IMN 39	1.40	952	2,190	.07	40.51	2.61	53.09	.37	1.81	.21	1.10	94.80	.77
IMN 38	1.10	748	1,720	.09	39.74	8.62	49.68	.47	.09	.38	.50	88.71	.98
IMN 37	1.00	680	1,564	.08	41.16	2.63	53.81	.18	.95	.31	.49	96.08	.37
3 IMN 36	1.00	680	1,564	.06	42.20	2.67	53.10	.44	.14	.67	.11	54.82	.92
IMN 35	.50	340	782	.12	40.27	6.48	51.19	.05	.29	.57	.11	91.41	.10
IMN 34	1.00	680	1,564	.07	38.36	11.05	48.72	.28	.14	.88	.08	87.00	.58
IMN 33	.60	408	938	.10	32.72	24.15	41.18	.33	.46	.74	.12	73.53	.69
IMN 32	.90	612	1,408	.06	41.78	3.95	52.79	.18	.03	.67	.05	94.26	.60
IMN 30	.70	476	1,095	.16	30.78	27.85	39.02	.04	.46	.81	.48	69.67	.08
IMN 29	.80	544	1,251	.16	31.50	26.60	39.92	.13	.14	.88	.08	71.28	.27
IMN 28	.30	204	469	.10	36.83	14.73	46.43	.32	.06	.74	.42	82.91	.67
IMN 27	1.00	680	1,564	.13	36.38	15.39	45.63	.49	.29	.81	.32	81.48	1.02
IMN 26	1.00	680	1,564	.15	29.13	33.79	35.12	.45	.06	.80	.09	62.71	.94
Totales y promedios	25.30	17,204	39,569	.10	39.54	7.86	50.55	.44	.42	.48	.22	88.79	.92

El área del Bloque 2 es 680,000 m²

1- Intervalo cubierto 3 m. de espesor
 2- " " " 1.5 m " "
 3- " " " 5 m. " "

Cuadro 4- Reservas probables del Bloque 3, Durania

Muestra número	Espesor (metros)	Volumen 1000 m ³	Peso (1000 tons.)	H ₂ O -105°C	Análisis químicos (porcentaje por peso)					Contenido de Carbonato (porcentaje)			
					Pérdidas por ignición	Residuo insoluble	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	MgCO ₃
IMN 171	0.30	347	797	0.08	40.23	6.05	51.66	0.85	0.28	0.37	0.10	92.25	1.77
IMN 172	.40	462	1,063	.03	41.65	3.92	52.80	.63	.00	.31	.59	94.28	1.31
IMN 173	.30	347	797	.11	41.47	3.55	52.76	1.24	.12	.17	.21	94.21	2.59
IMN 174	.30	347	797	.11	38.67	10.48	48.66	1.25	.07	.31	.32	86.89	2.61
IMN 175	.40	462	1,063	.03	39.80	8.68	50.00	.46	.00	.35	.60	89.28	.96
IMN 176	.30	347	797	.09	36.22	15.22	46.86	.73	.15	.30	.10	83.67	1.52
IMN 177	.20	231	531	.05	40.24	6.04	50.60	.87	.16	.52	1.32	90.35	1.81
IMN 178	.30	347	797	.08	36.53	15.08	46.14	1.02	.23	.28	.19	82.39	1.75
IMN 179	.30	347	797	.05	39.40	9.04	49.80	.23	.16	.40	.74	88.92	.48
IMN 180	.30	347	797	.09	37.59	12.24	47.94	1.15	.15	.38	.37	85.60	2.40
IMN 181	.20	231	531	.14	36.59	13.96	46.30	.88	.03	.38	1.59	82.67	1.84
IMN 182	.30	347	797	.14	36.59	13.96	46.30	.88	.03	.38	1.59	82.67	1.84
IMN 183	.30	347	797	.06	39.27	9.38	49.02	1.44	.23	.30	.07	87.53	3.01
IMN 184	.20	231	531	.03	42.00	3.14	53.40	.56	.16	.17	.32	95.35	1.17
IMN 185	.25	289	664	.05	40.12	7.31	50.47	1.31	.03	.21	.16	90.12	2.73
IMN 186	.30	347	797	.06	38.84	10.08	49.38	.95	.23	.25	.02	88.17	1.98
IMN 187	.35	404	930	.11	34.07	20.24	42.62	.64	.00	.45	1.85	76.10	1.33
IMN 188	.35	404	930	.05	33.35	23.97	40.87	1.09	.07	.35	.13	72.98	2.27
IMN 190	.30	347	797	.09	42.50	2.78	54.10	.06	.00	.30	.55	96.60	.12
IMN 191	.30	347	797	.08	41.49	3.00	52.99	1.31	.00	.45	.35	94.62	2.73
IMN 192	.30	347	797	.14	40.81	5.71	51.80	.74	.00	.38	.17	92.50	1.54
IMN 193	.30	347	797	.05	41.12	4.58	51.91	1.40	.00	.22	.53	92.69	2.92
IMN 194	.30	347	797	.10	40.83	6.01	50.83	1.27	.23	.35	.12	90.76	2.65
IMN 195	.30	347	797	.09	40.48	7.33	50.64	.68	.04	.47	.24	92.42	1.42
IMN 196	.25	289	664	.09	40.48	7.33	50.64	.68	.04	.47	.24	90.42	1.42
IMN 197	.25	289	664	.06	40.56	6.98	50.44	1.38	.00	.25	.10	90.07	2.88
IMN 198	.25	289	664	.09	38.19	11.95	48.45	.39	.25	.40	.05	86.51	.81
IMN 199	.25	289	664	.05	38.00	13.35	46.50	1.44	.23	.25	.02	83.03	3.01
IMN 200	.35	404	930	.05	38.00	13.35	46.50	1.44	.23	.25	.02	83.03	3.01
IMN 201	.40	462	1,063	.05	38.00	13.35	46.50	1.44	.23	.25	.02	83.03	3.01
IMN 202	.40	462	1,063	.08	41.97	2.65	53.35	1.27	.15	.22	.03	95.26	2.65
IMN 203	.35	404	930	.06	41.06	3.84	53.17	1.40	.00	.14	.31	94.94	2.92
IMN 204	.20	231	531	.10	39.19	8.83	50.55	.64	.04	.38	.23	90.26	1.33
IMN 205	.30	347	797	.12	37.20	13.68	47.10	.70	.04	.47	.24	84.10	1.46
IMN 206	.30	347	797	.11	37.10	13.94	47.00	.99	.15	.35	.15	83.92	2.07
IMN 207	.50	577	1,328	.03	39.79	8.98	49.18	1.06	.08	.31	.16	87.82	2.21
IMN 208	.50	577	1,328	.09	40.75	5.34	51.91	1.18	.23	.22	.00	92.69	2.46
IMN 209	.50	577	1,328	.07	41.68	4.39	52.40	.67	.08	.31	.11	93.57	1.40
IMN 210	.50	577	1,328	.06	42.10	2.08	53.35	1.72	.15	.25	.15	95.26	3.59
IMN 211	.55	635	1,461	.08	41.26	5.72	51.30	.87	.25	.20	.05	91.60	1.81
IMN 212	.45	520	1,195	.09	41.60	3.12	53.35	1.27	.15	.14	.01	95.26	2.65
Totales y promedios	13.45	15,542	35,730	.08	39.43	8.80	49.74	.98	.11	.30	.34	88.82	2.03

El área del Bloque es 1155.000 m²
Análisis: Laboratorio Químico Nacional

Cuadro 5- Reservas probables del Bloque 4, Durania

Análisis químicos (porcentaje por peso)

Contenido de carbonato
(porcentaje)

Muestra número	Espesor (metros)	Volúmen (1000 metros cúbicos)	Peso (1000 tons)	H ₂ O -105°C	Pérdida por ignición	Residuo insoluble	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	MgCO ₃
IMN 73	0.50	453	1,041	0.07	30.85	27.39	40.06	0.44	0.17	0.31	0.39	71.53	0.92
IMN 74	.50	453	1,041	.15	28.62	33.99	35.43	.66	.08	.50	.81	63.26	1.38
IMN 75	1.00	905	2,081	.07	29.36	30.47	38.25	.58	.04	.63	.53	68.30	1.21
IMN 76	1.00	905	2,081	.05	36.09	16.65	45.50	.86	.04	.50	.26	81.25	1.79
IMN 77	1.25	1,131	2,602	.14	19.65	54.12	24.65	.53	.02	.38	.32	44.01	1.10
IMN 78	1.25	1,131	2,602	.17	19.29	54.96	24.49	.21	.04	.30	.33	43.73	.44
IMN 79	1.50	1,357	3,122	.07	29.26	32.09	36.47	.85	.34	.45	.18	65.12	1.77
IMN 80	1.50	1,357	3,122	.09	25.99	38.82	33.05	.71	.08	.63	.46	59.01	1.48
IMN 81	2.00	1,810	4,163	.18	22.52	49.00	26.10	.65	.34	.67	.39	46.60	1.36
IMN 82	2.00	1,810	4,163	.15	26.46	38.25	32.54	.82	.08	1.00	.37	58.10	1.71
Totales y promedios	12.50	11,312	26,018	.11	26.81	37.57	33.35	.63	.12	.54	.40	60.09	1.32

El área del Bloque 4 es 905,000 m²

Análisis: Laboratorio Químico Nacional

Cuadro 6 - Reservas probables del Bloque 5, Durania

Análisis químicos (porcentaje por peso)

Contenido de carbonato
(porcentaje)

Muestra número	Espesor (metros)	Volumen (1000 m ³)	Peso (1000 tons.)	H ₂ O -105°C	Pérdida por ignición	Residuo insoluble	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	MgCO ₃
IMN 72	0.30	375	862	0.05	42.08	3.44	53.38	0.17	0.00	0.17	0.33	95.32	0.35
IMN 71	.70	875	2,013	.08	20.07	53.42	24.66	.84	.00	.40	1.40	44.03	1.75
IMN 70	.40	500	1,150	.10	19.68	52.11	24.30	.64	.00	.35	2.65	43.39	1.33
IMN 69	.30	375	862	.11	41.55	3.05	51.58	.79	.15	.18	2.42	92.10	1.65
IMN 68	.25	312	719	.10	41.44	2.80	54.12	.26	.00	.18	.97	96.64	.54
IMN 67	1.35	1,688	3,881	.07	41.83	2.58	54.30	.24	.00	.15	.40	96.96	.50
IMN 66	1.35	1,688	3,881	.08	41.91	2.54	54.49	.00	.00	.17	.28	97.30	.00
IMN 65	.35	438	1,006	.04	42.00	2.57	54.50	.10	.00	.21	.29	97.32	.21
IMN 64	.15	188	431	.07	40.68	5.24	52.65	.19	.14	.31	.45	94.01	.39
IMN 63	.85	1,062	2,444	.06	40.69	5.53	52.03	.08	.15	.44	.76	92.91	.16
IMN 62	1.25	1,562	3,594	.09	40.34	5.57	52.60	.23	.00	.40	.55	93.92	.48
IMN 61	.90	1,125	2,588	.08	34.99	18.66	44.92	.08	.18	.61	.31	80.21	.16
IMN 60	.25	312	719	.13	22.78	46.50	28.71	.19	.00	.68	.79	51.26	.39
IMN 59	.25	312	719	.20	22.55	46.94	28.35	.22	.00	.83	.72	50.62	.46
IMN 58	.20	250	575	.16	21.17	51.76	24.30	.53	.18	1.00	.87	43.30	1.10
Totales y promedios	8.85	11,062	25,444	.09	34.23	20.18	43.39	.30	.05	.40	.88	77.95	.63

El área del Bloque 5 es 1,250,000 m²

Análisis: Laboratorio Químico Nacional

Cuadro 7- Reservas probables en el Bloque 6, Durania
Análisis químicos (porcentaje por peso)

Contenido de carbonato
(porcentaje)

Muestra número	Espesor (metros)	Volúmen	Peso (tons.)	H ₂ O -105°C	Pérdida por ignición	Residuo insoluble	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	MgCO ₃
IMN 87	0.30	472	1,085	0.04	41.84	2.45	54.04	1.06	0.01	0.14	0.22	96.50	2.21
IMN 88	.35	551	1,268	.08	41.19	4.44	52.57	.92	.34	.24	.02	93.87	1.92
IMN 89	.30	472	1,085	.07	41.27	3.81	53.30	.90	.08	.21	.16	95.17	1.88
IMN 90	.35	551	1,268	.06	40.90	4.68	52.80	.79	.08	.38	.16	94.28	1.65
IMN 91	.25	394	906	.09	35.61	17.30	45.20	.76	.34	.57	.01	80.71	1.58
IMN 92	.25	394	906	.06	33.34	21.94	42.42	.97	.02	.71	.44	75.75	2.02
IMN 93	.20	315	724	.07	40.26	6.43	51.57	.87	.34	.28	.03	92.08	1.81
IMN 94	.25	394	906	.06	40.06	6.45	50.94	1.16	.17	.42	.46	90.96	2.42
IMN 95	.25	394	906	.06	38.16	11.53	47.84	1.14	.34	.28	.45	85.42	2.38
IMN 97	.30	472	1,085	.05	38.95	10.80	48.04	1.26	.34	.28	.15	85.78	2.63
IMN 98	.35	551	1,268	.06	37.17	12.71	48.22	1.12	.05	.39	.05	86.10	2.34
IMN 99	.40	630	1,449	.09	32.32	24.26	41.33	.70	.10	.74	.21	73.80	1.46
IMN 100	.40	630	1,449	.06	32.33	25.40	40.22	.79	.10	.61	.09	71.82	1.65
1 IMN 101	.40	630	1,449	.03	35.90	16.60	45.68	.85	.10	.54	.06	81.57	1.77
2 IMN 102	.25	394	906	.04	31.17	28.25	38.79	.42	.30	.74	.05	69.26	.87
IMN 103	.25	394	906	.01	37.42	13.22	47.50	.95	.05	.52	.03	84.82	1.98
3 IMN 104	.25	394	906	.07	36.51	14.72	47.13	.74	.02	.31	.12	84.16	1.54
IMN 105	.40	630	1,449	.10	34.33	20.53	42.78	1.30	.15	.51	.03	76.39	2.71
IMN 106	.40	630	1,449	.05	37.94	13.00	47.86	.23	.00	.28	.52	85.46	.48
4 IMN 107	.30	472	1,085	.08	29.18	33.43	34.62	1.90	.05	.52	.03	61.82	3.97
IMN 96	.25	394	905	.06	30.30	29.99	38.66	.00	.00	.38	.57	69.03	.00
Totales y promedios	6.45	10,158	23,360	.06	36.48	15.33	46.26	.90	.14	.43	.18	82.61	1.87

El área del Bloque 6 es 1.575.000 m²

Análisis: Laboratorio Químico Nacional

1- Intervalo cubierto de 1 m. de espesor
2- " " " 1 m. " "
3- " " " 1 m. " "
4- " " " 3 m. " "

Cuadro 8—Análisis de calizas al este de los bloques de reserva, Durania ^{1/}

Muestra número		Pérdida por Ignición	Residuo Insoluble	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	MgCO ₃
IMN 715	0.12	42.25	3.44	52.73	0.75	0.16	0.34	0.00	94.16	1.56
IMN 716	.05	42.67	2.26	53.87	.35	.28	.25	.07	96.19	.73
IMN 717	.09	42.00	3.48	53.30	.29	.22	.32	.01	95.17	.60
IMN 718	.06	42.50	1.87	54.21	.02	.37	.28	.39	96.80	.04
IMN 719	.06	42.80	1.79	53.68	.50	.47	.32	.15	95.85	1.04
IMN 720	.03	42.99	1.25	54.50	.10	.39	.23	.38	97.32	.21

^{1/} Ningún SO₃ detectado

Análisis: Laboratorio Químico Nacional

umentaría sin duda muchas veces más el tonelaje de caliza de pureza semejante en las rocas del cretáceo.

Los intervalos cubiertos no muestreados en tres secciones (bloques 1, 2 y 6), originan alguna incertidumbre en la composición promedio; pero no hay razón para creer que estos contengan material perjudicial. Para cemento sería favorable tener capas de arcilla de composición apropiada en la caliza. Sin embargo, los intervalos cubiertos son también probablemente de caliza, aunque ésta puede ser de estratificación delgada y algo arcillosa.

La descripción litológica de cada sección muestreada puede consultarse en los archivos del Instituto de Investigaciones Geológico-Mineras en Bogotá.

Factores que afectan la explotación. - La ubicación de la caliza cerca de Duranía es muy favorable. Carreteras, ferrocarril, oleoducto, depósitos de arcilla y agua, se encuentran todos dentro de unos pocos kilómetros (Plancha I). El campo de petróleo y gas El Difícil está sólo a 30 kilómetros al suroeste. Roca arcillosa, aparentemente adecuada para hacer la mezcla apropiada para el cemento Portland, está presente en las rocas del Cretáceo y del Terciario y podría ser fácilmente explotada. El material arcilloso que se necesita es aproximadamente una cuarta parte de la caliza pura requerida. No se ha investigado la composición de las rocas arcillosas. El yeso podría ser transportado de la Guajira o de una nueva mina cerca de Bucaramanga. Grandes cantidades de agua están disponibles en los ríos Ariguani y Ariguanicito, distantes entre 5 y 8 kilómetros del depósito.

Calizas del Valle del Ranchería

Geología. - Las calizas del Cretáceo que forman la pendiente con buzamiento hacia el este en la margen occidental del Valle del Ranchería, se extienden 45 kilómetros desde cerca de San Juan del Cesar hasta Cuestecita. Tienen un ancho promedio de unos 7 a 8 kilómetros. El área de afloramiento total es de unos 300 kilómetros cuadrados y el espesor medio de 615 metros. En todo este enorme volumen se muestreó solamente una sección de 48.4 metros de espesor, en el escarpe de los Hornitos, justamente al sur del Río Ranchería, cerca de Chorrera (Plancha I). La sección investigada está próxima a la base de la unidad y representa solamente cerca del 13% del espesor promedio de ésta. Se cree que sea típica para

el mismo intervalo estratigráfico a través del área. Las muestras de caliza son muy uniformes macroscópicamente. La calidad es buena en todas partes, según se ve en los análisis químicos uniformes del Cuadro 9.

Reservas. - Las calizas cretáceas de alta calidad constituyen una reserva aparentemente ilimitada. La reserva posible es de unos cinco mil millones de toneladas, usando solamente el intervalo muestreado en el área de unos 45 kilómetros cuadrados, situados al sur del Río Rancherfa. Esta es solamente una pequeña fracción de las reservas potenciales de la misma unidad, al norte del río.

También existen grandes reservas potenciales en otras formaciones a ambos lados del Valle del Rancherfa, especialmente en la formación Hato Nuevo de edad Paleoceno-Cretáceo (?), en las rocas del Pérmico y del Pensilvaniano del Cerro Cerrejón y a lo largo del flanco occidental de la Serranía de Perijá. En 1956 Ronderos (1957, pp 81-99) muestreó la Formación Hato Nuevo, (parte superior ?), cerca de la localidad del mismo nombre y en el anticlinal contiguo a Papayal. También muestreó las calizas del Cerro Cerrejón, que se han incluido en el Grupo Cogollo y calizas del Pensilvaniano?, que se han incluido tentativamente en la unidad litoestratigráfica Devónico-Carbonífero. Ronderos supuso todas estas rocas como del Cretáceo.

Todas las muestras colectadas por Ronderos son adecuadas para cemento. Sin embargo, la calidad es generalmente inferior a la de las calizas de Chorrera. El contenido variable de P_2O_5 limita su aplicación en muchos usos. En vista de las reservas ilimitadas al oeste del valle, son innecesarios cálculos adicionales que no podrían ser cuidadosamente hechos porque las localizaciones exactas de las muestras y sus posiciones estratigráficas, no son mencionadas por Ronderos.

Composición química. - La composición química de la sección cerca de los Hornitos es muy uniforme, como lo indican los análisis de 90 muestras en el Cuadro 9. La calidad es muy buena para cemento y muchos otros usos, por el bajo contenido de materia insoluble y de los constituyentes menores. El porcentaje contenido de MgO es más alto cerca del tope de la sección. Unas pocas capas delgadas de la sección exceden al contenido máximo permisible del 3% de MgO para cemento, pero el contenido promedio total

Cuadro 9—Análisis químicos de las calizas cretáceas al oeste del Valle de Ranchería, cerca a Chorrera

Muestra número	Espesor (metros)	Análisis químicos en porcentajes							Contenido de carbonato en porcentaje		
		H ₂ O -105°C	Pérdida por ignición 105-1000°C	Residuo insoluble en HCl	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	MgCO ₃
I. M. N.											
1211-1212	1.30	0.14	42.79	1.98	53.17	0.86	0	0.09	0.73	94.95	1.80
1210	.75	.11	42.55	2.50	53.10	.62	0	.14	.81	94.82	1.30
1209	.65	.13	42.38	2.63	52.88	.72	0	.13	.92	94.43	1.51
1208	.50	.20	42.72	2.16	52.77	1.11	0	.12	.68	94.23	2.32
1207	.50	.15	42.89	1.94	52.15	1.69	0	.07	.88	93.11	3.53
1205-1206	1.60	.11	42.93	1.89	52.94	1.15	0	.17	.60	94.63	2.41
1204	.65	.11	43.21	1.40	53.40	1.09	0	.09	.46	95.36	2.28
1203	.95	.13	43.08	2.05	52.00	1.92	0	.16	.54	92.86	4.02
1202	.40	.05	42.92	2.27	52.73	1.27	0	.08	.57	94.16	2.66
1201	.35	.12	42.85	1.91	53.85	.40	0	.13	.62	96.16	.84
1200	.60	.10	42.95	1.75	53.60	.70	0	.12	.58	95.71	1.46
1199	.50	.08	42.74	2.37	52.15	1.59	0	.19	.66	93.13	3.33
1198	1.20	.12	43.71	.87	52.69	2.02	0	.11	.34	94.09	4.22
1196-1197	1.40	.17	43.05	1.74	52.59	1.55	0	.15	.62	93.92	3.24
1195	.70	.13	43.35	1.22	53.27	1.33	.02	.10	.43	95.13	2.78
1193-1194	1.07	.14	43.20	1.55	52.79	1.51	.01	.08	.55	94.26	3.15
1191-1192	1.05	.08	43.37	1.30	52.98	1.55	0	.11	.43	94.61	3.24
1189-1190	.92	.16	43.12	1.33	53.27	1.12	.01	.12	.69	95.12	2.34
1187-1188	1.10	.10	43.14	1.56	52.31	1.88	.04	.14	.62	93.41	3.94
1186	.25	.19	43.30	1.41	52.31	2.00	.02	.10	.53	93.41	4.18
1185	.75	.14	42.63	1.88	53.85	.28	.02	.26	.72	96.16	.59
1183-1184	1.60	.13	42.94	1.40	54.23	.25	.03	.10	.68	96.83	.52
1182	.45	.14	43.10	1.55	53.85	.65	.02	.12	.46	96.16	1.36
1180-1181	1.05	.09	43.18	1.14	53.88	.76	0	.23	.72	96.21	1.60
1179	.16	.05	43.41	.95	53.49	1.26	0	.18	.52	95.52	2.63
1177-1178	1.00	.70	43.12	1.64	53.26	1.12	0	.09	.55	95.09	2.35
1176	.17	.10	43.28	2.20	50.77	3.02	0	.08	.42	90.66	6.31
1175	.23	.10	43.08	1.47	53.85	.65	0	.09	.66	95.16	1.36
1172-73-74	2.15	.11	43.08	1.53	53.37	.94	0	.10	.69	95.49	1.97
1171	.40	.16	43.13	1.24	53.31	1.01	.06	.15	.74	95.20	2.11
1169-1170	1.50	.09	43.12	1.54	53.07	1.24	.04	.09	.56	94.77	2.60
1168	.30	.03	43.02	2.12	52.54	1.56	0	.09	.46	93.82	3.26
1166-1167	1.30	.10	42.96	1.85	53.22	.96	.01	.10	.64	95.04	2.01
1165	.65	.03	42.69	2.46	52.31	1.45	0	.14	.81	93.41	3.03

Cuadro 9 - Análisis químicos de las calizas cretáceas al oeste del Valle de Ranchería, cerca a Chorrera (continuación)

Muestra numero	Espesor metros	Análisis químicos en porcentaje				Contenido de carbonato (porcentaje)					
		H ₂ O - 105°C	Pérdida por ignición 105-1000°C	Residuo insoluble en HCL	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ca CO ₃	Mg CO ₃
I.M.N.											
1164	.60	.13	43.28	1.66	52.00	2.06	0	.09	.61	92.86	4.31
1163	.60	.10	43.71	1.15	50.77	3.36	0	.11	.64	90.66	7.02
1161-1162	.95	.06	43.05	1.37	53.65	.78	0	.13	.76	95.81	1.64
1160	.35	.02	42.77	2.11	53.23	.87	.06	.13	.71	95.05	1.82
1159	.35	.04	42.78	2.22	52.69	1.23	0	.12	.73	94.09	2.57
1158	.80	.03	42.85	2.37	53.08	.96	.04	.06	.45	94.78	2.01
1157	.70	.02	43.60	.83	53.85	1.15	0	.04	.31	96.20	2.40
1156	.30	.03	43.45	1.44	52.46	2.03	0	.05	.40	93.68	4.25
1155	.60	.07	43.00	1.67	53.20	1.04	.07	.10	.68	95.00	2.17
1152-53-54	1.45	.11	43.01	1.70	53.92	.55	.01	.08	.43	96.62	1.15
1150-1151	1.30	.11	42.79	1.97	53.54	.63	.01	.10	.64	95.66	1.32
1149	.82	.06	43.46	.89	53.69	1.11	0	.07	.58	95.88	2.32
1147-1148	1.25	.07	43.23	.88	54.91	.02	.03	.05	.57	98.06	.05
1145	.55	.04	43.60	.33	55.23	.17	.05	.04	.46	98.63	.36
1144	.73	.05	43.44	.98	54.23	.75	0	.05	.35	96.84	1.57
1143	.21	.08	43.23	.97	54.62	.10	0	.05	.75	97.54	.21
1142	.15	.11	43.20	1.13	53.85	.80	0	.05	.75	96.16	1.67
1140-1141	1.00	.07	43.34	1.02	54.68	.28	.02	.04	.36	97.65	.59
1139	.50	.09	43.50	.54	55.00	.25	0	.03	.47	98.21	.52
1138	.40	.11	43.03	1.52	53.85	.60	0	.06	.74	96.16	1.25
1137	.80	.11	43.55	.43	55.00	.40	0	.05	.35	98.21	.84
1134-35-36	2.10	.25	43.34	.906	53.90	.79	.04	.07	.56	96.25	1.65
1130-31-32-33	3.25	.07	43.83	.59	54.78	.45	.04	.04	.30	97.83	.95
1127-28-29	2.20	.01	43.29	.92	54.58	.32	.10	.07	.62	97.38	.60
1125-1126	1.20	.02	43.32	.78	54.31	.13	.05	.06	.63	97.87	.26
1124	.55	.10	43.40	.83	54.62	.20	0	.06	.59	97.54	.21
1214	.60	.05	43.10	1.49	52.23	1.88	0	.34	.76	93.27	3.93
1213	.60	.08	42.87	1.81	53.29	.89	0	.12	.83	95.16	1.86
Promedio aritmético		.11	43.12	1.50	53.34	1.05	.01	.21	.59	95.26	2.19

Análisis: Laboratorio Químico Nacional

es tan bajo, que no causarfa ninguna dificultad.

En vista de la composición uniforme, no se calculan análisis promedios totales ponderados. La composición promedia aproximada en porcentaje es de: 53.3 CaO; 43.1 pérdidas por ignición; 1.5 materia insoluble; 1.05 MgO; 0.03 P₂O₅; 0.1 Fe₂O₃ y 0.6 Al₂O₃. El contenido de SO₃ no es detectado. Donde se colectaron varias muestras en el mismo estrato, en lugar de análisis separados de ellas, se anotan los promedios aritméticos, como lo indican los números de varias muestras en el Cuadro 9.

Los análisis de tres muestras dispersas colectadas justamente encima de la sección muestreada, son casi iguales a los análisis promedios, con excepción del contenido variable, notablemente más alto de P₂O₅, que sube hasta 1.97% en dos muestras. Un contenido de fósforo tan alto es indeseable para algunos usos pero estos estratos podrían ser removidos durante la explotación. No se sabe si los estratos de la pendiente estructural que se encuentran encima de la sección muestreada, tienen un alto contenido promedio de fósforo o si esta característica corresponde solo a unas pocas capas delgadas.

Factores que afectan la explotación. - Los depósitos de calizas de Chorrera y Durania, se hallan favorablemente localizados con respecto al agua, combustible, carreteras y centros poblados. El campo carbonífero de Cerrejón está cerca. Agua apropiada se encuentra en el Río Ranchería. Una carretera pasa cerca de la sección muestreada y la troncal está próxima. Abundante material arcilloso se halla en rocas del Cretáceo y del Terciario cercanas al depósito. Hay adecuada mano de obra en las poblaciones cercanas.

Los depósitos pueden ser explotados a cielo abierto o por minería subterránea en varios sitios cercanos a la sección muestreada. Las calizas de la parte inferior de la unidad llamada K₁, en el mapa, pueden probablemente ser explotadas en cualquier parte de la pendiente estructural, al norte hasta Cuestecita, pero estas rocas son fácilmente accesibles sólo en los extremos norte y sur.

Probablemente muchos otros intervalos estratigráficos de espesor equivalente, son adecuados para cemento en la parte alta de la sección del Cretáceo. Es posible que la roca arcillosa para el cemento, pueda hallarse sin que se requiera una operación de minería separada para el material arcilloso.

Otros Depósitos

Es probable que existan reservas explotables de caliza adecuada para cemento, en las áreas donde afloran las calizas del Cretáceo, Paleoceno, Pensilvaniano y Pérmico; pero no se muestrearon otros depósitos debido a las grandes reservas favorablemente localizadas en Durania y Chorrera. Entre estos depósitos vale la pena mencionar los que están a lo largo del frente occidental de la Serranía de Perijá, en particular, cerca de Manaure y Odazzi y en la gruesa sección de caliza pérmica, que se extiende al oriente de El Molino, más allá del borde oriental de la Plancha I.

Dos muestras (IMN 1113-1114) de la caliza del Cretáceo (?) procedentes del afloramiento aislado y circular al sur del Río Tapias (Plancha I) fueron analizadas. Estas son calizas bajas en magnesio que contienen sólo entre 2.6 y 8.9% de materia insoluble. La caliza impura tiene un porcentaje excepcionalmente alto de P_2O_5 (2.52%) y Al_2O_3 (2.31%). Las reservas son adecuadas para uso local y quizás suficientes para producción de cemento si, como se presume, los tres afloramientos aislados son continuos por debajo de las terrazas delgadas formadas por cascajos no consolidados.

MARMOL

El mármol se ha encontrado en las Granulitas del Precámbrico (Los Mangos), en el Esquisto de Gaira, en el Esquisto sin Diferenciar y en el Neis de los Muchachitos. Los depósitos más grandes en el Esquisto de Gaira cerca de Ciénaga, son cartografiados como una unidad separada. Otros estratos de mármol en la Cuchilla de Piedras Blancas y en los Esquistos sin Diferenciar cerca de Buritaca, (e-2 Plancha I) están en esquistos eocénicos. Muchos otros estratos delgados de mármol, se observaron en el Esquisto de Gaira, al sur del Batolito de Santa Marta.

Todos los mármoles de las rocas del Precámbrico contienen silicatos metamórficos, generalmente diópsido verde pálido. Algun olivino, flogopita y microclina pueden estar presentes. Estos mármoles carecen de potencial económico. La capa de mármol del Neis de los Muchachitos que se indica con un símbolo lineal en la Plancha I, también contiene diópsido; pero los mármoles en los esquistos no contienen silicatos metamórficos visibles. Muchos poseen, no obstante, abundante cuarzo detrítico y otros, son demasiado impuros para su uso aún en cemento. El mármol decorativo se encuentra sólo cerca de Ciénaga.

Mármol de Ciénaga

Geología. - Dos pequeñas áreas, con mármol, mármol dolomítico y metasedimentos calcáreos arenosos con una extensión de 2,6 kilómetros cuadrados, fueron cartografiados cerca del extremo sur del Batolito de Santa Marta, en el borde occidental de la Sierra Nevada, unos 5 kilómetros al este de Ciénaga (Plancha I). Estos mármoles forman parte del techo pendiente del batolito, pero no contienen minerales metamórficos. Un mapa y una sección transversal, del área (figura 2) indican la relación geológica y la localización de las muestras.

La geología fue ejecutada por el geólogo Cesar Duque sobre una parte de la Plancha 18-III-D del IGAC, se agregó la localización de las muestras del Dr. Roberto Wokittel (1958, informe 1286, 16 p.). El Dr. Wokittel y el Dr. Jesús A. Bueno (1957, informe 1225, 11 p.) hicieron breves estudios del área para el Servicio Geológico Nacional. Estos informes son accesibles al público.

Las relaciones de los mármoles con los esquistos son inciertas. El mármol suprayace a esquistos biotíticos. Estos hacen parte del Esquisto de Gaira, el cual fue metamorfoseado a la

facies de la anfibolita, poco antes de la intrusión del batolito, que ocurrió hace unos 50 m. a. Sin embargo, la carencia de metamorfismo, después de la recristalización que ha producido el grano grueso del mármol cerca del contacto, contrasta con el alto grado de metamorfismo de los esquistos. Quizá, los mármoles, muchos de los cuales contienen óxidos que pudieron haber formado abundantes silicatos metamórficos pero que carecen de ellos, son más jóvenes y pueden suprayacer discordantemente a los esquistos. De ser así, el contacto hacia el sureste con los esquistos que aparentemente suprayacen al mármol, tendría que ser una falla inversa que coloca los esquistos superiores sobre la secuencia de mármol. Sin embargo, se ha interpretado el mármol como un miembro del Esquisto de Gaira, interestratificado en los esquistos, como lo indica la sección transversal. Los mármoles se hallan claramente intruídos por el batolito.

El mármol se divide en dos miembros: uno inferior, de mármol relativamente puro, bajo en magnesio y otro superior, de mármol impuro y arenoso, metasedimento calcáreo, metalimolita, cuarcita y posiblemente, mármol dolomítico (figura 2). Se cree que las rocas del Cerro la Pedrera se correlacionan con el miembro superior.

El constituyente principal no calcáreo es arena cuarzosa, en granos clásticos diseminados en cintas paralelas a la estratificación. Las estructuras sedimentarias son todavía evidentes, excepto en el mármol blanco, grueso y macizo próximo al contacto. Muchos de los mármoles son moteados de gris y blanco. Gran parte del miembro superior es gris a gris oscuro y aparentemente fué poco recristalizado. Es obvio que ha habido muy poco cizallamiento dentro de la secuencia de mármol, en marcado contraste con los esquistos encajantes.

Parece que el miembro inferior está repetido por una falla normal de dirección noreste a lo largo de Quebrada Honda. El desplazamiento es aproximadamente de 280 metros. El miembro superior ha sido erosionado del bloque occidental. Algunos buzamientos erráticos en el extremo norte de este bloque, sugieren que existen estructuras locales complejas difíciles de explicar, aunque las estructuras mayores son claras.

El espesor aparente de la serie con mármol es de 460 metros, medido en la sección transversal. El miembro inferior tiene de 230 a 250 metros de espesor y el superior, unos 230 metros.

Explotación. - Los depósitos de mármol han sido explotados durante muchos años en unos nueve lugares, como se indica en el mapa. La localización de siete hornos pequeños y pri-

mitivos, se indica en la figura 2. Estos hornos producían cal viva para blanqueamiento. Los sitios de dos molinos también están indicados. La roca triturada fue usada principalmente para revestimiento de pisos en Barranquilla, Santa Marta y ciudades vecinas (Wokittel, 1958).

Un pequeño molino situado cerca del extremo norte de la sección transversal se encuentra inactivo actualmente. Tiene equipo de trituración y tamizado, que aún puede usarse y constituye la instalación más completa del área. El señor Hermides Padilla instaló recientemente un molino Raymond para producir mármol granulado para la exportación, operación que puede ser el comienzo de una explotación más técnica y a gran escala. Se han efectuado algunas perforaciones con broca de diamante a lo largo del borde sur del bloque occidental. La posibilidad de producir mármol con fines decorativos está siendo estudiada.

Potencial económico. - El potencial económico de mármol es bastante grande, pero está restringido principalmente al miembro inferior. El miembro superior contiene cuarcitas y generalmente es demasiado impuro para la mayoría de los usos. Su potencial económico está limitado a la dolomita o caliza muy magnésiana del Cerro Pedrera. Algunos estratos de mármol relativamente puro y bajo en magnesio también están presentes en el miembro superior, como lo indican las muestras de material, tomadas por Wokittel (Cuadro 10) usadas en los hornos cerca del Cerro Pedrera (figura 2).

Hay muchos posibles usos adicionales para el material de mejor calidad. Wokittel sugirió el posible empleo de cal y de cal apagada para insecticidas y fungicidas, e hizo hincapié en el uso obsoleto del "caldo bordoles" para combatir la enfermedad de la Sigatoca en las plantaciones comerciales de banano. También sugirió la posibilidad de ser utilizado en la elaboración de carburo de calcio, mortero y revoques, cemento portland, mármol ornamental, dolomita refractaria, dolomita agrícola, ladrillos de arena calcárea (calicanto) y tratamiento de aguas. Indudablemente, los mercados domésticos crecerán a medida que el desarrollo económico continúe y la población aumente.

Reservas de mármol. - Los datos disponibles no son suficientes para calcular las reservas probadas y probables ni la calidad precisa porque los análisis químicos son demasiado variables y muchos estratos impuros pueden ocurrir aún en el miembro inferior. Las reservas (potenciales y posibles) son inferidas para compensar con un amplio margen de seguridad los muchos factores desconocidos que afectan tanto al volumen como a la calidad del mármol útil. La principal incertidumbre con relación al volumen es la profundidad desconocida hasta el contacto con el batolito.

Cuadro 10- Análisis químicos de los mármoles y mármoles dolomíticos de Ciénaga.

Análisis químicos (porcentaje por peso)

Muestra número	H ₂ O -105°C	Pérdida por ignición	Residuo insoluble	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Contenido de carbonato (porcentaje)	
										CaCO ₃	MgCO ₃
Miembro superior											
IMN 985	0.00	27.80	37.34	33.34	0.46	0.00	0.07	0.45	0.33	59.69	0.96
IMN 986	.12	11.29	73.46	12.85	.30	.00	.00	1.07	.88	22.94	.62
IMN 987	.14	7.04	82.60	6.98	1.21	.00	.07	.85	.83	12.46	2.53
IMN 988	.04	14.63	66.20	15.54	1.13	.00	.00	.49	.86	29.54	2.36
IMN 989	.05	1.52	95.95	.38	1.01	.08	.04	.55	.31	.68	2.11
IMN 990	.02	31.93	26.29	40.38	.13	.00	.00	.13	.97	72.11	.27
IMN 991	.09	37.89	13.57	45.08	2.24	.00	.00	.19	.71	80.50	4.68
IMN 992	.05	35.50	18.70	44.11	.67	.00	.00	.10	.80	78.77	1.40
Miembro superior (?), Cerro La Pedrera											
Wo 809	.07	39.62	8.91	36.56	11.18	.08		.48	.80		
Wo 810	.06	34.00	13.32	32.29	17.56	.07		.42	.66		
Wo 811	.05	44.38	.67	33.76	17.64	.08		.32	.32		
IMN 993	.10	44.78	3.56	35.13	15.60	.00	.00	.07	.48	62.73	32.62
IMN 994	.05	46.43	.83	33.06	18.69	.00	.00	.09	.71	59.07	39.09
Promedio de 5 dolomitas		41.84	5.46	34.16	16.13			.28	.59		
Wo 812	.07	39.40	7.01	48.23	1.27	.22		.32	1.40		
Wo 813	.06	37.58	11.12	46.77	1.09	.22		.32	1.20		
Wo 814	.08	38.43	6.00	43.52	7.42	.22		.32	1.44		
Wo 815	.06	39.27	8.67	48.00	.60	.20		.48	1.00		
Wo 816	.09	36.52	13.79	39.93	5.62	.19		.16	1.40		
IMN 995	.05	28.27	35.63	33.05	2.09	.00	.00	.07	.73	59.02	4.37
Miembro inferior											
IMN 996	.06	42.43	2.82	53.06	.61	.00	.00	.13	.82	94.75	1.27
IMN 997	.07	37.90	12.90	47.69	.11	.00	.00	.19	.91	85.16	.23
IMN 998	.02	36.87	14.67	46.15	.24	.00	.13	.17	1.45	82.41	.50
Wo 817	.07	39.22	6.20	49.24	.60	.16		.32	1.38		
Wo 818	.08	39.13	7.70	48.12	.64	.19		.32	1.72		
Wo 819	.06	41.84	.32	52.46	.30	.15		.32	.72		

Cuadro 10 - Análisis químicos de los mármoles y mármoles dolomíticos de Ciénaga. (cont.)

Análisis químicos (porcentaje por peso)

Muestra número	H ₂ O -105°C	Pérdida por Ignición	Residuo Insoluble	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Contenido de carbonato (porcentaje)	
										CaCO ₃	MgCO ₃
Wo 820	.07	42.31	.22	52.04	.43	.14		.32	.56		
Wo 821	.06	42.55	.56	52.27	.27	.23		.32	.52		
Wo 822	.08	37.03	10.93	46.88	.43	.18		.48	1.72		
Wo 823	.39	39.55	5.03	48.56	.41	.20		.48	1.12		
Wo 824	.09	41.63	.88	52.27	.41	.25		.32	.96		
Wo 825	.07	40.40	3.45	50.58	.68	.19		.32	.60		
Wo 826	.07	34.65	14.38	44.35	1.49	.37		.32	1.48		
Wo 827	.07	39.72	3.91	50.36	.90	.41		.48	.68		
Wo 828	.07	40.38	2.93	51.14	.62	.31		.32	.68		
Wo 829	.10	39.00	5.63	47.89	2.03	.341		.48	1.00		
Promedio de 16 calizas con bajo magnesio	.10	39.66	5.78	49.57	.64			.33	1.02		

Las muestras designadas Wo fueron tomadas de Roberto Wokittel, 1957
Calizas de Ciénaga, Dpto. del Magdalena, Informe N° 1286.

Análisis: Laboratorio Químico Nacional

La sección transversal es esquemática y el verdadero contacto puede solo ser determinado mediante perforaciones. Para determinar la calidad se requiere muestreo adicional en la superficie y algunas perforaciones. Las estimaciones de las reservas posibles están limitadas al miembro inferior, específicamente a la parte que no requiere remoción del miembro superior y que está por encima del nivel de la Quebrada Honda.

El bloque occidental del miembro inferior, tiene expuesto un espesor estratigráfico promedio, de unos 200 metros, una longitud promedio de 800 metros, excluyendo el material pobre del extremo norte y un ancho de 300 metros siguiendo el buzamiento. Usando una gravedad específica de 2.3 este volumen contendría una reserva potencial máxima de 55.200.000 toneladas métricas de las cuales una cuarta parte podría ser fácilmente explotable. Así, la reserva posible es de 13.800.000 toneladas de mármol con los siguientes análisis en porcentajes promedios aproximados: CaO 49.57; MgO 0.64 y material insoluble 5.78. Este bajísimo contenido promedio de magnesio en 16 muestras, contrasta con el promedio de 16.13% de MgO en 5 dolomitas de Cerro Pedrera.

La parte del miembro inferior al oriente de la falla que no está cubierta por el miembro superior, tiene expuesto un espesor estratigráfico promedio de 100 metros, una longitud promedio de 1.000 metros según el rumbo y un ancho promedio de 100 metros estimado siguiendo el buzamiento. El tonelaje potencial máximo sería de unas 11.500.000 toneladas, pero solo una quinta parte está por encima del nivel de la quebrada y sería fácilmente explotable. La composición promedio de este mármol se presume sea la misma que la del bloque occidental.

La reserva potencial máxima total sin retirar el miembro superior, es de cerca de 68.000.000 de toneladas y la reserva posible total fácilmente explotable es de 16.000.000 de toneladas. Esta cifra es comparable con el estimativo de 10.000.000 de toneladas hecho por Wokittel, 1957, sin cartografía geológica. Solo una pequeña fracción, puede ser utilizable para enchapados; pero toda la sección es útil para cemento, caliza agrícola u otros usos que requieren caliza de bajo grado.

Los análisis químicos disponibles se dan en el Cuadro 10, incluyendo los de Wokittel. Los análisis del miembro inferior, del superior y de los mármoles magnesianos, se presentan en grupos separados. Las estaciones de muestreo están ubicadas en el mapa. Muchas muestras de Wokittel fueron colectadas en los sitios de los hornos y se desconoce su localización exacta.

Reservas de mármol dolomítico. - El mármol dolomítico está confinado aparentemente al bloque fallado central del Cerro

La Pedrera, tal como se indica en el mapa. Las reservas no pueden estimarse por carencia de información suficiente debido a la abundante vegetación y a los escombros que cubren las pendientes. La calidad de los cinco análisis varía mucho (Cuadro 10). Estratos de espesor desconocido de dolomita relativamente pura pueden estar interestratificados con dolomita arenosa, mármoles magnesianos arenosos y con rocas metasedimentarias calcáreas. El único estrato de dolomita relativamente pura que se observó está en el tope de la colina más alta (IMN 993-994), pero la tupida vegetación que la cubre limitó las observaciones.

La dolomita es escasa en Colombia y se cree justificable una exploración en el Cerro La Pedrera, mediante trincheras. Ciertamente, podrían desarrollarse reservas de dolomita agrícola, probablemente suficientes para cualquier mercado doméstico dentro de un radio de transporte económico.

Mármol de la Cuchilla de Piedras Blancas

Varios estratos de mármol arenoso impuro, afloran en el Esquisto de Gaira, en la Cuchilla de Piedras Blancas, unos 2 kilómetros al sur de la Falla El Carmen. El área fue cartografiada y muestreada por el geólogo Alfonso Arias en la medida que lo permitieron los escasos afloramientos y la tupida vegetación.

Dos estratos de mármol con rumbo $N70^{\circ}E$ y buzamiento $70^{\circ}SE$ están separados por unos 250 metros de esquisto o cuarzo diorita. El estrato superior, que tiene 35 a 40 metros de espesor, puede trazarse continuamente por un kilómetro al noreste del Río Piedras y probablemente el mismo estrato aflora cerca de Quebrada Lisa, con 15 - 20 metros de espesor. El estrato superior fue muestreado en tres lugares en una longitud de un kilómetro y el estrato inferior, en dos sitios, separados un kilómetro. En el Río Piedras, un tercer mármol interestratificado entre los anteriores, tiene un metro de espesor. Otros dos estratos muy delgados de mármol, están separados por una capa de esquisto de poco espesor. Tres silos de cuarzo-diorita separan estos estratos; pero más hacia el este, las rocas intercaladas son esquistos que llegan hasta los 250 metros de espesor.

La composición de estos mármoles se asemeja a la del miembro superior de los mármoles de Ciénaga (figura 2). Los análisis químicos promedios se dan en el Cuadro 11.

Cuadro 11- Análisis químicos promedios de los mármoles de la Cuchilla Piedras Blancas

Análisis químicos en porcentaje

Muestra número	CaO	Pérdida por Ignición	Residuo Insoluble	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Contenido de carbonato		Observaciones
								CaCO ₃	MgCO ₃	
Estrato superior										
IMN 895	50.7	44.16	0.47	3.98	0.01	0.06	0.58	90.53	8.32	Cerca Quebrada La Lisa
IMN 877 - 879	49.02	38.41	10.18	3.17	0	0	0	87.53	4.54	Sendero, Cuchilla Piedras Blancas
IMN 880 - 883	46.50	34.47	17.38	0.66	0.01	0.13	0.43	83.04	1.37	200 metros al noreste de Río Piedras
IMN 888 - 894	44.23	34.09	19.81	0.54	0.06	0.12	0.86	78.97	1.13	Río Piedras
Estrato medio										
IMN 887	43.20	33.95	20.13	0.50	0	0.06	1.94	77.14	1.04	Río Piedras
Estrato inferior										
IMN 897	52.10	40.93	6.22	0	0	0.06	0.49	93.03	0	Sendero, Cuchilla Piedras Blancas
IMN 885 - 886	45.85	35.30	16.42	0.33	0	0.08	1.76	81.87	0.68	Río Piedras

Nota: Las muestras en cada sección están organizadas en orden estratigráfico descendente. Las secciones están arregladas en orden a lo largo del rumbo hacia el suroeste. Donde se analiza más de una muestra se toma el promedio aritmético de los análisis individuales.

Análisis: Laboratorio Químico Nacional.

TALCO - TREMOLITA

El talco y la tremolita forman pequeños lentes, concordantes con la foliación de las rocas metamórficas encajantes y masas irregulares, que están estrechamente asociadas con pequeños cuerpos intrusivos (?) de rocas ultramáficas retrógradas o alteradas, particularmente con rocas ultramáficas serpentinizadas. Esquistos talcosos o clorítico-talcosos se presentan en la Serranía de Nueva Granada (c-5, Plancha I), pero carecen de valor económico a causa del alto contenido de hierro. Tales esquistos no se discuten en este informe.

Algunos de los pequeños cuerpos de rocas ultramáficas se indican en la Plancha I. Ocurren en rocas metamórficas que pertenecen a los tres orógenos, pero los del Neis de Buritaca, cerca de la Quebrada Rodríguez (b-6, Plancha I), son los más importantes. Depósitos semejantes de talco y tremolita en rocas ultramáficas, se observaron en la carretera cerca de Cincinati (b-6, Plancha I) y en varios lugares en los esquistos de San Lorenzo y Gaira; pero no tienen valor económico debido a su color oscuro y alto contenido de hierro.

Las rocas ultramáficas y los depósitos de talco y tremolita, no se cartografiaron debido a los afloramientos escasos y densa vegetación. Se excavaron ocho apiques para delimitar parcialmente el depósito de la Quebrada Rodríguez. Riegos de tremolita masiva y resistente o piroxenita, sobre las pendientes o en las quebradas, son a menudo, el único signo visible de estas rocas. El talco es mucho menos evidente que la tremolita masiva y resistente. Muchas pequeñas masas de rocas ultramáficas, particularmente de piroxenita, no se encuentran alteradas a talco o tremolita, los cuales están más estrechamente asociados con la serpentina.

Depósitos de la Quebrada Rodríguez

Geología. El único depósito conocido de algún valor económico está en el Neis de Buritaca cerca de la Quebrada Rodríguez. Fue cartografiado por el geólogo Raúl Durán (figura 3). Se hallaron cinco cuerpos pequeños de los cuales, dos contienen serpentina masiva de color verde oscuro, que puede ser más extensa de lo que se indica en el mapa. Las anfibolitas encajantes dieron edades radiométricas correspondientes al Jurásico (R. Marvin, 1968, comunicación escrita), pero fueron probablemente rocas metamórficas del Pérmico o del Triásico degradadas durante la orogenia del Eoceno. La serpentina no está foliada y es posible que fue ra intruída después de la orogenia del Eoceno, quizás antes de la

etapa pegmatítica de las cuarzo-dioritas del Eoceno. La serpentina está intruída por un delgado dique granítico cerca de un antiguo apique exploratorio (figura 3). Talco y tremolita aparentemente, han reemplazado la serpentina.

El cuerpo más grande puede ser una masa intrusiva discordante de serpentina alterada, pero los tres más pequeños parecen lentes concordantes en las anfibolitas. El quinto, parece ser discordante y contiene algo de serpentina (IMN 676). Este cuerpo está mal expuesto a lo largo de una carretera abandonada y cubierta de vegetación que cruza la esquina suroeste de la figura 3.

Los dos pequeños lentes concordantes en el extremo noroeste del depósito, consisten principalmente de cristales fibrosos y radiales de tremolita de color verde pálido. Estos lentes pueden ser rocas dolomíticas metamorfoseadas, pero se prefiere relacionarlas a flujos magnesianos derivados directa o indirectamente de las serpentinas. No se observó serpentina en estos lentes.

En el apique antiguo (figura 3) se observó clorita (?) de bajo contenido de hierro y flogopita asociadas con el talco y la tremolita. La tremolita es verde pálido y comunmente forma cristales grandes y masas fibrosas. El talco es menos abundante y puede derivarse de la tremolita. El talco, la clorita y posible mente la tremolita, son minerales secundarios no consistentes con el alto grado de metamorfismo de las anfibolitas encajantes. Cerca de un 7% de un óxido negro y opaco, está presente en la serpentina, en el talco y la tremolita. Esto podría ocasionar dificultades para su utilización en cerámica, a menos que pueda separarse. La tremolita es generalmente dos veces más abundante que el talco.

Posibilidades económicas. - Las posibilidades económicas son dudosas por las siguientes razones: (1) informes contradictorios de laboratorio sobre el color de la cerámica quemada; (2) mineralogía y contenido de hierro variables; (3) presencia frecuente de cantidades desconocidas de serpentina. Por consiguiente, no se calculan las reservas. El depósito ha despertado interés de una firma de cerámica de Florida, que solicitó una concesión en 1966 para explotarlo y contrató un geólogo consultor para examinar el depósito más grande.

La calidad es aparentemente marginal. El mejor material cerca del apique en el cuerpo más grande, quemó a un color crema pálido, según pruebas preliminares efectuadas por la firma ceramista de Barranquilla. Sin embargo, cuatro muestras (IMN 665-668, figura 3) quemaron a un color oscuro no satisfactorio, según ensayos efectuados por Locerfa Colombiana en su laboratorio de Medellín. Este laboratorio concluyó que el material ensayado tiene poco valor económico. Estas muestras no provienen del cuer-

po que tiene material satisfactorio. Si existe material con valor comercial, se requerirá minería selectiva y clasificación manual. Para evaluar el depósito se requieren obviamente trincheras, muestreo cuidadoso y ensayos adicionales de laboratorio bajo la supervisión de especialistas experimentados.

FELDESPATO

Por su combinación de K_2O , Na_2O y Al_2O_3 , tienen importancia económica los feldespatos de potasio o sodio y las sienitas con feldespatoídes. Desafortunadamente, los neises anortosíticos consisten de plagioclasa que es demasiado cálcica para tener algún valor comercial. Las pegmatitas conocidas son muy pequeñas para ser fuentes comerciales de feldespato potásico o sódico.

Generalmente no es económico producir mezclas concentradas de feldespato de potasio y de sodio (pertita) a partir de granitos rosados de grano grueso y de granulitas con cuarzo y pertita. Un concentrado de cuarzo podría producirse como un subproducto. Estas rocas, que contienen 50 a 60% de feldespato útil, son muy comunes en la serie del Precámbrico y en los Batolitos de Patillal y Pueblo Bello. Probablemente los costos de trituración y flotación serían antieconómicos. Quizás sería necesaria una molienda fina para producir concentrados de feldespato libres de cuarzo. Como el color rosado probablemente se debe a la hematita diseminada, el contenido de hierro puede ser demasiado alto para producir cerámica blanca.

Los geólogos Luis Jaramillo y César Duque, estudiaron el cuerpo alargado de anortosita de Río Frío y colectaron 20 muestras para análisis químico, cuyos resultados indican que el contenido promedio de CaO es de 10% y la relación CaO/Na_2O , varía ampliamente de 2,8 a 7,8, siendo por lo tanto, demasiado cálcico para tener valor comercial.

ARCILLAS

Hasta donde se ha podido determinar, ninguno de los depósitos de arcilla dentro de las áreas montañosas de la Sierra Nevada, tienen potencial económico significativo. Sin embargo, las rocas del Cretáceo, del Terciario y posiblemente también las del Cuaternario, en muchas áreas bajas pueden ser adecuadas para usos tales como cemento y fabricación local de ladrillo. El ladrillo producido en toda la región es de calidad baja, pero no se sabe si se debe a la materia prima, a bajas temperaturas de calcinación o a técnicas primitivas de quemado. Muchos suelos lateríticos podrían ser adecuados para producir ladrillo de uso local.

Las caolinitas de las áreas descritas más adelante son demasiado ricas en hierro para producir cerámica blanca.

Las arcillas hinchantes que se encuentran en las rocas del Mioceno Inferior de la parte occidental de la Sierra Nevada, pueden ser bentonitas ricas en montmorillonita.

Depósitos de caolinita de San Pedro de la Sierra

Aparentemente poco caolín se ha producido en la Sierra Nevada. Wokittel (1960, p. 297) menciona depósitos entre Ciénaga y Sevilla, que probablemente incluyen los estudiados por la misión geológica de Alemania Occidental (Fricke, 1960, pp. 106-111) y otros que se describen más adelante.

La misión alemana estudió granito caolinizado y diques de pegmatita granítica profundamente meteorizados entre Cuatro Caminos y San Pedro de la Sierra (c-6, Plancha I), a lo largo de unos pocos centenares de metros. El feldespatos se halla caolinizado, pero el cuarzo de grano grueso y las escamas de moscovita están inalteradas.

Las investigaciones con Rayos X (Fricke, 1960) indican que el contenido de caolinita va de 15 a 20% en la fracción más gruesa de 60 micras a 40% en la fracción menor de 6 micras. Los contenidos de moscovita e illita disminuyen de 30 a 20% en las fracciones más finas. El contenido de clorita es menor de 10% y el feldespatos varía de 15 a 30%. La mayor parte del cuarzo en la muestra de Cuatro Caminos es más grueso que 60 micras, pero el cuarzo en las muestras de San Pedro es de grano más fino, variando de 20 a menos de 5%; la fracción de la roca, menor de 60 micras, varía de 29% en Cuatro Caminos a 75% en San Pedro.

Las fotografías tomadas en 1960 en taludes, indican que el corte de la carretera fue de unos 8 metros de altura en granito duro, pero solo se observan tres bandas angostas o diques caolinizados.

Depósitos de caolinita de El Platanal

Muchas masas pequeñas tabulares de roca caolinizada se hallan en la región de El Platanal, desde El Mico a lo largo de la carretera, hasta San Pedro de la Sierra (Plancha I). Probablemente en su mayor parte fueron diques graníticos o aplíticos. Estas rocas altamente caolinizadas fueron muestreadas en 24 lugares entre El Limón y Cuatro Caminos, cerca de San Pedro. Tienen desde 0.50 a 3 metros de grueso y pueden seguirse sólo unos pocos metros a lo largo del rumbo a causa de la tupida vegetación.

Dos análisis completos y dos parciales muestran que las rocas originales son graníticas semejantes a aquella cerca de San Pedro cuyo análisis fue mencionado por Fricke y otros (1960). Esta semejanza sugiere ciertamente que estos diques también tienen composiciones mineralógicas similares y contienen 30 a 40% de caolinita.

Cinco muestras (IMN 669-673) de las rocas ígneas más caolinizadas del tramo de carretera a San Pedro de la Sierra, fueron llevadas para ensayos al Laboratorio de Locerfa Colombiana de Medellín. Quemaron a cerámica de colores oscuros, que carecen de valor comercial (Hernán Vásquez, 1967, comunicación escrita). Obviamente, ningún material de la región puede usarse para producir cerámica blanca porque el contenido de hierro es demasiado alto. Es improbable que el hierro pueda ser económicamente reducido por procesos metalúrgicos y por lo tanto, los depósitos de caolinita de El Platanal y del área Cuatro Caminos - San Pedro, no tienen valor comercial.

Doce muestras de cerca de la carretera entre El Limón y San Pedro tuvieron un contenido sorprendentemente alto y variable de azufre al quemarlas. El azufre, probablemente se derivó de pirita oxidada. Si la pirita persistiera, destruiría cualquier posibilidad de explotación para cerámica, porque formaría un jaspeado marrón. El contenido de S_3 va de 0.10 a 3.75%. El contenido de S_3 de cuatro muestras es más de 0.90%. Este porcentaje es muy perjudicial para la mayoría de los usos.

Tres muestras (IMN 738, 740 y 744) indicaron menos de 0.18% pero dos de ellas tuvieron bajo contenido de Al_2O_3 , entre 18.7 y 19.3% lo cual indica alteración incompleta a caolinita. Los contenidos más altos de alúmina están entre 24.5 y 32.8%.

La proporción de cal (CaO) de las doce muestras, va de 0.9 a 7.5%. Ocho indicaron menos de 3.1% y cuatro, menos de 1.9%.

Los datos analíticos, las pruebas de quemado y las cantidades pequeñas, indican que los depósitos no tienen valor comercial; por este motivo, no se estimó necesario presentar los análisis de las doce muestras.

Depósitos de caolinita de El Secreto (El Congo)

Un cuerpo de anortosita (?) blanca, intensamente caolinizada, ocurre en una pendiente, 500 metros al oriente de la Quebrada el Secreto, a una altura entre 650 y 800 metros (c-4 Plancha I). Tiene una longitud de 500 metros de largo y 200 a 400 de ancho, según Luis Jaramillo. Esta es la más grande de las áreas

de roca caolinizada dentro del neis anortosítico de Río Frío, pero está en una región situada a 3 kilómetros al norte del profundo cañón del mismo nombre, accesible solamente por camino de herradura. Cerca de 300.000 metros cúbicos de caolinita están presentes, suponiendo una profundidad de solo dos metros. Por lo tanto, las reservas son bastante grandes para justificar ensayos que aclaren si un producto adecuado puede obtenerse mediante beneficio. Parece haber poca posibilidad de que el material pueda explotarse sin este proceso. Careciendo de análisis el potencial económico no puede ser evaluado directamente, pero los análisis de arcilla de la parte sur del cuerpo de anortosita original (?), 3 a 5 kilómetros más al sur, sugiere la poca probabilidad de que el valor económico sea importante.

La anortosita original contiene abundante clorita que causa la foliación y alguna sericita. El contenido de Al_2O_3 va de 27.5 a 33% en roca relativamente fresca. El contenido de Fe_2O_3 va de 3 a 4.4%.

La roca caolinizada tiene un contenido de 32.5 a 33% de Al_2O_3 y 1.5 a 3.8% de SO_3 . El hierro y el contenido de SO_3 son probablemente demasiado altos para uso en cerámica porque los ensayos de quemado en otras rocas caolinizadas con menos hierro y azufre quemaron con color marrón oscuro. Por lo tanto, no se dan los datos analíticos detallados de la anortosita o de las arcillas que de ella se derivan.

El contenido de caolinita puede ser de 30 a 40%, a juzgar por las caolinitas del área de Cuatro Caminos-San Pedro. No se observó pirita pero puede estar presente, según lo indica el contenido de SO_3 . Parte del hierro proviene de la clorita y tal vez de la magnetita.

Depósitos de bentonita

La bentonita pura es desconocida en la Sierra Nevada y en las regiones circundantes, pero gran parte del shale yesífero del Mioceno parece ser rico en montmorillonita, a juzgar por las amplias grietas de contracción que se desarrollan durante la estación seca. Ellas pueden alcanzar anchuras de 10 centímetros. Los shales son muy lustrosos cuando húmedos y aparentemente se hinchan mucho. Estas características se observaron en los estratos del Terciario a lo largo de la carretera de Bosconia hacia el campo el Diffcil, sobre la margen occidental del Río Araguañ (c-16).

Estas arcillas son adecuadas para impermeabilizar canales, embalses y tanques de almacenamiento. Podrían también utilizarse para lodos de perforación.

GRAFITO

Se han formado dos tipos de grafito en las rocas metamórficas de la Sierra Nevada. El más común lo constituye material carbonoso, probablemente grafito semicristalino o principalmente amorfo, en ciertos lechos dentro de los esquistos del Eoceno.

Se estima que localmente los estratos de esquistos, de unos 2 metros de grueso, contienen 10 a 15% de material grafitico. Estos estratos son más abundantes en los Esquistos de Gaira y San Lorenzo, particularmente a lo largo de las carreteras entre Minca y la estación Cerro San Lorenzo (c-3) y de la carretera a la Colonia Militar (c-4). El grafito podría ser separado por flotación, pero los costos de la minería requerida, de la trituración y otros, serían prohibitivos. El concentrado de grafito podría utilizarse solamente para pintura y lubricantes, que se surten con grafito sintético importado, que es muy barato.

Localmente el grafito ha sido recristalizado y concentrado en bandas, particularmente a lo largo de los contactos de las venas de cuarzo y los diques de pegmatita, pero aún estos depósitos carecen de valor comercial.

El segundo tipo de depósito contiene grafito en escamas bien cristalizado y es abundante en algunos estratos de las Granulitas del Precámbrico, especialmente en el área de Guamachito, donde las rocas grafiticas están asociadas con otras granulitas de composición no común, que incluyen rocas ricas en granate o magnetita. En las muestras macroscópicas las escamas brillantes de grafito son fácilmente confundidas con hojuelas hexagonales de biotita. Las escamas tienen de 2 a 4 milímetros de diámetro.

El grafito ocurre principalmente en bandas que contienen abundante granate, cuarzo, perita y poca o ninguna plagioclasa y constituyen un porcentaje apreciable en las bandas.

Se conocen bandas ricas en grafito en las Rocas Metamórficas no Diferenciadas del Arco de Sevilla, entre el Plutón de Lata y San Pedro de la Sierra (c-6, Plancha I). Los neises ricos en grafito afloran en varios lugares entre las cabeceras de las quebradas La Cruz y Orihueca. El grafito en esta área ha sido confundido con molibdenita.

MICA

Flogopita, biotita y moscovita, ocurren en la Sierra Nevada, pero no hay depósitos conocidos explotables para cortar o producir láminas de mica.

La moscovita ocurre en pequeños libros hasta de 2 a 5 cm transversales en muchas pegmatitas pequeñas en el Batolito de Santa Marta y en las rocas metamórficas encajantes, hasta una distancia de seis kilómetros del contacto. Diques semejantes son comunes en la pendiente occidental de la Sierra por debajo de la cota de 1.500 metros. Todas las pegmatitas conocidas son demasiado pequeñas para ser explotadas, aunque la mica podría ser un subproducto en la extracción del feldespato. Estas pegmatitas simples no contienen minerales valiosos.

El esquistos biotítico forma bandas de unos pocos metros de espesor, en las Granulitas del Precámbrico, cerca de la confluencia de los ríos Los Mangos y Guatapurí y cerca de Corral de Piedras. Algunas de estas rocas son extremadamente ricas en biotita alterada, que podría ser parcialmente expandible (vermiculita). Es posible que la biotita o vermiculita pueda usarse como un aditivo en el suelo para mejorar la textura y proporcionar potasio, como ha sucedido en Brasil (Agencia para el Desarrollo Internacional, experto agrícola, comunicación oral). Un uso más probable sería para cubrir el papel asfáltico del material para techo.

La flogopita se ha formado solamente en mármoles con silicato de calcio, dentro de la serie de la granulita. En ninguna parte es abundante.

SILICE

Las venas de cuarzo, como la de la Hacienda La Carmela, a 9 kilómetros de Santa Marta, son demasiado pequeñas para explotarse.

YESO

El yeso de la barra litoral de Pueblo Viejo, justamente al oeste de Ciénaga (Wokittel, 1960, p. 256), consiste en unos pocos cristales de selenita diseminados y capitas menores de pocos centímetros de espesor. Muchos de los estratos del Mioceno que circundan los bordes sur y occidental de las montañas, son arcillas yesíferas sin valor.

El yeso de la Formación Aguas Blancas del áreas de Cerejón no tiene valor económico. Posiblemente una pequeña cantidad podría obtenerse a mano de las ventillas de unos pocos centímetros de espesor, si se estableciera en la cercana una fábrica de cemento.

MAGNESITA

Un pequeño depósito no económico de magnesita mencionado por Wokittel (1960, p. 263) cerca de Santa Marta, no fue confirmado.

RECURSOS MINERALES METALICOS

MINERALES DE HIERRO, TITANIO Y APATITO

En la Sierra Nevada hay varios pequeños depósitos de magnetita y magnetita titanífera; rocas bandeadas con apatito-ilmenita y algunas capas delgadas de rocas metamórficas que son ricas en magnetita o ilmenita y comunmente, apatito. Aunque ninguno de estos depósitos ha resultado con valor económico inmediato algunos sí pueden constituirlo en el futuro. Las descripciones que siguen pueden proporcionar guías para la exploración cuando mejore la accesibilidad y se disponga de mercados.

Los depósitos más prometedores están en los Neises Anortosíticos del Precámbrico o estrechamente asociadas con ellos. En el mapa geológico (Plancha I) se distinguen tres variedades de neises anortosíticos. Estos forman un cinturón discontinuo de dirección noreste mal definido. Quizás existen otras ocurrencias además de las conocidas, toda vez que el área es desconocida por ser inaccesible.

Depósitos de ilmenita-apatito de la Quebrada El Hierro

Geología. - Venas, diques y cantos de roca bandeada con ilmenita-apatito se han hallado en la hoya de la Quebrada El Hierro (e-3, Plancha I), al sur del Río Don Diego Chiquito, que es el principal tributario del Río Don Diego. Los depósitos están en y cerca de una anortosita néisica, justamente al sur del Plutón de Buritaca (figura 4.).

Las venas de ilmenita casi pura o de ilmenita y apatito y diques de rocas máficas ricas en estos minerales intruyen la masa de anortosita, que contiene magnetita de grano grueso como mineral accesorio intersticial. Las venas conocidas de ilmenita, tienen menos de dos metros de ancho y limitado valor económico. Los diques máficos, ricas en apatito e ilmenita o magnetita, no son interesantes económicamente. Los diques y venas están probablemente relacionados a la rara roca bimineral bandeada con apatito e ilmenita que se describe a continuación. Solamente la roca bandeada puede considerarse como un recurso económico potencial importante.

La roca bandeada consiste de muchas capas paralelas alternantes ricas en ilmenita y apatito, de unos pocos centímetros de espesor. Esta roca corresponde a bloques esparcidos, con excepción de un posible afloramiento. Los bloques más grandes, de unos 2 metros de grueso, contienen cerca de 40 capas paralelas y alternantes de apatito e ilmenita, que deben haberse formado por separación por gravedad de una masa de magma mineralizado, con apariencia de estrato. La textura indica que la ilmenita cristalizó en granos grandes encerrando los granos de apatito en granos anhedros a subhedros.

El único posible afloramiento de roca bandeada con apatito e ilmenita, fue un bloque grande semisepultado de unos 4 metros de grueso cercano a una vena (IMN 1271, figura 4), pero puede tratarse también de un rodado.

Una roca plagioclásica (oligoclasita ?) intrusiva (?) de grano medio y color blanco aflora unos 100 metros quebrada arriba, pero su forma, tamaño y edad son desconocidos. La roca bandeada puede estar genéticamente relacionada con esta oligoclasita.

Datos analíticos.- La roca bandeada contiene en porcentajes: 30.9 a 33.9 de hierro total como Fe_2O_3 ; 19.7 a 20.9 de P_2O_5 y 19.2 a 19.7 de TiO_2 . Las bandas oscuras y claras aparecen iguales en todo el espesor. Solamente el apatito y la ilmenita están presentes. Estos minerales pueden ocurrir en cualquier proporción en los estratos individuales, pero en conjunto se presentan en cantidades volumétricas casi iguales.

El análisis espectrográfico semicuantitativo de la roca bandeada, ejecutado por Nancy M. Conklin (U.S. Geological Survey, 1967, comunicación escrita), mostró 0.1 a 0.7% de magnesio, silicio, aluminio, manganeso, cerio y cantidades más pequeñas de otras tierras raras. Un concentrado de apatito mostró 0.2% de Fe y Mg. Casi todas las tierras raras están contenidas en el apatito.

Dos muestras de diques fueron estudiadas en secciones delgadas. Ambas contienen un 20% de oligoclasa; la variación de la composición es 10-25% de piroxeno; 10-25% de anfíbol uralítico y 10-20% de apatito. Una muestra (IMN 1269) contiene 3% de magnetita (?), 3% de esfena y 5% de sulfuros; otra muestra del mismo dique reveló 4.65% de Fe_2O_3 ; 2.01% de P_2O_5 ; y 1.03% de TiO_2 . La

otra muestra (IMN 1270) contiene 15% de ilmenita, 2% de sulfuros, un poco de ortopiroxeno y biotita y menos anfíbol.

Una vena (IMN 1271) mostró 33.2% de Fe_2O_3 , casi lo mismo que la roca bandeada; 11% de TiO_2 y 6% de P_2O_5 . El contenido de titanio y en especial de óxido fosfórico, son considerablemente menores que en la roca bandeada.

Potencial económico. -En cantidades suficientemente grandes, la roca bandeada sería un recurso valioso porque técnicamente es factible producir dos concentrados comerciales: uno de apatito y otro de ilmenita. La forma bandeada haría la exploración relativamente fácil si la roca pudiera hallarse en afloramiento. Espesores entre 2 y 4 metros pueden presumirse de los bloques dispersos o de los probables afloramientos y habría reservas posibles de 3.200.000 a 16.400.000 toneladas métricas por kilómetro cuadrado, usando una gravedad específica de 4.1. Así, el tamaño potencial del prospecto justificó la exploración inicial, pero las reservas son muy inciertas. La tupida vegetación y la falta de vías de acceso dificultan una exploración detallada. Los levantamientos aeromagnéticos probablemente no tendrían éxito, porque el alto contenido de magnetita de muchas de las rocas metamórficas, produciría anomalías semejantes a las de la roca bandeada.

La presencia de guijos de roca bandeada en un aluvión no consolidado localizado a 0.7 kilómetros al sur de la Quebrada del Hierro, sugiere una fuente lejana para estos guijos. Este aluvión está presente en remanentes disectados de una antigua superficie de erosión, a ambos lados de una pequeña quebrada que corta las rocas metamórficas infrayacentes. El aluvión contiene cantos bien redondeados de roca bandeada que llegan hasta 20 centímetros de diámetro. La terraza está encima de la anortosita.

Si la roca bandeada con apatito-ilmenita hace parte de aluviones que se depositaron durante un ciclo de erosión anterior habrá que buscar la fuente lejana. Una posible fuente lejana puede ser la granulitas del Precámbrico de la parte central de la Sierra Nevada, donde rocas metamórficas no bandeadas muy ricas en apatito y magnetita fueron halladas por Gansser (1955). Sin embargo, es más probable una relación genética entre la mena bandeada y la anortosita, las venas, los diques y la oligoclasita intrusiva (?).

Posiblemente otros depósitos se hallarán en áreas de

rocas metamórficas en la región circundante, particularmente cerca de las anortositas, las cuales pudieron tener una distribución más amplia que la indicada en el mapa. Numerosas unidades litoestratigráficas no se identificaron en las fotografías aéreas, incluyendo una probable vena o dique que se muestra en blanco cerca del extremo sur de la figura 4. Existen informaciones no confirmadas de depósitos de hierro (?) distintos a la roca bandeada del Batolito Central a unos 30 kilómetros de la costa y también al oriente de la figura 4. Se han presentado por lo menos 12 solicitudes para concesiones de hierro. Se justifica una exploración adicional ya que depósitos económicos pueden todavía encontrarse.

Rocas metamórficas ricas en ilmenita, magnetita o apatito

Capas de Neises del Precámbrico que son excepcionalmente ricas en ilmenita, magnetita o apatito, se han hallado en cuatro áreas de la Sierra Nevada. Dos localidades fueron mencionadas por Gansser (1955) en la parte alta central y glaciada de la Sierra Nevada. Granulitas ricas en magnetita se encontraron en el área de Guamachito sobre el extremo occidental de la masa montañosa. Neises ricos en magnetita o ilmenita y apatito fueron hallados por Mc Donald (1969, comunicación escrita) cerca del cuerpo de anortosita de Niyula, al oeste del Río Don Diego (e-4).

Estas rocas no tienen valor económico en la actualidad pero es posible que puedan encontrarse depósitos de mayor espesor o más ricos. Por lo tanto, se da sólo una breve descripción.

Las capas delgadas de granulitas ultramáficas que son muy ricas en magnetita (o ilmenita ?) y apatito fueron halladas por Gansser en granulitas máficas sobre el flanco oeste-noroeste del pico El Guardián y también al oeste de los afloramientos del Paleozoico de la región de Chundúa. Una roca del área de El Guardián contiene 65% de magnetita (o ilmenita), 20-25% de apatito, un poco de hornblenda, olivino y como accesorios, esfena, epidota y biotita. Algunas rocas también contienen plagioclasa. La roca cerca de El Guardián es muy similar a las rocas con apatito-ilmenita de la Quebrada del Hierro, excepto que no presenta bandeamiento.

En la región de Chundúa algunas capas de piroxenita de la serie metamórfica del Precámbrico, son ricas en magnetita o ilmenita, pero apatito está casi siempre ausente. El esquema de Gansser de una sección delgada indica un 30% de óxidos opacos, más

otro 15% de esfena, que envuelve la ilmenita (?).

La muestra 292 de Mac Donald (1967, p. 44) fue descrita como una granulita ilmenita-hornblenda que contiene 40% de hornblenda, 25% de ilmenita (?) y 30% de cuarzo (?). El feldespato y la mica están ausentes. El cuarzo bien pudiera ser apatito, teniendo en cuenta la cercanía de la anortosita y la ausencia notable de feldespato.

Las granulitas ricas en magnetita o ilmenita del área de Guamachito, están asociadas con granulitas ricas en granate. Algunas de estas rocas, contienen hasta 20 o 30% de magnetita.

Magnetita de Mocoa (Espíritu Santo)

El depósito coluvial de magnetita de Mocoa está en la cuchilla entre las Quebradas Mollete y Espíritu Santo, cerca de las cabeceras de la Quebrada Seca. Está dentro del neis anortosítico en la carretera Sevilla-Mocoa. La localización está indicada en el mapa geológico (c-7 Plancha I) por el prospecto de hierro con coordenadas 1.000.000 W y 1.680.000 N.

El yacimiento está formado de bloques angulares sueltos de magnetita encerrados por arcilla roja. Los más grandes tienen un metro de diámetro. El depósito primario no aflora, ni fue encontrado en trincheras y apiques excavados en 1943. Con todo, el tamaño y la angularidad de los bloques de magnetita indican que ésta debe encontrarse in situ en la vecindad.

El mineral consiste enteramente de magnetita cristalina de grano grueso, que contiene espinelade grano fino e ilmenita (?) exsolucionadas a lo largo de los planos cristalográficos, lo que causa notorio clivaje octahédrico. Bellos cristales octahédricos y fragmentos con clivaje son comunes. El mineral, probablemente, es de origen magmático formado a temperatura alta.

El estudio microscópico de Fricke y otros (1960, pp 100-105) mostró que la magnetita fue parcialmente transformada a hematita (martita) a lo largo de las fracturas octahédricas. Las láminas de ilmenita contienen granos muy finos de espinelaalumínica y escamas de hematita. La espinela es muy abundante, a juzgar por el alto contenido de alúmina de los análisis.

El contenido de hierro varía de 59.3 a 61.7% en tres análisis; la alúmina es como de 13.0% (Fricke, 1960) y el residuo insoluble de 11.7%; titanio es de 1.4 a 1.5%; el MgO de 0.19% y el SiO₂ es solamente 0.23%. Trazas de cromo, de fósforo, níquel, plomo, vanadio, cobalto, galio, cobre, zirconio, germanio, molibdeno y antimonio, fueron detectadas espectrográficamente (Fricke 1960).

El yacimiento fue explorado en 1943 por el ingeniero Vicente Mutis (1945, pp. 414-432). Fueron excavados trincheras y apiques sobre una redícula de 25 metros y muestreados. La parte del yacimiento que contiene más de 100 kilos por metro cúbico mide 250 por 275 metros. Esta área irregular incluye siete concentraciones pequeñas que contienen más de 500 Kg por metro cúbico.

El área con cantos sueltos de magnetita tiene una forma irregular, que sugiere una serie de veticas o estovercas más bien que una vena sencilla. La arcilla roja que encierra la magnetita puede ser producto de alteración de la roca mineralizada, porque la anortosita alterada es blanca.

La reserva total es pequeña, porque el depósito primario no se descubrió. Mutis estimó que 8.000 toneladas de magnetita podrían ser recuperadas de material que tiene un tenor promedio de 270 kilos por metro cúbico. El depósito tiene poco valor económico aparente a causa de su pequeño tamaño y contenido relativamente alto de titanio.

Depósitos aluviales o coluviales semejantes pero mucho más pequeños y cantos de ilmenita o magnetita diseminados, están ampliamente distribuidos entre este yacimiento y el Río Tucurínca, pero no se encontró in situ. Las posibilidades económicas de los depósitos conocidos son pequeñas, pero otros yacimientos pequeños podrían todavía encontrarse. Magnetita (o ilmenita) se ha hallado en pequeñas cantidades en las quebradas Hobo, Cristo, Patagonia, Flojera y Hierro (Reymond, 1945, p. 411) y en la Quebrada Mollete. Reymond, (1942, informe No. 294, inédito) menciona que la magnetita de "Torrente de Cristo" contiene 54% de Fe y 0.33% de Ti. Wokittel (1960, p. 162) menciona ilmenita con más de 25% de TiO₂ en un lugar al sur de Sevilla.

Depósitos de magnetita de La Reina

Gansser (1955) mencionó la presencia de magnetita sobre

el flanco oeste-noroeste del pico La Reina, en el borde sur del glaciar. No se visitaron estos sitios que aparecen indicados (f. 7 Plancha I).

El yacimiento más grande de magnetita está a una altura de 5.100 metros cerca del Pico de Ojeda en el contacto entre el Batolito Central y el pórfido granfítico del Pico de La Reina. Consiste en magnetita maciza, la cual parece haber reemplazado bandas originales de hematita. Una parte del depósito está cubierta por glaciares.

Depósito de Magnetita de La Socola

Cantos angulares hasta de 50 centímetros de diámetro de magnetita pura, se encuentran cerca de la carretera al norte de La Socola (i-9 Plancha I), en las rocas volcánicas alteradas, cercanas al contacto occidental de un afloramiento granfítico.

Arenas negras de playa

Las arenas de playa con ilmenita o magnetita son comunes desde Ciénaga hacia el oeste, hasta Galerazamba. El valor comercial de las arenas entre Barranquilla y Ciénaga es muy limitado.

Las arenas negras de Puerto Colombia contienen hasta 50% de minerales pesados; se forman estacionalmente sobre las amplias playas comprendidas entre Puerto Colombia y Barranquilla, por la acción de las olas durante la estación de las brisas. Estas capas estacionales tienen hasta 25 centímetros de espesor. Los minerales negros son presumiblemente magnetita porque son fuertemente magnéticos, pero el contenido de titanio pudiera ser demasiado alto para usarlos como minerales de hierro.

Arenas semejantes portadoras de ilmenita (?) ocurren localmente en las pequeñas playas de las protegidas ensenadas al oriente de Santa Marta y a lo largo del flanco norte de la Sierra Nevada, pero el contenido de los minerales negros parece ser más bajo que en Puerto Colombia.

La fuente de ilmenita en las arenas negras cercanas a la Sierra Nevada la constituyen rocas metamórficas, a juzgar por las cantidades relativamente altas de titanio indicadas por los aná-

lisis espectrográficos semicuantitativos de 8 a 19 muestras. Cuatro muestras (IMN 777, 778, 786 y 780) indicaron entre 1 y 3% de titanio y otras cuatro, cerca de 0.7%. Las muestras con mayor cantidad de titanio son también más ricas en hierro, el cual excedió al titanio por un factor generalmente entre 5 y 7.

El titanio ocurre principalmente en óxidos opacos de titanio-hierro y en esfena, pero gran parte del hierro en estas rocas está en forma de silicatos y sulfuros, como lo indican las muestras ricas en hierro y pobres en titanio. Estas últimas incluyen una cuarzo diorita mineralizada con sulfuros (IMN 701); una peridota (IMN 781) con cerca de 10% de hierro, 0.7% de cromo, 0.3% de níquel y aparentemente ningún titanio; y una granulita cuarzo granatífera (IMN 785) con más de 10% de hierro y manganeso, principalmente en el granate.

Algunas de las rocas metamórficas más ricas en titanio discutidas en los párrafos anteriores han contribuido también a las arenas de playa.

COBRE

Las concentraciones locales de minerales de cobre observadas en tres unidades de los lechos rojos del Mesozóico, no justifican estudio detallado. La mayoría de los depósitos conocidos ha recibido ya considerable atención a causa de la errónea comparación con depósitos de pórfido de cobre y sugerencias de enriquecimiento supergénico apreciable, a pesar de la falta de "sombbrero de hierro" (Gossan) que pudiera indicar una zona lixiviada de sulfuros de cobre. Las evaluaciones económicas irreales del pasado se basaron en estas ideas. Por lo tanto, la descripción de los depósitos está limitada a un breve resumen de aquellos presentes en el área cartografiada, compilado principalmente de los informes que se mencionan a continuación. Los minerales de cobre se observaron en 22 sitios, los cuales se indican por símbolos de prospectos y el símbolo Cu en la Plancha I.

Se pueden consultar los informes de Wokittel (1957, pp. 60 - 67) y a investigadores más recientes para descripciones más detalladas, mapas esquemáticos y datos analíticos. El primer estudio de Wokittel fue seguido por estudios más detallados; de una misión alemana (Fricke y otros, 1960, informe inédito) del Servicio Geológico Nacional (Champetier y otros, 1963) y de una misión japonesa

(Horikoshi y otros, 1965 y 1966, informe inédito). Pagnaco (1962, pp. 5-13) publicó una breve descripción de la mineralogía del cobre, la cual parece complementar el informe de Champetier y otros. Una parte de este último, fue publicada por Radelli en 1962 en Geología Colombiana.

Depósitos en los lechos rojos

Descripción. - Pequeñas concentraciones de minerales de cobre en gran parte oxidados, están dispersas a lo largo del flanco occidental de la Serranía de Perijá en una distancia de 140 kilómetros, desde San Diego hasta casi la Falla de Oca. La mayor parte de esta franja se encuentra fuera del área cartografiada. Dentro de estas concentraciones se presentan (1) entre San Diego y Media Luna y (2) entre Urumita y Los Portales, sobre el extremo centro oriental de la Plancha I. Manifestaciones semejantes ocurren en el borde meridional de la Sierra Nevada. Muchas de éstas se indican en la Plancha I.

Las manifestaciones se presentan en lechos rojos que corresponden en edad desde el Triásico (Formación Guatapurí) al Cretáceo Inferior (Formación Los Portales), en rocas volcánicas andesíticas, basálticas o espilíticas intercaladas o en pequeños cuerpos intrusivos hipoabisales y son de tres tipos: (1) lentes y venitas de roca cuarzo epidótica con minerales de cobre; (2) Minerales oxidados de cobre diseminados en lechos rojos; y (3) Minerales oxidados de cobre en venas hidrotermales de cuarzo brechado (El Rincón).

La mayor parte de las manifestaciones del cobre del área de San Diego son pequeñas venas asociadas con cuarzo y epidota en rocas gábricas, andesíticas, espilíticas o en los lechos rojos. Las venas entre Urumita y Los Portales son similares y el cobre está diseminado en los lechos rojos. El mapa geológico (Plancha I) no muestra todos los depósitos debido a la escala pequeña. La localización de 8 prospectos en el área de Urumita se indica en un mapa de Horikoshi y otros (1966).

La mineralogía es sencilla y varía principalmente en la proporción de minerales oxidados de cobre y sulfuros. Entre los sulfuros, la calcocita reemplaza la bornita y la covelita reemplaza la calcocita. Los sulfuros disminuyen en abundancia hacia el norte y son generalmente raros en la región al norte de Urumita. Los minerales predominantes son malaquita, azurita, crisocola, cuprita

y cobre nativo.

Todas las manifestaciones nombradas, están asociadas con cuarzo-epidota, menos la de El Rincón. Las venas son generalmente muy pequeñas y se presentan tanto en las rocas ígneas como en las sedimentarias. Las venas se formaron aparentemente en pequeñas fracturas por fluidos deutéricos o residuales provenientes de las rocas ígneas. Esto está claramente indicado por la zona mineralizada en la arenisca roja que infrayace un flujo (?) volcánico andesítico en el prospecto de Oveja (Horikoshi y otros, 1966, p. 28). La zona mineralizada tiene unos 20 metros de espesor, cerca de 400 de longitud, pero es de muy baja concentración (menos de 0.05% de cobre) a causa de que está formada por venitas esparcidas de varios metros de largo y menos de 20 o 30 centímetros de ancho. Las venitas no constituyen más del 5% de la zona mineralizada, raras veces contienen más de 1% de cobre y localmente pueden alcanzar hasta 4 o 5%.

Las venas de cuarzo y epidota y los minerales de cobre se formaron a temperaturas relativamente altas. Están relacionadas con la alteración final magmática o deutérica de las rocas hipoabisales y volcánicas. Muchas de las rocas volcánicas y algunas de las intrusivas hipoabisales, son espilitas rojizas en las cuales los minerales máficos primarios han sido reemplazados por secundarios. Esta alteración pudo haber liberado el cobre que estuvo contenido en los minerales máficos primarios, permitiendo su redepositación en las venas que rellenan las grietas de enfriamiento.

Poco importa si el magma fue suficientemente acuoso para ser completamente alterado en una etapa final de cristalización o si las rocas máficas, fueron extruídas o intruídas en agua o en sedimentos saturados con ésta. La relativa escasez de sulfuros, especialmente los ricos en azufre y la abundancia de hematita en vez de pirita, comprueban su origen y explica el tamaño pequeño de las venas. Los fluidos mineralizantes fueron relativamente oxidantes, como lo indican la abundancia de hematitas y de minerales de óxido y carbonatos de cobre. Parte del fluido mineralizante residual escapó hacia la roca sedimentaria encajante y a las pequeñas fracturas.

Las venas de cuarzo-epidota con cobre, representan así un tipo peculiar de depósito magmático final o hidrotermal. Por lo tanto, los sulfuros son primarios an cuando la calcocita es frecuentemente supergénica en muchos depósitos.

Los fluidos mineralizantes fueron demasiado pobres en azufre para formar piritita y calcopiritita y el ambiente, fue demasiado oxidante para permitir que se formaran sulfuros de hierro o sulfuros mixtos de hierro y cobre, con excepción de algo de bornita.

Potencial Económico. - La única concentración con algún valor económico es la de El Rincón, descubierta por la misión japonesa en 1966. No se excluye la posibilidad de hallar depósitos económicos de cobre en el interior de la Serranía de Perijá, que es poco conocida geológicamente.

Prospecto de cobre El Rincón

Este depósito fue descrito por Horikoshi y otros (1966). Una diez vetas entre 0.15 y 3.0 metros de anchura, forman una zona mineralizada de unos 400 metros de longitud cerca de la Falla de San José (i-13, Plancha I). Las vetas forman cuatro grupos escalonados con 100 a 150 metros de largo cada grupo, tienen rumbo N 45-80 W, buzan 70°-80° SW y contienen cuarzo brechado impregnado de malaquita y crisocola. Ningún sulfuro está presente.

Las vetas más anchas, hasta de 2 a 3 metros, contienen entre 1.15 y 1.39 por ciento de cobre y 36 a 49 g/t de plata. La concentración aumenta ligeramente hacia abajo. La misión japonesa estimó una composición promedia de 40 g/t de plata y 1.40% de Cu, del cual 1.30% es soluble en ácido.

Las reservas del mineral como óxido fueron estimadas en 42.687 toneladas hasta una profundidad de 30 metros, pero los japoneses esperan que el mineral primario de sulfuros esté presente a mayores profundidades, en parte a causa del alto contenido de plata. Ellos concluyeron que posiblemente reservas por 150.000 toneladas pudieran hallarse hasta una profundidad de 100 metros y sugirieron la exploración para comprobar esta posibilidad.

ORO

No se conoce ningún depósito aluvial o de filón de alguna importancia en la Sierra Nevada.

Se ha mencionado la existencia de oro en los ríos Buritaca, Córdoba, Sevilla, Tucurínca, Dibulla, Don Diego y Palomino (Plancha I) y en las quebradas Palencio y Achiote. Estas informaciones se basan en documentos coloniales citados por Restrepo en 1884 (ed. 1937, pp. 201-202) y otros. No se sabe cuanto oro fue explotado.

La ocurrencia de oro aluvial en los valles de los ríos a lo largo de la vertiente occidental, fue confirmada, mediante el mazarro, por 750 personas que quedaron desocupadas a causa de la interrupción en la industria del banano por la Segunda Guerra Mundial. Reymond (1942, pp. 424-425) mencionó que la cantidad promedio recuperada en el mazarro de un día fue solamente 0.8 g de oro de 900 de ley, pero algunos bolsones ricos dieron hasta 1 kilo de oro. Anotó que todos los ríos del flanco occidental de la Sierra Nevada, particularmente entre Río Frío y Río Fundación, contienen oro.

Restrepo y Reymond están de acuerdo en que el oro fue explotado cerca del pueblo de Sevilla. Restrepo describió artefactos de oro que pesaron entre 4 y 9.5 libras, los cuales fueron hallados cerca de donde el oro fino fue extraído por baraqueros. Estimó que la producción total de oro del Magdalena (incluyendo el Cesar) fue de 1.000.000 de pesos hasta 1890.

OTROS MINERALES METALICOS

Los depósitos de manganeso mencionados por Reymond (1942) y publicados nuevamente en la compilación de Wokittel (1960 p. 141), carecen de significación económica. Su existencia es dudosa porque posiblemente confundió el grafito con piralusita.

El molibdeno mencionado por Wokittel en el área de Aracataca probablemente es grafito. Unos pocos granos de molibdeno fueron observados en un granito rosado (IMN 432) de la Quebrada San Pedrito (f-12, Plancha I), en las cabeceras de la Quebrada Santa Tirsa. El análisis químico indicó que la roca contiene 0.06% de molibdeno. Unas pocas partes por millón (p. p. m.) de molibdeno fueron detectadas en 2 de 17 muestras mediante análisis espectrográficos semicuantitativos. Una de éstas, es anfibolita que contiene unas 30 ppm. de molibdeno.

No se sabe si el tungsteno ocurre en la Sierra Nevada, aunque muchas rocas ígneas y calco-silicatadas fueron investigadas para scheelita con lámpara ultravioleta. Unas pocas manchitas casi microscópicas en algunas rocas calcosilicatadas dieron la fluorescencia típica de la scheelita y otros granos diminutos dieron la fluorescencia del uranio, pero ningún elemento fue detectado por los análisis espectrográficos de 17 muestras.

Una peridotita parcialmente alterada a talco y tremolita contiene 0.7% de cromo y 0.3% de níquel. Esto es normal para rocas ricas en magnesio y hierro y no tiene significación económica.

Los minerales de uranio y torio están ausentes en la Sierra Nevada, con excepción de las trazas que ocurren normalmente en las rocas ígneas y metamórficas. Un reconocimiento radiométrico hecho en 1956 por el Dr. Jaime López (Servicio Geológico Nacional, informe 1158, inédito) entre Valledupar, San Sebastián y Pueblo Bello, no reveló ninguna radiación normal que no fuera consistente con la litología local. Las capas de granulita cuarzo perfitica ricas en potasio, intercaladas en el esquisto biotítico a lo largo del Río Los Mangos, tuvieron niveles de radiación de 6 a 8 veces el normal, que es hasta de 0.1 mr/hora, pero los análisis químicos no revelaron uranio. Estos altos niveles son normales para rocas graníticas ricas en potasio que tienen muy bajo contenido de calcio y magnesio. Igualmente un alto nivel fue hallado localmente en rocas similares durante reconocimientos con cintilómetro durante el desarrollo de este programa, pero ninguna importancia económica puede darse a tales lecturas. La radiación alta es particularmente típica del granito rosado y en especial de los granitos granofílicos de grano fino del Batolito de Patillal.

La escasez de depósitos metálicos valiosos, particularmente de sulfuros de los metales básicos comunes o preciosos, es sorprendente en vista de la abundancia de rocas plutónicas de edades diferentes, algunas de las cuales fueron intrudidas superficialmente, como lo indican las volcánicas ignimbríticas contemporáneas. La compleja estructura, en especial de las alineaciones mayores, debieron proporcionar conductos adecuados para las soluciones ascendentes derivadas de los tres orógenos independientes o de los plutones mayores de las cinco edades, a no ser que el fallamiento principal fuera invariablemente pre-intrusivo y que hubiera poco o ningún fallamiento durante la etapa hidrotermal.

La ausencia de depósitos de sulfuros de metales básicos en las granulitas del Precámbrico es normal, porque éstas se formaron a temperaturas y presiones muy altas en los niveles más profundos de la corteza y pueden ser polimetamórficas. Los sulfuros comunes portadores de metales hubieran sido expulsados verticalmente de ellas desde entonces. Esto no se aplica a las otras rocas de grado metamórfico más bajo, como el mármol que reaccionan favorablemente. Los sulfuros diseminados son comunes en

los esquistos y neises del Arco de Sevilla y del Orógeno del Eoceno, pero no se produjo concentración de importancia adecuada. Las rocas plutónicas son notablemente estériles y las vetas con sulfuros son muy escasas.

La ausencia de sulfuros diseminados y de depósitos de sulfuros relacionados con los batolitos, puede significar que los magmas, por alguna razón, fueron extremadamente pobres en metales. Aparentemente la región es una provincia estéril.

SUGERENCIAS PARA EXPLORACIONES FUTURAS

Se concluye que la Sierra Nevada no es favorable para el hallazgo de depósitos importantes de sulfuros y solamente se justifica una limitada exploración cuando se disponga de adecuadas facilidades de laboratorio. Ningún trabajo adicional debería hacerse sin un laboratorio geoquímico y un espectrógrafo para analizar las trazas de los metales comunes. Una vez se disponga de estas facilidades y se hayan estudiado áreas más favorables, es recomendable un programa limitado de prospección geoquímica.

La primera etapa del programa de prospección consistiría en el muestreo sistemático de sedimentos activos en las corrientes que drenan la Sierra Nevada. Deberían hacerse determinaciones geoquímicas rápidas para cobre, zinc y plomo en las corrientes principales con el fin de establecer los contenidos normales. Cualquier anomalía significativa debería seguirse aguas arriba hasta su fuente en la cuenca de drenaje. Los sulfuros no permanecen mucho en la superficie en climas húmedos y calientes y los depósitos formados por segregación metamórfica, generalmente tienen pocas señales superficiales visibles. Los depósitos de filón son improbables en las áreas cartografiadas, pero los de sulfuros ocultos, pudieran ocurrir en la provincia del Arco de Sevilla y en las áreas de alteración hidrotermal situadas al sureste de la franja suroriental de batolitos, particularmente al oeste de Valledupar. Para tales depósitos el mejor método es el muestreo del agua, en especial, en áreas húmedas con vegetación densa.

Se considera que los batolitos son más favorables que las rocas hipoabisales y volcánicas. Las rocas metamórficas jóvenes son más favorables que las granulitas del Precámbrico, en particular en el Arco de Sevilla. Los lechos rojos son claramente desfavorables. Las calizas del Cretáceo son desfavorables debido a que

son más jóvenes que la mayor parte de la actividad ígnea en las regiones donde ocurren. Las calizas del Paleozóico se consideran favorables porque son más antiguas que todas las rocas ígneas. La formación Corual y las rocas hipoabisales altamente alteradas que la intruyen (?) al oriente de la Falla de Tierra Nueva, se consideran favorables, aunque las calizas estén ausentes.

RECURSOS DE AGUAS SUBTERRANEAS

La evaluación del potencial de agua subterránea es importante, en razón de las grandes áreas de tierra fértil y semiárida, no desarrolladas o parcialmente desarrolladas alrededor de las margenes de la Sierra Nevada, en especial en los valles del Cesar y del Ranchería, donde nuevas y productivas industrias de arroz y algodón se podrían ensanchar al disponer de agua para riego. Algunas áreas específicas están siendo o han sido investigadas por otras entidades y los recursos de agua subterránea, han sido ya parcialmente desarrollados en el área de Codazzi para cultivar algodón y arroz. Una investigación del potencial de agua subterránea en las áreas secas del Valle del Ranchería y en las tierras bajas de la Falla de Oca cercanas a Cuestecita, sería recomendable.

Valle del Ranchería

El potencial hidráulico del área entre San Juan del Cesar y la Falla de Oca, parece ser bueno en relación con las rocas del Cretáceo y del Eoceno. Las calizas del Cretáceo y del Paleoceno ofrecen posibilidades artesianas porque las pendientes estructurales a lo largo del lado occidental del valle, conducirían toda el agua subterránea hacia la parte baja. Muy buenos suelos pueden esperarse en las áreas calcáreas y en las pendientes adyacentes del valle.

Las unidades más prometedoras son: el Grupo Cogollo, la Formación La Luna y La Formación Hato Nuevo. Las posibilidades de estas rocas sobre el lado oriental del valle son inciertas porque la estructura es desconocida.

Los plegamientos en las rocas del Paleoceno y del Eoceno, sugieren la posibilidad de agua artesisana local sobre los flancos de los anticlinales en el área de Papayal.

Los estratosclásticos más gruesos en la sección del Eoceno, ofrecen buenas posibilidades. El potencial de agua subterránea de las rocas del Cuaternario, probablemente no es muy grande sobre el lado occidental del valle, pero puede mejorar a lo largo del frente de la Serranía de Perijá.

Valle del Cesar

Las unidades más promisorias son: La Formación La Luna y la arenisca o el conglomerado de la base del Grupo Cogollo. El potencial hidráulico subterráneo de la Formación Guatapurí es probablemente pequeño a causa de la baja permeabilidad, pero los conglomerados locales de la parte superior, pueden ser buenos acuíferos.

El potencial hidráulico subterráneo del borde occidental del valle, en el área de Los Venados, es suficientemente promisorio para emprender un estudio a lo largo de una faja de 5 kilómetros de anchura y paralela al afloramiento del Cretáceo; más hacia el sudeste, los acuíferos potenciales están ocultos debajo de gran cantidad de shale de la Formación Umir.

Aún, si el movimiento del agua subterránea llegara a ser interrumpido por la Falla de Cesarito, las rocas del Cretáceo al noroeste de ella, podrían contener agua en cantidad explotable a lo largo del rumbo.

Las posibilidades de agua subterránea en la parte central del valle del Cesar están limitadas al Plioceno y al Cuaternario porque las rocas favorables del Cretáceo, de buzamiento hacia el este, han sido erodadas a lo largo de todo el Río Cesar. Localmente estas rocas pueden tener potencial limitado.

El potencial de agua subterránea del Cuaternario al oriente de la Falla de Media Luna, ha sido estudiado ya (López, 1958 informe 1289, inédito) y en parte desarrollado. Cuatro pozos de prueba fueron perforados por el Servicio Geológico Nacional en 1958 (informe 1311, inédito).

REFERENCIAS CITADAS

- Bueno, Jesús A., 1957, Yacimientos de caliza cristalina en Ciénaga, Departamento Magdalena: Servicio Geol. Nal. (Colombia), Informe 1225, 10 p.
- Champetier de Ribes, G., Pagnacco, P. F., Radelli, L., and Weecksteen, G., 1963, Geología y mineralizaciones cupríferas de la Serranía de Perijá, entre Becerril y Villanueva: Servicio Geol. Nal. (Colombia). Bol. Geol., v. 11, No. 1-3, p. 133-188.
- Fricke, W., Grebe, W. H., and van den Boon, G., 1960, Investigaciones de yacimientos minerales en Colombia: Bundesanstalt für Bodenforschung, Servicio Geol. Nal. Informe 1399.
- Gansser, August, 1955, Ein Beitrag zur Geologie und Petrographie der Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien, Sudamerika), (Contribución a la Geología y Petrografía de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia, Suramérica) traducido al español por F. Cediél, 1966: Schwizer Mineralog. w. Petrog. Mitt., v. 35, No. 2, p. 209-279.
- Horikoshi, Y., and others, 1965, Investigation of ore deposits in Colombia, first report of the Overseas Technical Cooperation Agency of Japan, to the Colombian Government, p. 1-75.
- _____, 1966, Second investigation of ore deposits in Colombia: second report of the Overseas Technical Cooperation Agency, Government of Japan, to the Colombian Government, p. 1-55.
- Hurley, P. M., and MacDonald, W. D., 1967, Gneisses of possible Precambrian age from the Guajira Peninsula in northern Colombia, in U. S. Atomic Energy Comm. Fifteenth Ann. Progress Rept., 1967, Contract. At (30-1) - 1381, in complete. Massachusetts Inst. Technology, p. 43-46.
- López Casas, Jaime, 1958, Informe preliminar sobre la irrigación con agua subterránea del Municipio de Codazzi, Departamento Magdalena: Servicio Geol. Nal. (Colombia). Bol., Geol. Vol. IX, No. 1-3, p. 47-78, 1960.

- López, Jaime y Barrientos, Javier, 1958, Perforaciones iniciales de ensayo en Codazzi, Departamento Magdalena: Servicio Geol. Nal. (Colombia) Informe 1311, 30 p.
- Mutis, Vicente, 1945, Yacimientos de hierro del Espfritu Santo en Sevilla, Departamento del Magdalena, en *Compilación de Estudios Geológicos Oficiales en Colombia: Servicio Geol. Nal.*, v. 6, p. 415-432.
- Pagnacco, P. F., 1962, Cupriferous mineralizations in the Serranía de Perijá between Codazzi and Molino: *Geol. Colombiana*, No. 2, p. 5-15.
- Radelli, Luigi, 1962, Acerca de la geología de la Serranía de Perijá entre Codazzi y Villanueva: *Geología Colombiana*, No. 1, p. 23-41.
- Restrepo, Vicente, 1937, Estudio sobre las minas de oro y plata de Colombia: *Escuela Nacional de Minas*, 297 p., una reimpresión del *Anal. Inst. Pub. EE. UU. Colombia*, 1884, v. 7, No. 39, p. 161-312.
- Reymond, Edouard, 1942, Informe sobre una misión geológica en los Departamentos del Magdalena y Atlántico, en *Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia: Servicio Geol. Nal.*, v. 5, p. 417-447.
- _____, 1945, Comisión geológica en los Departamentos del Magdalena y del Atlántico, regiones de Ciénaga y Piñó, en *Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia: Servicio Geol. Nal.*, v. 6, p. 397-414.
- Ronderos, Alberto, 1957, Yacimientos calcáreos de El Cerrejón: *Servicio Geol. Nal. (Colombia)*, *Bol. Geol.*, v. 5, No. 3, p. 85-100.
- Wokittel, Roberto, 1957, La formación cupríferra de la Serranía de Perijá (Intendencia de la Guajira y Departamento del Magdalena), *Servicio Geol. Nal.*, *Bol. Geol.*, v. 5, No. 3, p. 59-67.
- _____, 1958, Calizas en Ciénaga, Departamento Magdalena: *Servicio Geol. Nal. (Colombia)*, Informe 1286, 24 p.
- _____, 1960, Recursos minerales de Colombia: *Compilación de los Estudios Oficiales en Colombia: Servicio Geol. Nal.*, v. 10, 393 p.