

BOLETIN GEOLOGICO



GEOQUIMICA Y DATACIONES DE EPISODIOS TIPO SAN VICENTE EN EL VOLCAN PURACE

María Luisa Monsalve B.

METODOLOGIA PARA EXPLORAR MINERALIZACIONES PRIMARIAS DE PGM EN EL RIO CONDOTO,
CHOCO, COLOMBIA

Raúl Muñoz A., Michael Tistl, Klaus P. T. Burgath

MINERALOGIA Y QUIMICA DE LOS DEPOSITOS DE CROMITA PODIFORME DE LAS DUNITAS DE
MEDELLIN, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, COLOMBIA

Jairo Alvarez A.

BOLETIN GEOLOGICO

CONTENIDO GENERAL

	<u>Página</u>
M. L. Monsalve B. Geoquímica y Dataciones de Episodios Tipo San Vicente en el Volcán Puracé	3 - 16
R. Muñoz A., M. Tistl, K.P. T. Burgath Metodología para explorar mineralizaciones Primarias de PGM en el río Condoto, Chocó, Colombia	17 - 32
J. Alvarez A. Mineralogía y Química de los depósitos de Cromita podiforme de las Dunitas de Medellín, Departamento de Antioquia, Colombia	33 - 46

Derechos reservados por:

INGEOMINAS: Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química.

Diagonal 53 No. 34-53, A. A. No. 4865.

Santafé de Bogotá, D. E., Colombia S. A.

El Boletín Geológico se publica en tres (3) números cada año.

Formato de publicación 17 x 24 cm

Editor:

ALBERTO VILLEGAS BETANCOURT

Geólogo

Editado e impreso por INGEOMINAS

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERIA Y
QUIMICA
INGEOMINAS

**GEOQUIMICA Y DATACIONES DE EPISODIOS
TIPO SAN VICENTE
EN EL VOLCAN PURACE**

Por:

MARIA LUISA MONSALVE B.
Geóloga

Noviembre de 1991

BOL. GEOL., VOL. 33, N° 1-3.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN	5
1. INTRODUCCION	5
1.1. LOCALIZACION.....	5
1.2. OBJETIVO.....	5
1.3. METODOLOGIA.....	5
1.4. MARCO GEOLOGICO.....	5
1.5. ANTECEDENTES DE TERMINOLOGIA.....	5
2. LOS DEPOSITOS TIPO SAN VICENTE EN EL VOLCAN PURACE	7
2.1. DISTRIBUCION Y DATAACION.....	7
2.1.1. PRIMER EPISODIO.....	7
2.1.2. SEGUNDO EPISODIO.....	7
2.1.3. TERCER EPISODIO.....	9
2.1.4. CUARTO EPISODIO.....	9
2.2. PETROGRAFIA Y GEOQUIMICA.....	11
3. CONCLUSIONES-DISCUSION	14
4. AGRADECIMIENTOS	15
5. BIBLIOGRAFIA	15

FIGURAS

1 Mapa de localización.....	6
2 Distribución de flujos de ceniza y escoria asociados al volcán Puracé (Mapa)	8
3 Flujo de ceniza y escoria en el río San Francisco. (Episodio N° 1)	9
4A Flujo de ceniza y escoria, cabeceras del río Vinagre. (Episodio N° 2)	10
4B Detalle del flujo de ceniza y escoria (Episodio N° 2)	10
5 Columna estratigráfica del Episodio N° 2 en la Quebrada Aguablanca	11
6 Detalle de fragmentos juveniles del Episodio N° 3 en la cabecera del río Vinagre .	12
7 Flujo piroclástico más reciente del volcán Puracé (Episodio N° 4).....	12
8 Escorias del volcán Puracé en el Diagram de Gill (1981).....	14
9 Diagrama de variación de Harker para fragmentos juveniles de los diferentes episodios.....	14

TABLAS

1 Análisis químicos de elementos mayores de fragmentos juveniles de los diferentes episodios de flujos de ceniza y escoria.....	13
---	----

RESUMEN

Asociados a la actividad del volcán Puracé, se han reconocido al menos cuatro episodios de flujos piroclásticos tipo San Vicente. El primero de ellos, con una edad de 30.000 años, se ha correlacionado con la destrucción de un aparato volcánico llamado Pre-Puracé; los tres últimos han ocurrido en un lapso comprendido entre 2.000 años A.P. y el siglo pasado.

Las variaciones geoquímicas en los fragmentos juveniles de estos depósitos indican dos procesos principales en la cámara magmática: mezcla de magmas que posiblemente ha sido el mecanismo que ha originado estas erupciones, y un proceso principal de diferenciación magmática, evidenciado por la tendencia evolutiva más ácida de estos productos con el tiempo.

1. INTRODUCCION

1.1. LOCALIZACION

El volcán Puracé (4650 msnm), es uno de los volcanes más activos de Colombia. Se sitúa en el extremo NW de la Sierra de los Coconucos en la cordillera Central (Fig. 1). Su acceso se realiza por la carretera Popayán - La Plata, desviándose por ésta hacia la mina de Azufre "El Vinagre", o los termales de Pilimbalá.

1.2. OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo presentar la descripción de los depósitos de ceniza y escoria encontrados en el área de Puracé, dos de los cuales han sido datados por el método de C-14 (Universidad de Ginebra), y algunas características geoquímicas del material juvenil de cada uno de ellos.

1.3. METODOLOGIA

Trabajos de campo permitieron el reconocimiento y caracterización de los eventos; los análisis geoquímicos de elementos mayores fueron realizados por Michelle Zen, en la Universidad de Ginebra, mediante el método de fluorescencia de rayos X, con un equipo Philips PW 1410.

Este trabajo fue posible gracias al convenio entre INGEOMINAS- UNIVERSIDAD DE GINEBRA, y hace parte de los estudios realizados para la elaboración del mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán Puracé.

1.4. MARCO GEOLOGICO

El volcán Puracé es un estrato-volcán que incluye entre sus productos lavas de composición andesítica (andesitas a dos piroxenos y anfibol), intercaladas con productos piroclásticos representados por flujos de ceniza y bloques, flujos de ceniza y escoria, proyectiles balísticos y cenizas de caída. Los flujos de ceniza y escoria (nubes ardientes tipo San Vicente, según WILLIAMS and McBIRNEY 1979), parecen ser característicos del comportamiento eruptivo de este volcán a partir de 30.000 años.

1.5. ANTECEDENTES DE TERMINOLOGIA

Siguiendo la definición de Anderson et Flet (1903), Lacroix (1904), Hay (1959), McDonald (1972), y Williams and McBirney (1979), las nubes ardientes tipo San Vicente son coladas piroclásticas de composición básica, resultado del colapsamiento de una columna eruptiva. Muchos autores utilizan el término más genérico de flujo de ceniza y escoria para este tipo de depósitos producidos por este mecanismo, aún cuando la composición de los fragmentos juveniles sea andesítica (WRIGHT *et al*, 1980, NAIRN and SELF, 1978; CAS and WRIGHT, 1987).

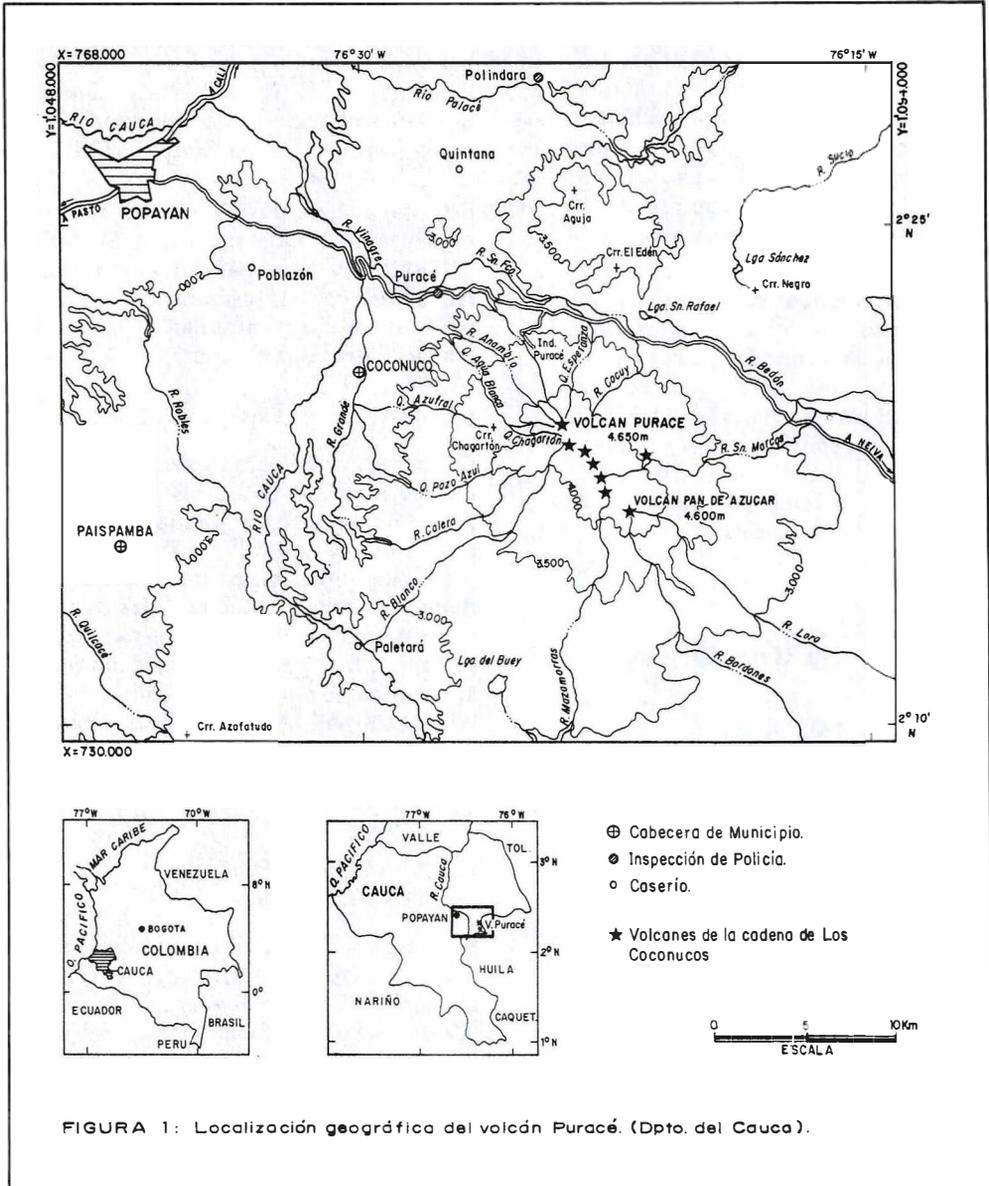


Fig. 1: Localización geográfica del volcán Puracé. (Depto. del Cauca).

Este tipo de depósitos ha sido reconocido en varios volcanes como son La Soufrière de San Vicente, donde fue descrito por primera vez (ANDERSON and FLET 1903; LA CROIX, 1904), monte Lamington (TAYLOR, 1958), Volcán Mayon (MOORE and MELSON, 1969), Montaña Pelée (ROOBOL et SMITH, 1976), Ngauruhoe (NAIRN and SELF, 1978), Pico de Orizaba, Volcán Popocatepetl (CANTAGREL *et al*, 1984), entre otros. En Colombia se han reconocido en otros volcanes como son Nevado del Tolima (CEPEDA y MURCIA, 1988), Galeras (MONSALVE, MENDEZ y TORRES, 1988), Cumbal (MONSALVE y MENDEZ, 1988); en la cadena de Los Coconucos, Flórez (1983), hace mención a depósitos de ceniza y escoria asociados a otro de sus volcanes.

2. LOS DEPOSITOS TIPO SAN VICENTE EN EL VOLCAN PURACE

2.1. DISTRIBUCION Y DATACION

Monsalve (en preparación) distingue tres etapas de formación para el volcán Puracé: Chagartón, Pre-Puracé y Puracé actual. Cuatro episodios de nubes ardientes de tipo San Vicente han sido diferenciados asociados a los dos últimos estadios (Fig. 2).

2.1.1. PRIMER EPISODIO

El primer episodio de flujo de ceniza y escoria se correlaciona con el final de la etapa pre-Puracé, la cual fue seguida por la construcción del Puracé actual.

El depósito se encuentra aflorando desde la parte media del cañón del río San Francisco hasta cerca de su desembocadura en el río Cauca, alcanzando un espesor promedio de 50 m (Fig. 3). Es un depósito caótico, mal seleccionado, parcialmente litificado, compuesto por fragmentos juveniles de escoria de composición andesítica, algo porfiríticos, fragmentos líticos juveniles de la misma composición, y fragmentos líticos accidentales, en una matriz de ceniza gruesa color gris que forma aproxi-

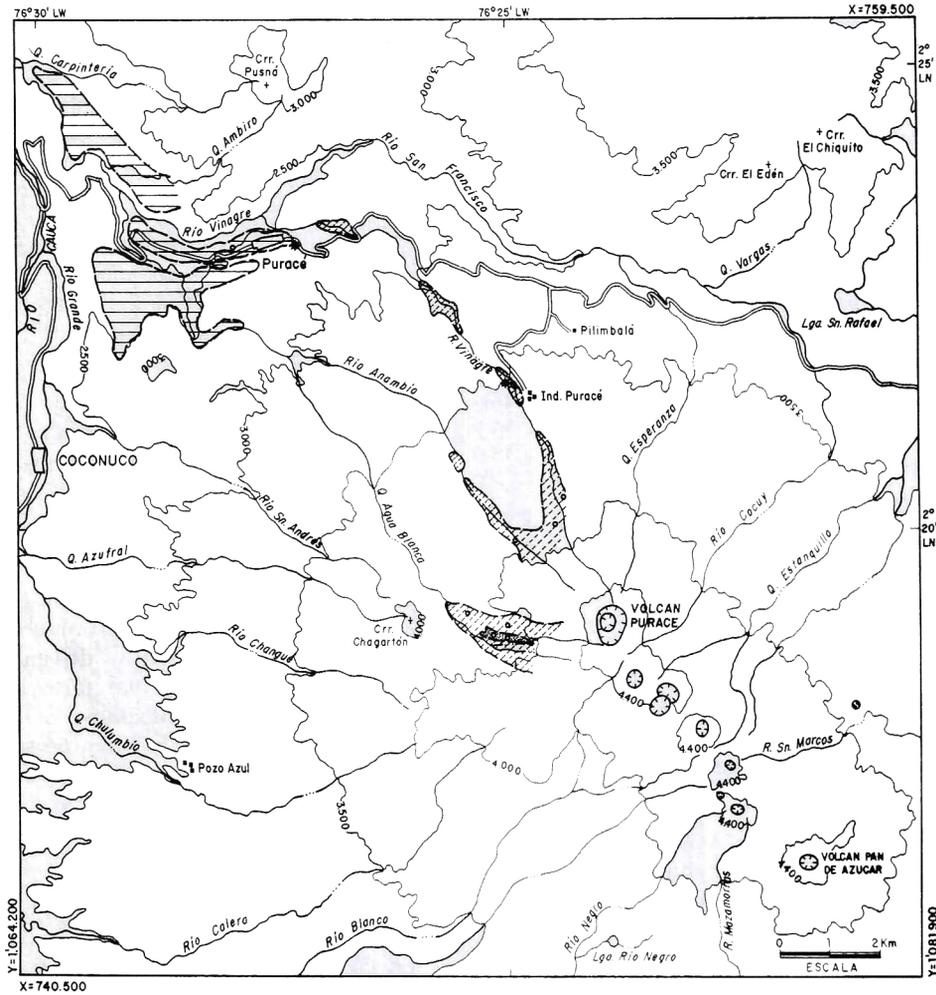
madamente el 50% del depósito. Hacia la base, el depósito se observa soldado con estructuras flameadas. Localmente suprayace diabasas y lavas y productos piroclásticos más antiguos pertenecientes a la etapa de Chagartón. Dataciones por el método de C-14 han dado una edad de 29.660 ± 550 años (Universidad de Ginebra). Esta edad obtenida puede explicar el hecho de que no se encuentren, en los flancos del volcán, afloramientos correlacionables con los del río San Francisco, ya que pudieron haber sufrido erosión debido a fenómenos glaciares posteriores a su formación.

2.1.2. SEGUNDO EPISODIO

Se encuentra ampliamente distribuido en todos los flancos del volcán (Fig. 2): Cabeceras del río San Francisco, sector de los ríos Vinagre-Anambío y de las quebradas Agua Blanca-Chagartón.

Son depósitos caóticos, generalmente con gradación inversa, compuestos por bombas escoriáceas redondeadas, de color negro, bien vesiculadas, parcialmente oxidadas y con tamaños máximos de 1 m de diámetro (río Vinagre); también presenta algunas bombas líticas corteza de pan y líticos accidentales, en una matriz de ceniza gruesa color rojizo, la cual localmente es predominante hacia la base. (Fig. 4).

Localmente, en el sector de las quebradas Agua Blanca - Chagartón, se encuentran secuencias con dos o tres niveles con características similares: la base de los niveles la conforma una delgada capa de lapilli escoriáceo, con escasa matriz; la parte media presenta predominio de matriz y algunos fragmentos líticos, y en el tope la acumulación de escorias se hace más importante. El depósito se encuentra infra y suprayacido por flujos de ceniza y bloques monolitológicos (Fig. 5). Esta secuencia sólo es visible en este sector ya que en otras partes del volcán sólo se observa una unidad, la cual puede alcanzar hasta 15 m de espesor.



- EPISODIO No. 4: Flujo piroclástico más moderno
- EPISODIO No. 3 y 2: Flujos de ceniza y escoria ríos Vinagre, Anambío y quebrada Agua Blanca
- EPISODIO No. 1: Flujo de ceniza y escoria río San Francisco
- Sitio de recolección de muestras para análisis químico y petrográfico.
- * Sitio de recolección de muestras para datación.

Fig. 2: Distribución de flujos de ceniza y escoria (nubes ardientes tipo St. Vincent), asociados al volcán Puracé.



Fig. 3: Flujo de ceniza y escoria en el río San Francisco. (Episodio N° 1)

Fragmentos de carbón sólo se han encontrado en los afloramientos del río Vinagre, los cuales han dado una edad de 2.110 ± 50 años A.P. (Universidad de Ginebra). A pesar de la similitud en las características de los diferentes afloramientos alrededor del volcán, no se debe descartar la idea de que todos los afloramientos no hacen parte del mismo episodio eruptivo, y que tanto episodios anteriores como posteriores a esta edad sean posibles.

2.1.3. TERCER EPISODIO

Afloramientos de estos depósitos se encuentran localmente en la parte media del río Vinagre y en el sector de la quebrada Chagartón.

Son depósitos caóticos compuestos por bombas escoriáceas y pumíticas y fragmentos líticos en una matriz gruesa de color gris. Es característica del material juvenil vesiculado presentar dos partes coexistentes: bandas más oscuras en el interior de las pumitas (Fig. 6) y bandas más claras, al parecer de composición más ácida, en el interior de las escorias.

Los depósitos del río Vinagre y la quebrada Chagartón tienen características similares entre sí, por lo cual se correlacionan. No se ha encontrado carbón para su datación pero cada uno de ellos se encuentra suprayaciendo secuencias piroclásticas que incluyen el segundo episodio, por lo cual su edad es menor que 2.110 ± 50 años A.P.



Fig. 4A: Flujo de ceniza y escoria, cabeceras del río Vinagre (Episodio N° 2). Hacia la parte derecha de la fotografía se observa suprayaciendo un flujo de ceniza y bloques fumarolizados.

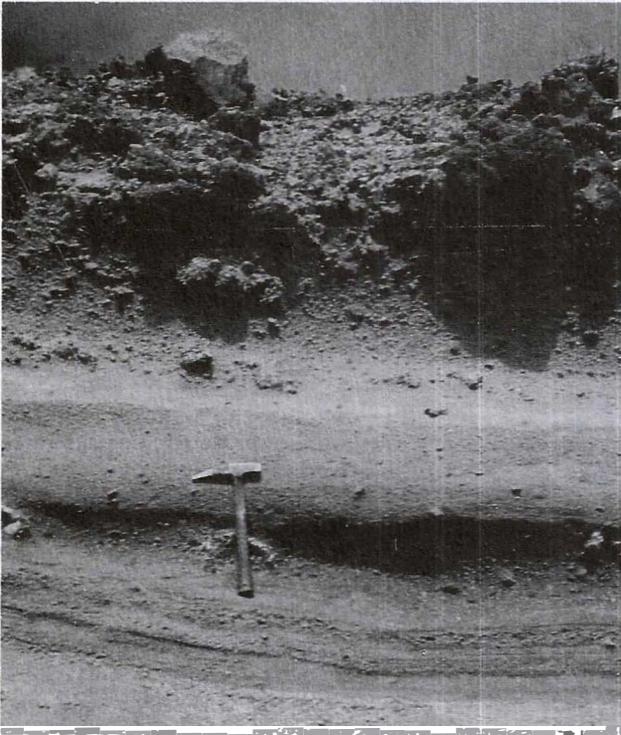


Fig. 4B: Detalle del flujo de ceniza y escoria (Episodio N° 2).

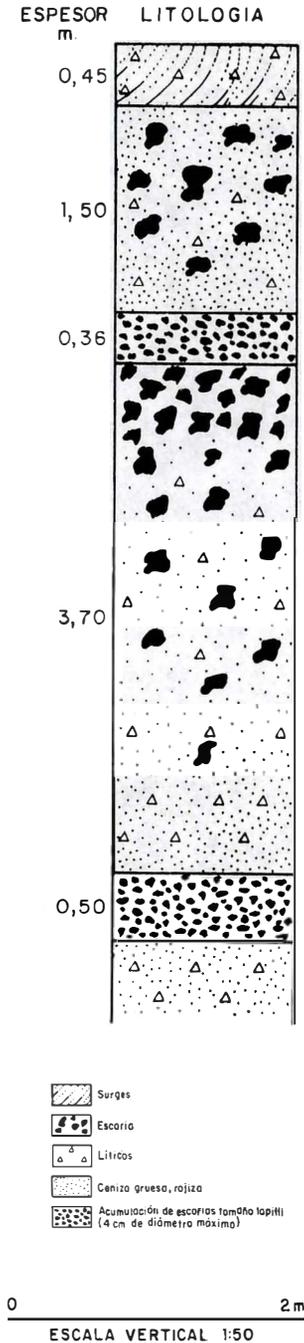


Fig. 5: Columna estratigráfica del Episodio 2, de nube ardiente St. Vincent. Quebrada Agua Blanca (3.900 m).

2.1.4. CUARTO EPISODIO

El episodio más reciente de flujo piroclástico asociado al Puracé corresponde a una erupción del siglo pasado (MONSALVE, PULGARIN y CEPEDA, en preparación).

Aflora en pequeñas hondonadas, en el interfluvio de las quebradas Agua Blanca-Chagartón, en el flanco NW del volcán; localmente está suprayacido por cenizas y bombas de las erupciones más recientes (Fig. 7). Alcanza una distancia máxima a partir del cráter, de sólo 2,5 km., y un espesor máximo de 10 m (Fig. 2).

Se trata de un depósito caótico compuesto principalmente por bombas corteza de pan y en coliflor de carácter más pumfítico que los fragmentos juveniles de los otros episodios descritos; los fragmentos líticos son escasos, así como la matriz. Las bombas son de color habano en la parte externa y de color café a rojizo en su interior, donde también son más vesiculadas. El mecanismo eruptivo que ha dado origen a este depósito es el mismo que el descrito para las nubes ardientes tipo San Vicente y las características de él son comparables a las observadas en los depósitos de la erupción del volcán Mayón en Filipinas en abril de 1968 (MOORE and MELSON, 1969).

2.2. PETROGRAFIA Y GEOQUIMICA

Aunque anteriormente no se había descrito este tipo de depósitos en el volcán Puracé, estudios petrográficos y químicos en fragmentos juveniles se han llevado a cabo por Kuroda and París (1978) y Ramírez (1982). Para el presente trabajo se recolectaron algunas muestras para estos tipos de análisis.

Petrográficamente, las escorias de los episodios 1 y 2 son similares: son rocas porfíricas, hipocristalinas, con predominio de vidrio en la matriz; presenta una asociación mineralógica de plagioclasa, ortopiroxeno,



Figura 6: Detalle de fragmentos juveniles del Episodio N° 3, en la cabecera del río Vinagre (obsérvese la textura bandeada en las pómez).

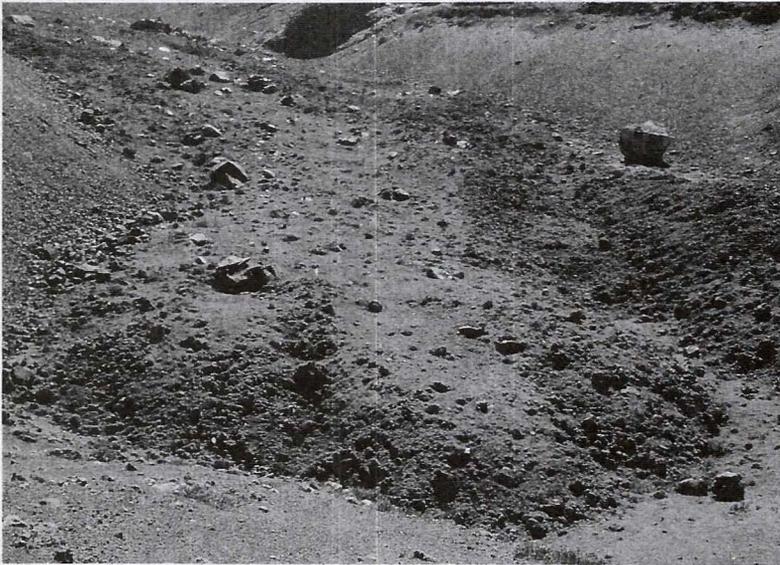


Fig. 7: Flujo piroclástico más reciente del Volcán Puracé (Episodio N° 4). Suprayaciendo el depósito, cenizas y bombas de las erupciones más recientes.

clinopiroxeno y como accesorios opacos, anfíbol, apatito y algunas veces olivino, presente sólo en la matriz.

Las plagioclasas presentan frecuentemente inclusiones de vidrio color castaño, son zonadas, macladas, y algunas presentan reabsorción. La composición predominante se encuentra en el rango de la labradorita.

Los piroxenos orto y clino son hiperstena y augita; este último se encuentra frecuentemente formando el borde del ortopiroxeno.

El anfíbol es similar en todas las muestras, de color café, pleocróico, se encuentra en reacción con el líquido presentando agregados de óxidos alrededor de los cristales o, a veces reemplazado totalmente por ellos. El olivino es escaso y se presenta como pequeños cristales en la matriz.

La matriz, en todas las muestras, está constituida principalmente por vidrio color castaño con microlitos de plagioclasa, piroxenos, óxidos y \pm olivino.

Petrográficamente, en los fragmentos juveniles de los episodios 3 y 4, se puede distinguir una fracción oscura y una clara donde la asociación mineralógica es similar, presentando plagioclasa, ortopiroxeno y clinopiroxeno como minerales principales y como accesorios óxidos, anfíbol y apatito. La única diferencia entre las fracciones es la textura, y el grado de reacción de los minerales.

La matriz en la fracción oscura está compuesta principalmente por vidrio color café claro y microlitos de plagioclasa, dando a la roca una textura afieltrada. La matriz de la fracción clara está constituida por vidrio transparente.

La Tabla 1 contiene los análisis químicos de los fragmentos juveniles de los diferentes episodios.

Según el diagrama clasificativo de Gill (1981), la mayoría de las muestras corresponde a andesitas altas en potasio, salvo una muestra del episodio 4 que es algo más ácida (Fig. 8).

TABLA 1: Resultados de análisis químicos, normalizados al 100%, en fragmentos juveniles de los diferentes episodios de flujos de ceniza y escoria (nubes ardientes tipo San Vicente), asociados al volcán Puracé.

	E1 ML-702	E2 ML603B	E2 ML-643	E2 ML420A	E3 ML661A	E3 ML425A	E4 ML-651	E4 ML710C
SiO ₂	59.17	58.45	58.93	59.52	60.85	61.40	61.82	63.67
TiO ₂	0.81	0.88	0.87	0.88	0.78	0.81	0.73	0.57
Al ₂ O ₃	17.26	17.28	17.21	16.96	17.12	17.28	16.71	16.84
FeO*	6.81	7.05	6.77	6.87	6.00	4.67	5.62	4.55
MnO	0.16	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.09	0.07
MgO	3.19	3.74	3.69	3.34	3.03	3.47	3.07	2.43
CaO	6.27	6.30	6.17	6.31	5.52	5.80	5.22	4.87
Na ₂ O	4.00	4.00	4.05	3.71	4.02	4.02	4.20	4.44
K ₂ O	2.34	2.18	2.20	2.29	2.56	2.44	2.55	2.55
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
F/F+M	0.686	0.657	0.651	0.676	0.669	0.580	0.651	0.655

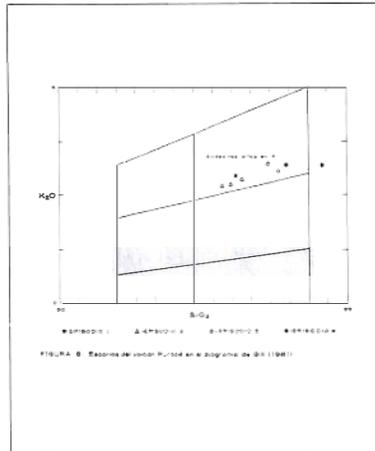


Fig. 8: Escorias del volcán Puracé en el diagrama de Gill (1981).

En el diagrama de variación de Harker (en GILL, 1981), (Fig. 9) se observa una tendencia evolutiva del magma con el tiempo, donde un proceso de diferenciación magmática explicaría la diferencia en la composición de los fragmentos juveniles de uno a otro episodio. Sin embargo, cada uno de estos, especialmente el 3 y el 4, presentan evidencias petrográficas y texturales que indican procesos de mezcla de magmas (ANDERSON, 1976). Es de anotar que para estos episodios en particular no se han hecho análisis químicos separados de las fracciones claras y oscuras, lo cual sería importante para conocer la composición de los tipos de magmas que se han mezclado.

3. CONCLUSIONES-DISCUSSION

A partir de 30.000 años A.P., los productos de nubes ardientes tipo San Vicente son comunes en el volcán Puracé, siendo cada vez de menor volumen y con una tendencia evolutiva más ácida, debido a un proceso de diferenciación magmática.

Procesos de mezcla de magmas son puestas en evidencia por disequilibrio mineralógico, leves variaciones composicionales y diferencias texturales en los fragmentos juveniles de los depósitos. A su vez, estos procesos de mezcla de magma represen-

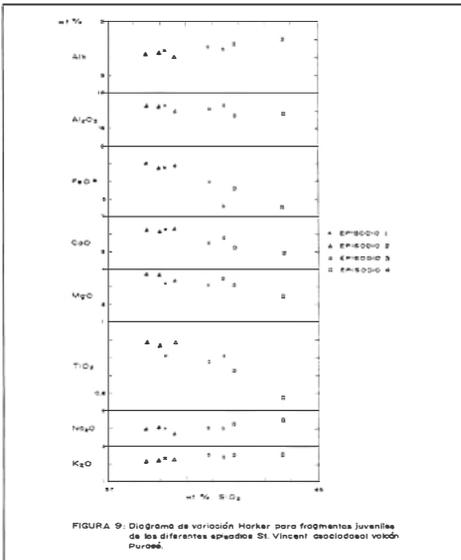


Fig. 9: Diagrama de variación Harker para fragmentos juveniles de los diferentes episodios St. Vincent asociados al volcán Puracé.

tarían el mecanismo que ha disparado estas erupciones.

Este doble proceso puede ser explicado por la presencia de una cámara magmática zonada en proceso de diferenciación y homogeneización. Un ascenso de magma de composición básica, puede ocurrir en períodos de tiempo muy largos, aún indeterminados, contribuyendo a la reafirmación del sistema.

Estudios más detallados deben permitir conocer la existencia y diferenciar otros

episodios de este tipo y su papel en la historia evolutiva del volcán, que facilitaría la confección de escenarios futuros para la evaluación de la amenaza volcánica.

4. AGRADECIMIENTOS

La realización del presente trabajo fue posible gracias al convenio INGEOMINAS-UNIVERSIDAD DE GINEBRA. Agradezco al geólogo Héctor Cepeda de Ingeominas Regional Sur y al profesor John Stix de la Universidad de Montreal, los correcciones y comentarios al texto.

5. BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, A. T., 1976.- *Magma mixing petrological process and volcanological tool*. Journ. Volc. Goetherm. Res. 1.
- ANDERSON, T. and FLETT, J. S. 1903.- *Report on the eruptions of the Soufrière in St. Vincent, and on a visit to Montagne Pelée, in Martinique*. Phil. Trans. R. Soc. A 200.
- CANTAGREL, J.M., GOURGAUD, A., and ROBIN, C., 1984.- *Repetitive mixing events and holocene pyroclastic activity at Pico de Orizaba and Popocatepetl (Mexico)*. Bull. Volcanology, vol. 47-4 (1).
- CAS, R.A.F. and WRIGHT, J.V., 1987.- *Volcanic successions-Modern and ancient*. Allen and Unwin, London.
- CEPEDA, H. y MURCIA, A., 1988.- *Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del Nevado del Tolima, Colombia, S.A.* Bol. Geol. 29(3):pp.33-75. Bogotá.
- FLOREZ, A., 1983.- *Cadena volcánica de los Coconucos Cordillera Central. Ensayo de cartografía geomorfológica con base a fotointerpretación*. Revista Colombia Geográfica, vol. X N° 2 IGAC.
- GILL, J. B. 1981.- *Orogenic andesites and plate tectonics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- HAY, R. L. 1959. *Formation of the crystal rich glowing avalanche deposits of St Vincent*, B.W.I. J. Geol. 67.
- KURODA, N. and PARIS, G. 1978.- *Petrographical notes on some dacites and andesites of Puracé volcano, Cauca, Colombia*. Report of andean studies, Shizuoka University, special vol.
- LACROIX, A. 1904.- *La Montagne Pelée et ses éruptions*, Masson et Cie. Paris.
- MCDONALD, G.A., 1972. *Volcanoes*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- MONSALVE, M. L., (en preparación)- *Aspectos vulcanológicos del Volcán Puracé*. INGEOMINAS. Popayán.
- MONSALVE, M. L. y MENDEZ, R. A. 1988.- *Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del complejo volcánico del Cumbal*. INGEOMINAS. Popayán.

- MONSALVE, M. L. MENDEZ, R. A. y TORRES, M. P. 1988.- *Productos piroclásticos asociados al volcán Galeras*. INGEOMINAS. Popayán.
- MONSALVE, M. L. PULGARIN, B. y CEPEDA, H., en preparación.- *Ultimo episodio de flujo piroclástico asociado al volcán Puracé*. INGEOMINAS. Popayán.
- MOORE, J. G. and MELSON, W. G., 1969.- *Nuées ardentes of the 1968 eruption of Mayon volcano, Phillipines*. Bull. Volc. 33, 600-620.
- NAIRN, I. A. and SELF, S., 1978.- *Explosive eruptions and pyroclastic avalanches from Ngauruhoe in february 1975*. Jour. Volc. Geothermal Res. 3, 39-60.
- RAMIREZ, C., 1982.- *El vulcanismo neogénico y cuaternario de Colombia: Cronología y caracterización químico-petrográfica*. Tesis de grado para optar el título de geólogo. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- ROOBOL, M. J. and SMITH, A. L., 1976.- *Mount Pelée, Martinique: a pattern of alternating eruptive styles*. Geology 4.
- TAYLOR, G. A., 1958.- *The 1951 eruption of Mt Lamington, Papua*. Aust. Dep. natn. Devlmt. Bull. 38.
- WILLIAMS, H. and Mc BIRNEY, A., 1979.- *Volcanology*. Freeman, Cooper and Co., San Francisco.
- WRIGHT, J. V., SMITH, A. L. and SELF, S., 1980. *A working terminology of pyroclastic deposits*. Jour. Vol. Geoth. Res.8.

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERIA Y
QUIMICA
INGEOMINAS

METODOLOGIA PARA EXPLORAR MINERALIZACIONES
PRIMARIAS DE PGM
EN EL RIO CONDOTO, CHOCO, COLOMBIA

Por:

RAUL MUÑOZ A., MICHAEL TISTL, KLAUS P. T. BURGATH

1993

CONTENIDO

Página

RESUMEN.....	19
1. INTRODUCCION.....	19
1.1 INVESTIGACIONES ANTERIORES.....	19
1.2 METODOLOGIA.....	19
2. GEOLOGIA.....	21
3. ETAPA DE PROSPECCION REGIONAL, FASE I.....	21
3.1. SEDIMENTOS ACTIVOS FINOS.....	21
3.2. CONCENTRADOS EN BATEA.....	22
4. ETAPA DE EXPLORACION, FASE II.....	24
4.1. DISTRIBUCION DE MINERALES PESADOS EN LOS CONCENTRADOS DE EL ALTO CONDOTO.....	24
5. FASE DE EXPLORACION EN DETALLE.....	24
5.1. VIRAVIRA.....	24
5.2. ALTO CONDOTO.....	25
5.2.1. MUESTREO EN APIQUES.....	25
5.2.2. MUESTREO DE SUELO DE DUNITA IN SITU EN POZOS Y TRINCHERAS.....	25
6. DISTRIBUCION DE PGM.....	26
6.1. PGM EN LAS PERIDOTITAS SERPENTINIZADAS DE VIRAVIRA.....	26
6.2. PGM EN APIQUES EXPLORATORIOS EN EL ALTO CONDOTO.....	27
6.3. PGM EN POZOS DE EL NEVADO, ZONA TOPOGRAFICAMENTE MAS ALTA.....	27
7. METODOLOGIA PARA IDENTIFICAR GRANOS DE PGM.....	28
7.1. PGM ALUVIAL DEL RIO CONDOTO.....	28
7.2. PGM EN CONCENTRADOS DE SUELO DE VIRAVIRA.....	29
8. RESULTADOS.....	29
9. REFERENCIAS.....	30

FIGURAS

1 Localización del área.....	22
2 Geología del área.....	22
3 Distribución de PGM y Oro en el río Condoto.....	23
4 Distribución de PGM y Oro en concentrados en batea en las cabeceras del Río Condoto.....	25
5 Concentración de minerales pesados con "Sluice Box".....	26
6 Sistema de muestreo en pozos.....	27

RESUMEN

En la cuenca del río Condoto se encontró una secuencia de basaltos komatiíticos con inclusiones de cuerpos serpentínicos de edad Oligoceno superior, denominado Complejo de Viravira y una asociación de rocas máficas-ultramáficas denominada Complejo Zonado de El Alto Condoto de edad Oligoceno superior - Mioceno inferior, consideradas estas dos unidades, principalmente la segunda, como la fuente de la mayor parte de los minerales del grupo del platino (PGM) aluvial en los ríos Condoto y San Juan.

El muestreo de minerales pesados de los sedimentos aluviales mostró a lo largo del río Condoto, hasta las cabeceras, granos de PGM. En la divisoria de aguas con los ríos Tarena y Mondocito, el muestreo de concentrados en batea provenientes de suelo y saprolito en apiques, pozos y trincheras delimitó una aureola mineralizada en el centro de la dunita, 200x300 m, donde la distribución de PGM en el saprolito es al azar, diseminada y en trazas. Los elementos del grupo del platino (PGE) ocurren como trazas en la dunita, con contenidos entre 0,15 y 0,20 ppm.

1. INTRODUCCION

Aunque la existencia de platino aluvial es ampliamente conocida en la región entre los ríos Condoto y San Juan, no se conocía hasta 1988 ningún estudio que localice rocas in situ, fuentes de PGM.

INGEOMINAS de Colombia y el Instituto de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de Alemania, realizaron entre 1988 y 1992 exploraciones geológicas y geoquímicas en las cuencas de los ríos Condoto y San Juan, Chocó, donde históricamente se han extraído minerales del grupo del Platino (PGM) y oro aluvial.

El objetivo de la Exploración Geoquímica fue ubicar áreas fuentes de minerales del

grupo del platino (PGM) primario, asociadas a rocas máficas-ultramáficas, establecer los tipos de roca que forman la secuencia ultramáfica, el tipo de mineralización, caracterizarla, determinar su extensión superficial y hacer una estimación económica preliminar.

La zona se ubica en el flanco W de la cordillera Occidental de Colombia, Departamento del Chocó, entre 5°05' y 5°20' de latitud Norte y entre 76° 20' y 76° 40' de longitud Oeste (Figura 1).

1.1. INVESTIGACIONES ANTERIORES

Los primeros trabajos geológicos de la zona platinífera en la cuenca del río Condoto los presentan Castillo (1909), Kunz (1918), Ovalle (1920), Kellner (1925) y Hubach (1930), quienes estudiaron los aluviones auroplatiníferos. Duparc and Tikanowitch (1920) mencionan por primera vez a las serpentinitas, posiblemente del tipo Viravira, como la roca madre del Pt en el río Condoto. Otros trabajos como los de Singewald (1950), Restrepo (1954), Wokittel (1958), Mertie (1969) y Escorce (1971), proponen sitios que son fuentes del platino, sin encontrar in situ en esa zona rocas ultramáficas zonadas.

En 1987, Ingeominas y Codechó realizaron un trabajo geológico en esa área (SALINAS and ZAPATA, 1991) y en 1988 - 1992, INGEOMINAS y BGR de Alemania realizaron exploraciones y estudios para encontrar el origen de PGM primario, su distribución y ambiente geológico (MUÑOZ *et al*, 1990; SALINAS *et al*, 1992; TISTL *et al*, en preparación).

1.2. METODOLOGIA

Los trabajos geológicos y prospección geoquímica se iniciaron en el caserío El Paso, con toma de muestras de sedimentos activos finos y concentrados en batea en los ríos Condoto, Iró, Bochoromá, Mondocito y Tarena.

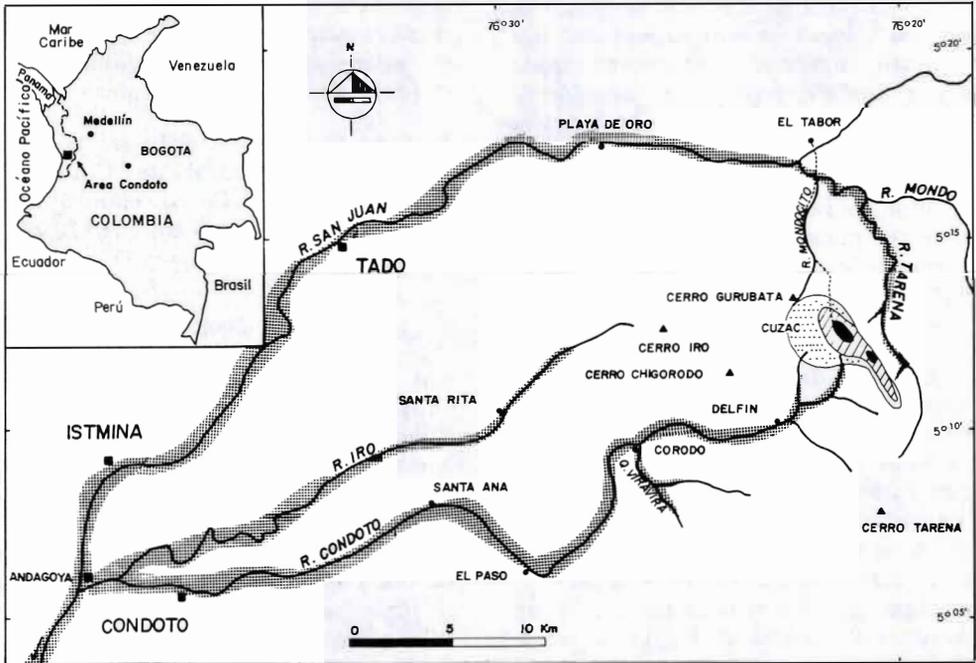


Figura 1. Localización del área

Para el muestreo de orientación se escogió la cuenca de Viravira, donde se tomaron sistemáticamente concentrados en batea y concentrados de suelos provenientes de apiques, 1 m³ de suelo lavado/muestra, material que se lavó en una canaleta metálica "Sluice Box" con un canal de 3 m de longitud; la efectividad óptima del canal se logra con un ángulo de inclinación de 5 a 10°.

El hallazgo de PGM obtenidos en Viravira y en el río Condoto fue una guía para muestrear hasta las cabeceras los afluentes que drenan directamente rocas ultramáficas in situ en El Alto Condoto, divisoria de aguas Condoto-Tarena-Mondocito. En esta zona, se hizo un muestreo en más detalle de concentrados de suelos, provenientes de apiques hechos a lo largo de la divisoria de aguas y

concentrados de suelo y saprolito de dunita meteorizada, proveniente de pozos más profundos.

Las rocas del Complejo Ultramáfico Zonado fueron observadas al microscopio, algunas analizadas para elementos mayores y trazas con Fluorescencia de Rayos-X (RFA) y análisis de PGE, por ensaye al fuego. Una parte de cada muestra de roca fresca se trituró y se separaron concentrados de hornblenda para dataciones radiométricas K/Ar e isótopos Sr,Sm,Nd. Veintinueve muestras de roca (50 gr por cada muestra de roca triturada y pulverizada), 4 concentrados de roca (25 a 40 kg por cada muestra de roca triturada y pulverizada) fueron analizadas para PGE y Au (X-Ray Assay Labor., Canadá). Además, 46 muestras de roca (50 gr por cada muestra de roca triturada y

pulverizada) y 12 concentrados de roca (25 a 40 kg por cada muestra de roca triturada y pulverizada) para ser analizada para Pt, Pd y Au en los laboratorios de la BGR, Alemania.

Al binocular se separaron y observaron granos ("chispas") de PGM y oro por muestra. Luego se separó la fracción magnética, de la no magnética con imán de mano, identificando cada uno de los minerales, estimando el tamaño, la cantidad por cada muestra y su distribución.

Granos de PGM y cromitas en cromitas se estudiaron al microscopio en secciones pulidas, parte de ellos con el microscopio electrónico para detallar las estructuras de sus superficies y por microsonda para el análisis puntual (10x10 mm con una exactitud de 0,1%).

2. GEOLOGIA

En la cuenca del río Condoto la secuencia estratigráfica se inicia, en tiempo, con un conjunto de rocas oceánicas de edad Cretáceo superior, denominadas en esa región rocas volcano-sedimentarias de El Paso (MUÑOZ *et al*, 1990). Estas fueron suprayacidas por sedimentos biogénicos del fondo marino que forman la unidad Nutibara de edad Cretáceo superior-Paleoceno (comunicación escrita DUQUE-CARO, 1990; MUÑOZ *et al*, 1990); son la base de una cuña gruesa de sedimentos de ambiente marino que demoró hasta el Plioceno superior para llenarse (DUQUE-CARO, 1990); está cubierta por depósitos recientes de edad Plio-Pleistoceno, que forman el valle entre los ríos Atrato y San Juan.

El basamento perteneciente al conjunto volcano-sedimentario de edad Cretáceo superior y las unidades sedimentarias de ambiente marino del Terciario inferior fueron intruidos por el Complejo de Viravira conformado por basaltos koma-

tiíticos (Figura 2) con inclusiones de cuerpos serpentínicos (MUÑOZ *et al*, 1990). Estas rocas están cubiertas en forma discordante por sedimentos de la Formación Uva del Eoceno superior hasta Oligoceno (HAFFER, 1967; MUÑOZ *et al*, 1990) lo que sugiere una edad para su intrusión Paleoceno-Eoceno.

En las cabeceras del río Condoto, al este del Complejo Viravira, aflora una asociación de rocas máficas-ultramáficas denominada Complejo ultramáfico zonado de El Alto Condoto (CUZAC - Complejo Ultramáfico Zonado del Alto Condoto) de edad Oligoceno superior - Mioceno inferior (MUÑOZ *et al*, 1990; TISTL *et al*, en preparación). Esta secuencia tiene características de un complejo "tipo Alaska" o "complejo ultramáfico zonado"; se considera la fuente de la mayor parte de los PGM presentes en la cuenca de los ríos Condoto y San Juan (SALINAS *et al*, 1992). En el Mioceno inferior el CUZAC al intruir el Complejo de Viravira y los sedimentos de la Formación Uva y Nutibara, desarrolló en El Alto Condoto una aureola de contacto, caracterizada por minerales de alta temperatura/baja presión, hasta facies cornubiana de piroxeno.

Este complejo está compuesto desde el centro hacia afuera, por dunita (roca portadora de PGE), dunita con olivino y piroxeno, wehrlita y clinopiroxenita olivínica; estas rocas están rodeadas por un conjunto ígneo metamórfico compuesto por clinopiroxenita con hornblena y magnetita, cortado por diques diorítico-gábricos.

3. ETAPA DE PROSPECCION REGIONAL, FASE I

Para encontrar PGM in situ y la roca fuente de éstos, se tomaron varios tipos de muestras, recomendables en la prospección de metales preciosos y nobles. Esta metodología es utilizable donde haya indi-

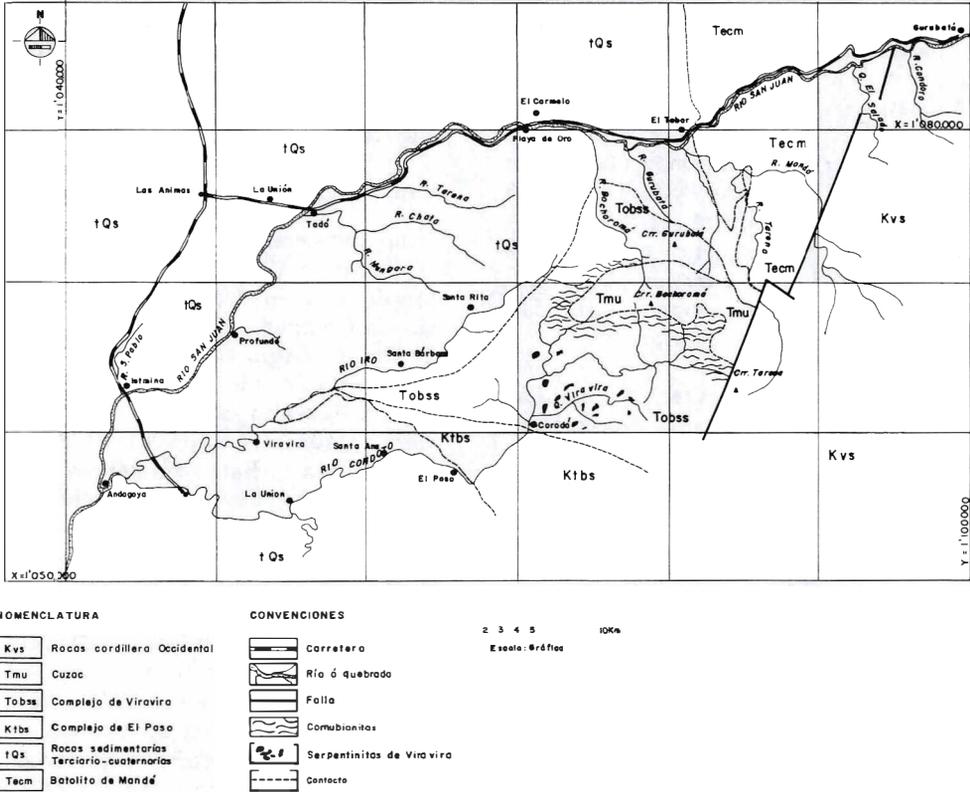


Figura 2: Geología del área.

cios de manifestaciones de PGM, en la cordillera Occidental de Colombia. Las muestras en orden secuencial fueron: sedimentos activos finos y concentrados en batea.

3.1 SEDIMENTOS ACTIVOS FINOS

Las muestras se tomaron sobre los canales activos de las corrientes, a intervalos de 400 m. En total se analizaron 766 muestras, fracción -malla 80, por espectrografía de emisión para elementos afines con PGM como Cr, Ni, Co, en parte V y Mn. Los datos se agruparon por unidades litológicas, según la localización puntual de la muestra: ultramáficas-volcánicas, sedimentarias y una combinación de ultramá-

ficas y volcano - sedimentarias, ya que existen tramos del río donde el material es una mezcla proveniente de varias fuentes.

La distribución de valores de cada elemento en el área, muestra dos asociaciones:

Cr-Ni-(Co) que caracteriza la unidad ultramáfica-volcánica y Mn-V la unidad volcánica, y en menor proporción la unidad sedimentaria. Los valores anómalos para Cr-Ni se encontraron a una distancia de 300 a 500 m de la fuente primaria; en forma comparativa, valores significativamente "altos" de Co-V-Mn se encontraron a una distancia de 1 km de la fuente. Los valores de Cr lo hacen mineral guía de cuerpos ultramáficos.

3.2. CONCENTRADOS EN BATEA

En la primera fase, Prospección Regional, se tomaron minerales pesados en cantidad de 4 bateas, 806 concentrados en un área aproximada de 120 km², en los mismos sitios de los sedimentos activos, con una densidad de 7 muestras/km². De cada muestra se separaron los PGM y oro y se cuantificaron, obteniéndose pocos granos a lo largo del río Condoto.

Como minerales pesados se encontraron magnetita, clinopiroxena, hornblenda, cromita, olivino; más escasos, granate, ilmenita, piritita, circón, cuarzo, epidota, clinzoisita, apatito, andalucita, ortopiroxeno, biotita, Au y PGM. En casi todos los concentrados, los clinopiroxenos son los minerales en mayor cantidad, al igual que cromita (cerca a rocas ultramáficas), guía para localizar serpentinitas.

Al finalizar la Fase I la cantidad de material lavado aumentó, hasta 20 bateadas (15 kg de material por batea), comprobándose la presencia de PGM aluvial hasta la parte alta del río Condoto. Los resultados en esta etapa mostraron que desde el sitio El Paso hasta las cabeceras existen tres zonas con diferente aporte y proporción de PGM y oro primario (Figura 3):

Zona comprendida por los Basaltos de El Paso, caracterizada por la ocurrencia de oro exclusivamente (quebradas Apotó, Angostura y Hoyo Hondo).

Desde la quebrada Corodó hasta la quebrada La Mestiza, se encuentra

una mezcla de PGM y oro en proporción 1:1. La roca fuente de los PGM son peridotitas serpentinizadas que afloran como lentes dentro de los basaltos de Viravira; el oro es de origen hidrotermal (en los basaltos, similar al grupo anterior).

Desde la quebrada La Mestiza hasta los nacimientos del río Condoto hay un predominio de PGM sobre oro. Sin embargo, ninguna muestra contiene 100% de PGM; siempre se presenta hasta 5% de oro.

4. ETAPA DE EXPLORACION, FASE II

La Fase II se realizó en la parte más alta del río Condoto, para encontrar al menos mínimas cantidades de PGM y oro y para conocer cuales afluentes, que drenan directamente la divisoria de aguas Condoto - Tarena, transportan estos minerales (Figura 4); se aumentó la densidad de concentrados y la cantidad de material lavado. Se tomaron concentrados de 30 bateas, eventualmente 50 bateas en sitios específicos como en la confluencia del río Bochoromacito - río Condoto. Los sitios escogidos para el muestreo de 30 bateas distan 30 a 50 m arriba de la confluencia de dos afluentes y 300 a 350 m entre dos muestras, a lo largo de una corriente. En el campo se secaron los concentrados de minerales pesados para evitar su oxidación inmediata y se contaron los granos de PGM y Au por muestra para ubicar rápidamente quebradas de mayor acumulación de estos minerales.

Los granos de PGM aumentaron en la parte más alta del río Condoto desde la confluencia de éste con el río Bochoromacito (sitio Delfín) hasta los nacimientos, como también en los ríos Mondocito, Condocito, Bochoromá y afluentes del río Tarena, estos últimos drenan el sitio El Nevado.

4.1. DISTRIBUCION DE MINERALES PESADOS EN LOS CONCENTRADOS DE EL ALTO CONDOTO

Al aumentar la cantidad de concentrado desde 4 hasta 30 bateas aumentó el número de minerales de densidad mayor a 2,96 (gr/cm³), principalmente PGM y oro.

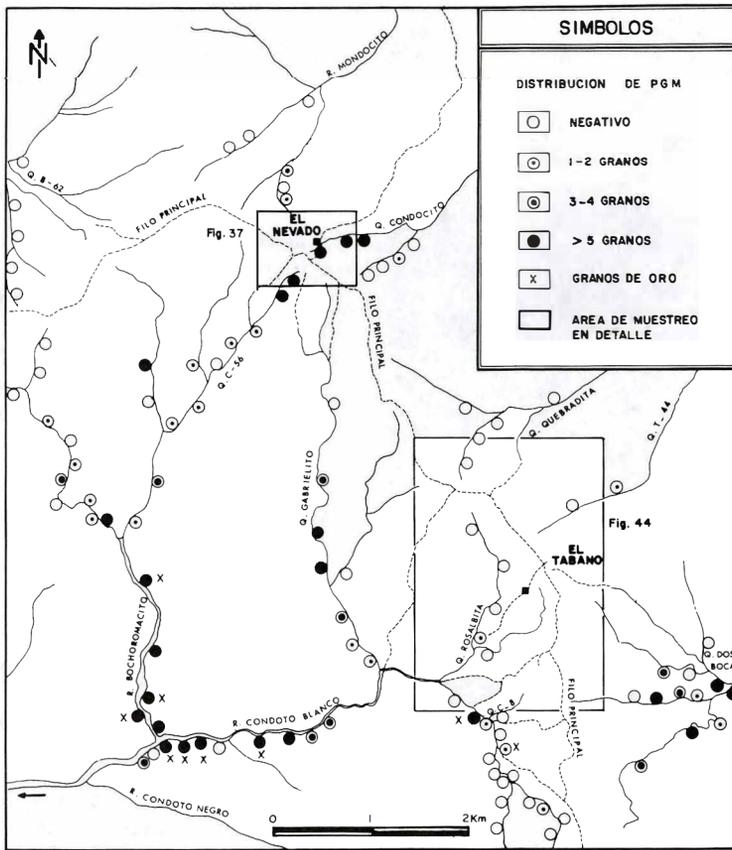


Figura 4: Distribución de PGM y Oro en concentrados en batea en las cabeceras del río Condoto.

delgadas venillas en forma de rosario ("Schlieren") es la dunita.

La magnetita primaria presenta la misma abundancia y distribución del clinopiroxeno, el tamaño promedio es 0,3 mm; la fuente es clinopiroxenita magnética, roca más común que la dunita en El Alto Condoto.

Otro mineral es el granate de color rosado pálido; su composición corresponde a grosularia, es el mineral más típico en la zona de contacto. La fuente son las rocas metamórficas de contacto que afloran.

Los PGM se encuentran solamente en las corrientes que drenan dunitas in situ, parte topográficamente más alta.

5. FASE DE EXPLORACION EN DETALLE

5.1. VIRAVIRA

En esta subcuenca afloran cuerpos de serpentinita lenticular dentro de las vulcanitas básicas, sobre las cuales se trazaron dos líneas con azimut 30° sobre una distancia de 350 m y 120° sobre una distancia de 325 m. Se hicieron 17 pozos separados entre sí 25 a 50 m para averiguar la existencia de PGM en los suelos. La profundidad de cada pozo avanzó hasta la roca firme, entre 0,5 y 2,5 m. El material extraído se lavó en una canaleta metálica "Sluice Box" (Figura 5).



Figura 5: Concentración de minerales pesados con "Sluice Box"

En otra zona de la quebrada Viravira, sitio casa de Monchí, existen rasgos de minería antigua, donde las personas trabajan minería en muy pequeña escala, extrayendo PGM y Au en una relación 1:100. En este sitio se trazaron 3 transversas en sentido E-W, N-S, siguiendo la dirección de una antigua trinchera, 525 m de recorrido. Las líneas cortan dos cuerpos de serpentinitas tectonizadas intercaladas con roca volcánica.

5.2. ALTO CONDOTO

5.2.1. MUESTREO EN APIQUES

En la parte más alta topográficamente, sitio El Nevado, Alto Condoto, divisoria de aguas de los ríos Condoto-Tarena y Borchoromá, se hicieron 155 apiques exploratorios. La distancia entre dos muestras fue 20 m. En cada apique se tomaron dos

muestras, una cerca a la superficie (0,0-0,5 m) y la segunda entre 0,3-1,5 m; cada muestra se lavó en la batea para concentrar los minerales pesados.

5.2.2. MUESTREO DE SUELO DE DUNITA IN SITU EN POZOS Y TRINCHERAS

En la etapa de exploración en más detalle la orientación de líneas, donde se hizo el muestreo, se adaptó a la morfología del terreno. En vez de hacer una red sistemática, las muestras se tomaron en los sitios topográficos más altos para excluir la influencia de flujo de suelo pendiente abajo.

En un área de 300 m x 200 m en El Nevado, se realizó un muestreo detallado en pozos, 380 muestras en total, a una distancia entre dos pozos de 5 hasta 20 m máximo. Se trazaron dos líneas a lo largo del filo principal y hacia la quebrada Condocito. Sobre estas líneas se hicieron 40 pozos de 1,5 a 2,5 m de diámetro y 2 a 5 m de profundidad sin llegar hasta la roca in situ.

En cada pozo se hicieron 4 canales verticales de 15 cm de ancho orientados preferiblemente N, S, E, W y en la base se hizo un anillo de 20 cm de ancho, 15 cm de profundidad y una longitud variable; cada canal se separa en segmentos por muestra, modificado cada que se observó un cambio físico o una variación en la composición mineralógica del suelo; fue diferente el número de bateas por muestra, según el espesor de cada estrato que forma la columna del pozo (Figura 6).

En cada pozo se levantaron los perfiles estratigráficos de piso a techo, con la descripción del material, el espesor de cada estrato y la cantidad de PGM por muestra.

Para disminuir la cantidad de los concentrados originales y acumular de tal manera los PGM, se reconcentró el material traído del campo hasta obtener finalmente un "reconcentrado". Este proceso es un



Figura 6:
Sistema de muestreo en pozos.

método adecuado para reducir la cantidad de la muestra original, generando una acumulación relativa de los metales preciosos para poder reconocerlos con más facilidad.

Al concentrar los minerales pesados en la batea, los granos de PGM mayores a 0,3 mm se distinguen fácilmente por su brillo metálico y color gris claro, el cual es distintivo. Algunos granos muestran colores amarillo a amarillo claro debido a una pátina superficial de óxidos de hierro. Sin embargo, granos más pequeños son difíciles de reconocer por las reflexiones de luz en planos cristalográficos de cromita y magnetita cuando están húmedos.

6. DISTRIBUCION DE PGM

En casi todos los pozos hechos sobre las rocas ultramáficas, se encontraron varios granos de PGM que evidencian un carácter residual autóctono; es decir, el transporte de ellos a partir de la fuente hasta el sitio de depositación fue mínimo.

6.1. PGM EN LAS PERIDOTITAS SERPENTINIZADAS DE VIRAVIRA

Al microscopio con luz reflejada, son de color gris brillante, isotrópicos y una reflexión muy alta; se trata solamente de aleaciones Pt-Fe; en éstas son frecuentes

inclusiones de láminas de color azul claro, reflexión más baja y anisotropía más fuerte que Pt-Fe. Ocasionalmente se observan inclusiones con formas redondas a tabulares hasta 50 micras, que corresponden a sulfuros de PGE.

Los granos de PGM presentes en los concentrados provenientes de saprolito y suelo lavado tienen un tamaño entre 200 y 600 micras, algunos hasta 1.000 micras.

La forma angular de los granos no evidencia transporte y su origen es autóctono. Las formas son variadas, desde partículas circulares como gotas hasta ganchos, agujas y granos esqueléticos astillados que presentan vesículas vacías en las que estuvo otro mineral, ya lixiviado; algunos granos muestran intercrecimiento con silicatos e incrustaciones de óxido de hierro. Las formas triangulares con ángulos agudos de varios granos podrían indicar que corresponden a la aleación Os-Ir-Rh. El contenido promedio es 10 ppb (0,010 g/ton). El tamaño de los granos es 0,1 mm-2,3 mm, con un dominio de 0,5 mm.

Los pocos granos de oro que se encontraron en Viravira muestran una proporción PGM: oro de 1/100, de forma angular y agujas de tamaño entre 0,2 y 0,7 mm.

6.2. PGM EN APIQUES EXPLORATORIOS EN EL ALTO CONDOTO

La cantidad de granos de PGM en concentrados proveniente de suelos lavados, aumenta hacia la parte central de la dunita y disminuye hacia los bordes de esta roca. Esta característica hizo que los trabajos exploratorios continuaran con mayor intensidad en el área central donde aflora dunita, encontrándose contenidos muy altos de PGM (3 g en aproximadamente 200 kg de material lavado) en los nacimientos de una quebrada que drena completamente esta roca, además de varios granos de PGM, el mayor de 1,4 cm de largo con un peso de 1,4 g. Con esta información se delimitó más el área y se iniciaron trabajos en más detalle.

6.3. PGM EN POZOS DE EL NEVADO, ZONA TOPOGRAFICAMENTE MAS ALTA

Los resultados positivos se localizan en los horizontes más profundos, en la base de los pozos (dunita meteorizada con estructura original, dunita fracturada y descompuesta). Los granos de PGM presentan una distribución irregular y están como trazas dentro de la dunita, como también lo está la cromita. Debido a la meteorización completa del olivino, estos granos quedan libres y se facilita la separación de ellos, lavando y concentrando el suelo en la batea. En los horizontes más profundos donde la dunita está parcialmente meteorizada, los minerales pesados entre ellos los PGM, se encuentran todavía formando parte de la dunita y no es posible separarlos y concentrarlos.

El contenido total de PGM en los pozos, se obtuvo lavando todo el material extraído correspondiente al volumen de 1 m x 1 m x 2 m de profundidad; el material lavado del primer m³ superior, corresponde a dunita meteorizada y el segundo m³ inferior, a dunita meteorizada con estruc-

tura original. En cada horizonte se encontraron más de 110 granos de PGM correspondientes a cristales individuales idiomorfos con tamaños menores a 1 mm.

Los mejores valores se localizan en los pozos cercanos al punto topográfico más alto de esta zona, que coincide con el centro del cuerpo de dunita; la extensión del cuerpo es 300 m x 200 m.

Para cuantificar la distribución puntual de PGM en el sitio El Nevado, se lavó y concentró todo el material excavado de un pozo de 1 m x 1 m y 2 m de profundidad. Cada una de las muestras de suelo se lavó y concentró en batea, se observaron bajo el binocular para separar los granos ("chispas") de PGM y oro; luego se separó la fracción magnética con imán de mano de la no magnética y se observó al binocular, identificando cada uno de los minerales pesados, estimando el tamaño y la cantidad por muestra.

7. METODOLOGIA PARA IDENTIFICAR GRANOS DE PGM

La evaluación cualitativa de los concentrados de varias bateadas es difícil por la cantidad de "jagua", la mayoría con más de 100 g/peso. Para este análisis, un método rápido y eficaz es separar la muestra original en fracciones de malla, con descripción de cada mineral bajo el microscopio (binocular, electrónico) o microsonda.

7.1. PGM ALUVIAL DEL RIO CONDOTO

Granos de PGM extraídos de los aluviones del río Condoto (El Paso y quebrada Viravira) fueron analizados al microscopio y microsonda para investigar la composición, intrecrecimiento y variaciones. Se realizaron 368 análisis cuantitativos para Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Fe, Ni, S, Se, Te, As, Sb y Bi.

En la fase de Prospección Regional realizada a lo largo del río Condoto se tomó

una muestra de PGM de 1 castellano (4,6 g) de peso, extraído por una minidraga en la localidad El Paso, proveniente de material arrastrado por el río.

En el laboratorio el concentrado se separó por tamaño en 6 fracciones para conocer sus propiedades magnéticas.

Fracción A. Contiene varios granos de PGM y dos granos xenomórficos de oro con borde rojizo. Un grano de PGM presenta un borde azul; otras inclusiones son de formas tabulares o en agujas. Cuatro análisis de PGM son aleaciones de Pt-Fe; el borde oscuro de un grano es sulfuro de Pt; como inclusiones se identificaron aleaciones de Os-Ir. El análisis de un 1 grano de oro muestra 20%Ag y el borde rojizo contiene 1,8%Ag.

Fracción B. Se presentan granos de magnetita angular hasta 250 mm, ilmenita en láminas anchas y granos de cromita circulares, hasta 200 mm. Granos de PGM de formas redondeadas y alargadas, tamaño hasta 400 mm, son aleaciones de Pt-Fe; como inclusiones se observan aleaciones de Os-Ir-Ru, sulfuros de Ru,Rh,Ir (laurita-erlichmanita, bonicita), arsénidos de Pt (esperrilita) y antimónidos de Pd-Pt (estibiopaladinita). Un grano contiene pirrotina.

Fracción C. Contiene un grano de PGM de 1mm de diámetro; los otros granos hasta 500 mm de formas redondeadas o tabulares no presentan inclusiones. Seis granos corresponden a aleaciones de Pt-Fe con Pt entre 85,5 y 88,2% y Fe entre 8 y 9,2%; un grano contiene 1% Cu. Como inclusiones se encontraron una lámina de Os y cristales tabulares de sulfuros de Ru-Os y Rh-Ir.

Fracción D. Contiene casi exclusivamente PGM con tamaños hasta 50 cm, de formas redondeadas y tabulares, con inclusiones xenomórficas hasta 5 mm. Quince granos analizados son aleaciones de Pt-Fe; su composición es 87-89% Pt y 7,2-0,4% Fe. Como inclusiones se observan sulfuros de Ru-Os, Ir-As, Rh-As y aleaciones Ru-Os-Ir, Pd-As-Te e intercrecimientos de pirrotina y calcopirita.

- **Fracción E.** Contiene 7 granos idiomórficos con bordes redondeados de color blanco, tamaño hasta de 1 mm; su reflexión e isotropía son relativamente altos. Se presentaron varias agujas delgadas de color azul, hasta 15 mm y color azul-gris. Todos los granos son aleaciones de Pt-Fe; el contenido de Fe es 2,5-2,8%; el contenido de Cu entre 0,5 y 7,5%. Las agujas delgadas orientadas dentro de Pt-Fe son de Os, las inclusiones xenomórficas son sulfuros de Pt (cooperita), sulfuros de Ru-Os (laurita, erlichmanita), sulfuros de Ir-As (irarsita), sulfuros de Ir-Rh y aleaciones de Os-Ir.
- **Fracción F.** Contiene 2 granos de PGM de 200 y 700mm, formas más o menos tabulares y granos de cromita. El grano más grande muestra manchas claras y oscuras de 20 mm, corresponde a aleaciones de Pt-Fe, Fe entre 4 y 6% en peso. Las inclusiones xenomórficas son irarsita.

7.2. PGM EN CONCENTRADOS DE SUELO DE VIRAVIRA

Los PGM obtenidos en concentrados de suelo sobre las peridotitas serpentinizadas de Viravira, son homogéneos en su composición. En los granos existen aleaciones de Ru-Os-Ir, laurita, erlichmanita, irarsita, hollinworthita y teluridos de Pt. Cooperita en inclusiones y reemplazando periféricamente a Pt-Fe.

8. RESULTADOS

Los trabajos geológicos y geoquímicos, prospección y exploración, en la cuenca del río Condoto mostraron que desde el sitio El Paso hasta los nacimientos se encuentran en el lecho del río, oro y PGM en proporción 7:1, porcentaje que se invierte hacia las cabeceras (Alto Condoto). Sin embargo, ninguna muestra contiene 100%, siempre contiene trazas de oro.

Se ubicaron dos zonas como fuentes del Pt aluvial: Viravira donde afloran peridotitas serpentinizadas y El Alto Condoto donde se presentan dunitas in situ. En estas dos áreas se hizo un muestreo geoquímico para establecer el origen de los PGM.

Los minerales diagnósticos tanto en la zona de Viravira como la de Alto Condoto son cromita, olivino, magnetita en alto porcentaje, trazas de PGM, mínimas partículas de oro y granate (común en el segundo sitio y no en el primero). La roca fuente de los dos primeros minerales y PGM, es dunita que aflora en el centro del Complejo Ultramáfico Zonado de El Alto Condoto y en parte en las peridotitas serpentinizadas de Viravira; la magnetita proviene de las rocas ultramáficas, el granate forma parte de los metasedimentos de El Alto Condoto y el oro de sulfuros en venillas de cuarzo de origen hidrotermal, en los metasedimentos.

Los mejores resultados corresponden a acumulaciones de granos de PGM, en los horizontes del suelo más profundo, en los pozos hechos hacia la parte central del Complejo Ultramáfico Zonado de El Alto Condoto; donde aflora dunita meteorizada con estructura original, tiene una extensión de 300 m x 200 m.

Para cuantificar el contenido total de PGM, en un solo sitio sobre dunita se lavó suelo, extraído de un volumen de 1x1 m y 2 m de profundidad, y se obtuvieron 110 granos de PGM, menor de 1 mm que correspon-

den a cristales individuales idiomorfos, en un volumen de saprolito equivalente a 0,009 m³ (9x10 mm). En la mayoría de los concentrados de suelo y saprolito se encontraron granos diminutos y un grano de 1,4 g y de un tamaño 1,4 cm de largo.

En El Alto Condoto la distribución de PGM, es en trazas en forma diseminada e irregular, formando parte del saprolito de dunita. La posibilidad de encontrar PGM, en la roca fresca es poca, excepto partes o fragmentos de dunita específicos que contengan estos minerales en altos porcentajes. Se requiere de grandes volúmenes de material para obtener PGM, en cantidad óptima y deseada.

El análisis de varios granos de PGM, con microsonda y microscopio electrónico, determinó que éstos corresponden a aleaciones de Pt-Fe, en su mayoría isoferroplatino (Pt₃Fe).

Los resultados obtenidos por ensaye al fuego para PGE y oro en las rocas de El Alto Condoto, corresponden sólo al rango de ppb.

Los valores más altos en Pt (120 ppb) están en la clinopiroxenita magnetítica y dunita (90 ppb); Pd (100 ppb) en la clinopiroxenita magnética; Ru (11 ppb) en dunitas y (10 ppb) en wehrlitas; Os contiene 3 ppb corresponde al límite de detección; Ir con valores de 3,4 y 2,7 ppb en dunitas, Rh con 6 ppb en dunitas y 4 ppb en wehrlitas. La relación Pt/(Pt+Pd) varía en todas las rocas entre 0,97 en las dunitas y 0,39 en dioritas; Pd/Ir presenta valores slo en dunitas, 1,4 y clinopiroxenitas magnetíticas, 2. El único valor en oro (14 ppb) por encima del límite de detección está en la hornblendita.

Las peridotitas serpentinizadas del Complejo de Viravira, según el contenido de PGE, se diferencian de las dunitas del Complejo Ultramáfico Zonado de El Alto Condoto por bajos contenidos: Pt entre 7 y

21 ppb, Pd entre 2 y 10 ppb; los demás elementos muestran valores cercanos al límite de detección.

En los concentrados de roca, 25 a 40kg por muestra de roca triturada y pulverizada, los contenidos de PGE y Au fueron más "altos". En el Complejo Ultramáfico de El

Alto Condoto el Pt varía entre 150 y 31 ppb en wehrlitas, Pd 56 a 15 ppb, Ru 27 a 23 ppb, Rh 38 a 21 ppb, Os 25 a 6 ppb e Ir 25 y 10 ppb. El Au está entre 680 y 210 ppb. En las serpentinitas de El Aguacate (Viravira) los contenidos aumentaron: Pt 470 ppb, Os 174 ppb, Ir 64 ppb, Ru 43 ppb y oro 480 ppb.

9. REFERENCIAS

- CASTILLO, J., 1909.- *Geology of the Platinum Deposits of Colombia*. Min. and Sci. Press.,98,Nº 24, p. 826-828.
- DUQUE-CARO, H., 1985.- *La cuenca del Atrato en el bloque del Chocó, Suramérica Noroccidente, sus aplicaciones estratigráficas y estructurales (Resumen)*. Mem. VI Cong. Latin. Geol.,1:61, Bogotá
- DUPARC, L. and TIKANOWITCH, M., N., 1920.- *Le platine et les Gites platiníferes*. Soc. An. Ed. Sonor, Geneve.
- ESCORCE, E., 1971.- *Ocurrencias minerales en el Departamento de Chocó*. Ingeominas, Inf. Téc. 1620, 49p., Medellín.
- KELLNER,G., 1925.- *Los yacimientos de platino de la República de Colombia*. Ingeominas, Inf. Téc. 247, Bogotá.
- KUNZ,G., 1918.- *Platinum with Special reference to Latin America*. Bull. Panam. Univ., 45, Nº 5, p. 606-626.
- MERTIE, J. B., 1969.- *Economic geology of the Platinum Metals*. Geol. Surv. Prof. Pap. 630, p. 63-69, Washington.
- MUÑOZ, R., SALINAS, R., JAMES, M., BERGMANN, H. and TISTL, M., 1990.- *Mineralizaciones primarias de Minerales del Grupo del Platino y oro en la cuenca de los ríos Condoto e Iró (Chocó, Colombia)*. Convenio Colombo-Alemán, Proyecto Condoto, Fase I, Ingeominas, Inf. Téc., 304p. Medellín.
- OVALLE, J., 1920.- *Platinum in Colombia*. Eng. Min.Jour., Vol. 110, p.907-908.
- RESTREPO, A., 1954.- *Contribución al estudio de los yacimientos primarios del platino del río Condoto, Depto. del Chocó*. Inst. Geol. Nal., Inf. Téc. 447, 12p., Bogotá.
- SALINAS, R., MUÑOZ, R., BURGATH, K. P.& TISTL, M., 1992.- *Mineralizaciones primarias de elementos del grupo del platino en el Complejo Ultramáfico Zonado de El Alto Condoto, Chocó, Colombia*. Convenio Colombo-Alemán, Proyecto Condoto Fase II, Ingeominas, Inf. Téc., 216p. Medellín.
- SALINAS, R. and ZAPATA, G., 1991.- *Estudio de evaluación preliminar de algunas ocurrencias minerales en los ríos Condoto y Alto San Juan*. Inf. Téc. Ingeominas, 53p., Medellín.
- WOKITTEL, R., 1958.- *Geología económica del Chocó*. Serv. Geol. Nal., Inf. Téc. 1975, 62p., Bogotá.

- SALINAS, R. and TISTL, M., 1991.- *A Tertiary Zoned Ultramafic Complex and Komatiitic basalts from Condoto, Chocó, NW Colombia*. Zbl. Geol. Paleont., Teil1.(6), p.1659-1676, Stuttgart.
- SINGEWALD, Q. D., 1950.- *Mineral resources of Colombia (Other than Petroleum)*. Geol. Surv. Bull., 964-B, p. 169-175, Wash-ington.
- TISTL, M., BURGATH, K. P., HOEHNDORF, A., KREUZER, H., MUÑOZ, R. and SALINAS, R., 1992.- *K/Ar dating Sm-Nd and Rb-Sr systematics of Tertiary Ultramafic Complexes at Condoto, Chocó, NW Colombia*. (en preparación).



REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERIA Y
QUIMICA
INGEOMINAS

MINERALOGIA Y QUIMICA DE LOS DEPOSITOS DE
CROMITA PODIFORME DE LAS DUNITAS DE
MEDELLIN, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA,
COLOMBIA

Por:

JAIRO ALVAREZ A.
Geólogo

1987

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	35
1. INTRODUCCION.....	35
2. CONTEXTO GEOLOGICO Y CARACTERISTICAS DE LOS CUERPOS PODIFORMES.....	35
3. QUIMICA DE LA CROMITA	36
4. CARACTER MICROSCOPICO DE LA CROMITA.....	41
5. ORIGEN DE LOS DEPOSITOS DE CROMITA PODIFORME.....	41
6. BIBLIOGRAFIA.....	45

ILUSTRACIONES

1. Localización de ocurrencias podiformes de cromita en el cuerpo de tectonitas dunitas de Medellín.....	37
2. Distribución de las cromitas pertenecientes a los depósitos podiformes de las dunitas de Medellín, en el triángulo de clasificación de Stevens (1944).....	38
3. Variaciones de Cr/(Cr+Al) vs Mg/(Mg+Fe ²⁺) e n las menas de cromita de las dunitas de Medellín en comparación con las cromitas ricas en Al del área de Gomati, Península Chalkidiki (Grecia).....	39
4. Textura de silicatos ocluidos transicional a textura en malla de silicatos.. Depósito de Patio Bonito	40
5. Mena de cromita diseminada, grano fino a medio, con variación a cromita grano grueso y masiva. Depósito de Patio Bonito	40
6. Textura cúmulus en las menas de cromita. Depósito de Patio Bonito	42
7. Cristales de cromita (Cr) corroídos y con notables embahiamientos sugiriendo disolución intergranular. Depósito de Patio Bonito.....	42
8. Cristales subhedrales y en formas de gota incluidos en granos de cromita con bordes similares a Figura 5. Patio Bonito.....	43
9. Granos de cromita (Cr) gris oscura subhedrales fracturados, en proceso de transformación a ferricromita (fCr) gris clara bajo luz reflejada, y a magnetita (mg) blanca. Depósito El Chagualo.....	43

TABLAS

1. Análisis con microsonda electrónica de las cromitas de los depósitos podiformes de las dunitas de Medellín comparadas con otras cromitas.....	38
--	----

RESUMEN

Los depósitos de cromita podiforme de las dunitas tectónicas de Medellín son característicos de ofiolitas. Las menas de cromita son del tipo diseminado, bandeado schlieren, lenticular e irregular. Las variaciones químicas de dichas menas, determinadas por microsonda electrónica, indican que son cromitas magnesio-alumínicas, las cuales aunque son afines con otras cromitas altas en Al pertenecientes a las ofiolitas típicas de Oman y Grecia, poseen contenidos más altos que aquellas en aluminio y en magnesio. Estudios microscópicos mostraron que las menas de cromita tienen texturas cúmulus relictas, son generalmente cataclásticas y están alteradas a ferricromita y magnetita. Con base en la información existente, su origen se interpreta preliminarmente como producto de acumulación magmática, a partir de magmas basálticos, en cámara estrecha y en la parte más baja de la secuencia transicional de una ofiolita. Estos depósitos pudieron experimentar deformación plástica de diversa intensidad en el manto formando algunas acumulaciones paralelas a la foliación, además de sufrir procesos tectónico-metamórficos posteriores a niveles corticales.

1. INTRODUCCION

Es un hecho aceptado hoy que las ofiolitas, aunque pueden diferir en composición con relación a la litosfera oceánica actual, son fragmentos de litosfera oceánica antigua que han sido subsecuentemente emplazados en márgenes continentales (COLEMAN, 1971; DIETZ, 1963).

En el complejo ultramáfico basal de las ofiolitas se encuentran localizados los cuerpos podiformes de cromita, tanto en las peridotitas tectónicas como en los cúmulus ultramáficos situados encima de ellas.

En Colombia las únicas ocurrencias de cromita podiforme se presentan en la tectonita dunita de Medellín (ALVAREZ, 1982), situada al Este de dicha población (Figura 1) y aunque son conocidas hace varios lustros y han sido explotadas, no existe información conocida sobre sus características químicas y mineralógicas.

Varios autores (BOTERO, 1963; JARAMILLO *et al.*, 1971; Naciones Unidas - INGEOMINAS, 1976; ALVAREZ, 1982), se han referido en mayor o menor detalle a la petrología de las rocas ultramáficas que encajan los cuerpos de cromita, pero referencias de éstos se encuentran someramente en Jaramillo *et al.*, (1971) y en mucho mayor detalle, haciendo reseña de su distribución y forma, en los reportes de Geominas Ltda. (1973, 1975).

El propósito de este trabajo es contribuir al conocimiento de la mineralogía y geoquímica de las cromitas aportando información adicional. El autor expresa su sincero agradecimiento al señor Maurizio Bonardi del Servicio Geológico del Canadá, quien amablemente efectuó los análisis de las cromitas usando una microsonda electrónica, Kevex E.P.S.; y al doctor Thomas Feininger, de la misma institución, persona que hizo los contactos para que dichos análisis se pudieran realizar.

2. CONTEXTO GEOLOGICO Y CARACTERISTICAS DE LOS CUERPOS PODIFORMES

Las cromitas se encuentran albergadas en una dunita, con estructura de tectonita, que constituye un cuerpo en forma de cuña de 60 km² aproximadamente (ALVAREZ, 1982), perteneciente al cinturón ofiolítico Romeral (ALVAREZ, 1985). El conocimiento que se tiene hasta el presente indica aparentemente que no existen otros miembros ofiolíticos y que la masa ultramáfica es exclusivamente dunitica.

La dunita tiene una fábrica deformacional o con textura transicional a mosaico. No se han reportado minerales primarios diferentes a olivino magnesiano, alargado y deformado y cromita accesoria. La dunita se encuentra alterada en grados variables a minerales serpentínicos, anfíboles, clorita, talco, magnetita y carbonatos. Algunos de éstos se han originado posiblemente por acción metasomática de cuerpos magmáticos félsicos. Los granos de olivino varían de 0,3 mm a 1,5 mm, aunque excepcionalmente tienen hasta 7 mm, mientras que los granos de la cromita son generalmente menores de 1 mm.

Las dunitas poseen foliación primaria definida por el olivino y enfatizada por los minerales secundarios y también tiene meso y microplegamientos. Estos últimos y la foliación se piensa que son fábricas tectónicas derivadas del manto. Una segunda foliación está sobreimpuesta a la primera y es producto de esfuerzos cizallantes ocasionales posiblemente durante su emplazamiento.

El nombre de cuerpos podiformes, acuñado por Thayer (1964, 1969), y su variación externa en forma y tamaño (THAYER, 1960), para cromitas tipo alpino u ofiolitas, describe bien la forma general de las mismas en la masa dunítica de Medellín. Las ocurrencias de cromita se presentan principalmente en el sector meridional de dicha masa, formando tres concentraciones mayores con 27 ocurrencias, de las cuales 17 son afloramientos y las demás, acumulaciones eluviales o residuales (GEOMINAS, 1973, 1975) (Figura 1).

De acuerdo a la información presentada por Geominas (1973, 1975), las estructuras de las menas de cromita se pueden interpretar como del tipo diseminado, bandeado schlieren (asociación de capas con cromita diseminada y masiva), lenticular (lentes de cromita masiva o capas de cromitita formando cordones) o irregular. El tipo lenticular principalmente

tiene una relación estrecha con fallas y zonas de cizalladura en la dunita. Las ocurrencias de cromita varían de centímetros a metros, siendo el más grande el depósito de Patio Bonito actualmente agotado, con menos de 30 m de longitud y hasta 7 m de espesor. El rumbo de los cuerpos cromitíferos es variable, subparalelo o diagonal a la dirección de la dunita, pero siempre con fuerte inclinación al Oeste (GEOMINAS, 1973, 1975).

3. QUIMICA DE LA CROMITA

En la Tabla 1 se anotan cuatro análisis de cromititas efectuadas por microsonda electrónica, correspondientes a ocurrencias diferentes en la dunita, y también para comparación, varios análisis de cromititas altas en aluminio de las ofiolitas de Grecia.

Las cromititas de las dunitas de Medellín, están caracterizadas por una variación recíproca en Cr y Al y un contenido más o menos constante en Fe^{2+} (Figura 2). Las cromititas se sitúan en el rango composicional, determinado por Stevens (1944), para cromo-espinel y cromita rica en aluminio. Las relaciones $Cr/Cr + Al$ y $Mg/Mg + Fe^{2+}$ varían de 0,54 a 0,69 (promedio 0,64) y 0,57 a 0,64 (promedio 0,60) respectivamente (Figura 3). La característica antes mencionada, la baja relación Fe^{2+}/Mg la poca concentración de titanio (TiO_2 0,30) (Tabla 1), y el escaso contenido en Fe_3+ de las cromititas de Medellín, son típicas de cromitas podiformes (THAYER, 1970), las asemejan a otras menas de cromita maciza alta en aluminio, como las de Oman y Grecia y las diferencian claramente de las existentes en complejos ultramáficos estratificados. El empobrecimiento en titanio de la parte tectónica de las ofiolitas parece ser debido al proceso de fusión parcial que enriquece en Ti el líquido formado en detrimento del residuo refractario (DICK, 1977; LEBLANC *et al.*, 1979).

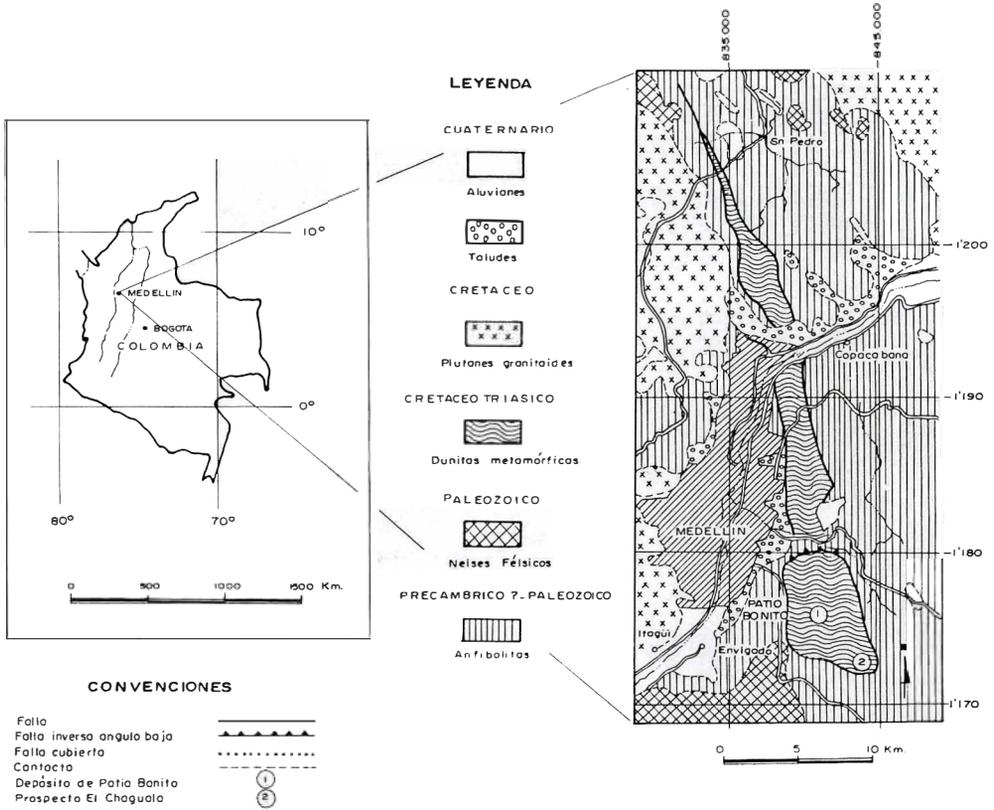


Figura 1: Localización de ocurrencias podiformes de cromita en el cuerpo de tectonitas dunitas de Medellín.

Se debe resaltar la diferencia existente en el contenido de cromo y aluminio entre las menas de cromita del prospecto El Chagualo, al sur del cuerpo dunítico, y las demás muestras de mena al norte de él (Figura 1). Los valores de Cr_2O_3 son 31,79% y 42,05% y en Al_2O_3 35,22% y 26,03% respectivamente. Así mismo, la baja relación $Cr/Cr+Al$ para el prospecto El Chagualo (0,54) en comparación de los contenidos similares (0,68) de las otras ocurrencias.

De las consideraciones anteriores se puede colegir que las cromitas, pertenecientes a los cuerpos podiformes de las dunitas de Medellín, aunque tienen una

composición afín con otros depósitos ofiolíticos altos en Al se diferencian de ellos por el alto contenido en Mg y la baja relación Fe^{2+}/Mg .

4. CARACTER MICROSCOPICO DE LA CROMITA

En las muestras de cromita de las diversas ocurrencias se encuentran relictos de textura cúmulus y existe, en general, deformación moderada dando lugar a fuerte lineación de los granos de cromita y cierto bandeamiento con capas discontinuas irregulares constituidas por granos de cromita y silicatos que definen igualmente la foliación (Figura 4).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
									701132	700114	701131
SiO ₂	0.16	0.09	0.16	0.00	0.29	0.23	0.25	-	-	0.03	-
Al ₂ O ₃	23.86	25.21	28.27	29.22	24.59	25.02	23.48	25.95	27.39	24.75	35.22
Cr ₂ O ₃	44.81	43.12	39.90	37.59	40.57	39.58	39.06	42.81	40.68	42.66	31.79
TiO ₂	0.07	0.12	0.11	0.17	0.29	0.15	0.12	0.33	0.12	0.30	0.02
Fe ₂ O ₃	4.37	3.56	3.58	5.40	4.38	5.12	5.78	4.30	4.49	-	3.99
FeO	10.43	10.98	10.96	12.61	16.94	17.30	20.72	8.14	9.99	13.02*	9.60
MgO	16.12	16.12	16.59	15.54	12.33	11.82	9.62	18.48	17.29	18.55	18.01
MnO	0.24	0.13	0.25	0.15	0.67	0.71	0.42	0.04	0.04	0.00	0.03
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	0.13	0.17	-	0.09
NiO	0.00	0.35	0.19	0.20	0.04	0.31	0.11	-	-	-	-
	100.06	99.68	100.01	100.88	100.10	100.24	99.56	100.18	100.17	99.32	98.75
Si	0.005	0.003	0.005	0.000	0.071	0.056	0.063	-	-	0.008	9.521
Al	0.840	0.889	0.979	1.008	7.093	7.223	6.963	7.168	7.580	6.998	5.765
Cr	1.059	1.029	0.927	0.870	7.851	7.851	7.771	7.932	7.553	8.090	0.004
Ti	0.002	0.003	0.002	0.003	0.053	0.028	0.023	0.058	0.021	0.054	0.689
Fe ³⁺	0.098	0.080	0.079	0.123	0.807	0.943	1.094	0.759	0.793	-	1.841
Fe ²⁺	0.261	0.275	0.267	0.309	3.467	3.544	4.360	1.595	1.961	2.612*	6.159
Mg	0.718	0.719	0.727	0.687	4.498	4.316	3.608	6.456	6.051	6.632	0.005
Mn	0.006	0.003	0.006	0.003	0.139	0.147	0.090	0.008	0.008	0.000	-
Ni	0.000	0.008	0.004	0.005	0.008	0.061	0.022	-	-	-	0.017
V								0.025	0.033		

* FeO como hierro total

1, 2, 3, 4, cromitas del complejo ofiolítico de Vourinos (Economou, 1983)

5, 6, 7, cromitas de la Península de Chalkidiki (Norte de Grecia)

8, 9, 10, 11 cromitas de las dunitas de Medellín (8, 9, 10: Patio Bonito; 11 el Chagualo)

Analizador: Sr. Maurizio Bonardi. Servicio Geológico del Canadá.

Tabla 1: Análisis con microsonda electrónica de las cromitas de los depósitos podiformes de las dunitas de Medellín comparadas con otras cromitas

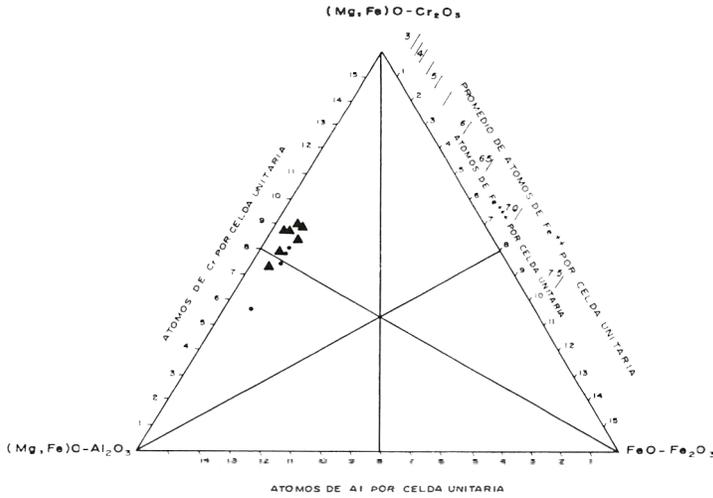


Figura 2: Distribución de las cromitas pertenecientes a los depósitos podiformes de las dunitas de Medellín, en el triángulo de clasificación de Stevens (1944). ● Cromitas de Medellín. ▲ Cromitas ricas en Al del complejo ofiolítico de Troodos (Bosques Limassol), Chipre. Datos tomados de Panayiotou (1978).

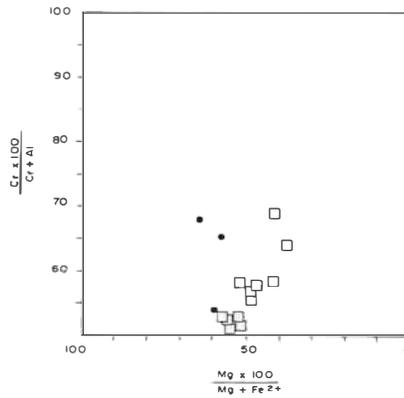


Figura 3: Variaciones de $Cr/(Cr+Al)$ vs $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ en las menas de cromita de las dunitas de Medellín en comparación con las cromitas ricas en Al del área de Gomati, Península Chalkidiki (Grecia). ● Cromitas de Medellín. □ Cromitas de Gomati.

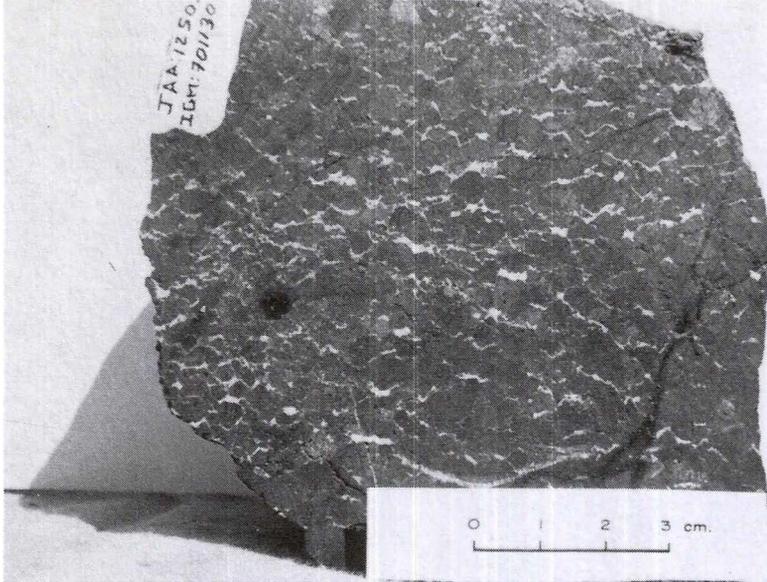


Figura 4. Textura de silicatos ocluidos transicional a textura en malla de silicatos. Nótese la lineación de las cromitas que definen una foliación incompleta. Silicatos (blanco), cromita (negro). Depósito de Patio Bonito.

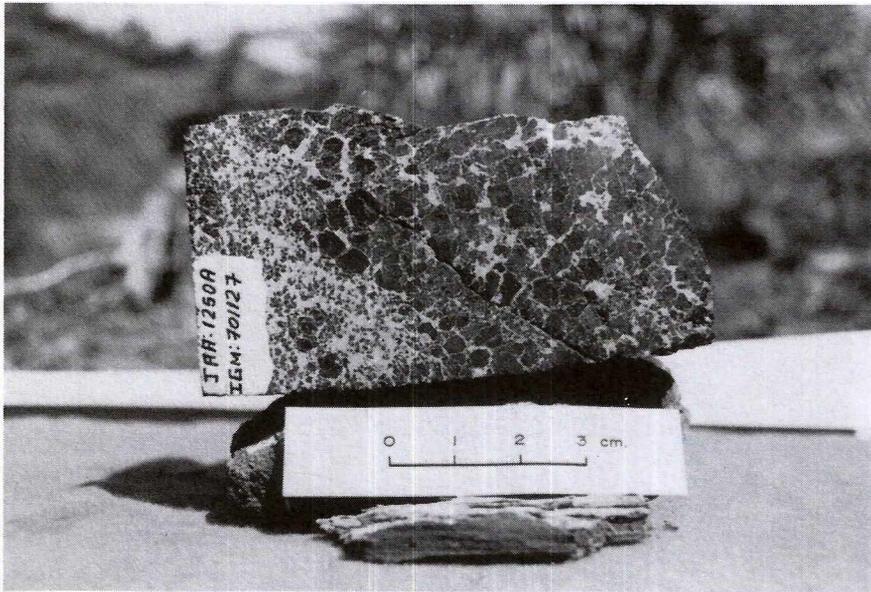


Figura 5. Mena de cromita diseminada, grano fino a medio, con variación a cromita grano grueso y masiva. Depósito de Patio Bonito.

La mena es maciza a diseminada pero ocurren variaciones graduales entre ambos tipos (Figura 5). Además presenta textura en malla de silicatos (Figura 4) y textura con silicatos ocluidos existiendo también entre éstas completa gradación. Generalmente, sin embargo, varios tipos están presentes en una ocurrencia.

Los granos de cromita son subhedrales (Figura 6) a parcialmente redondeados, algunos con notorios embahiamientos sugiriendo disolución (Figura 7). En algunos casos existen sólo relictos de grano original, el cual ha experimentado un intenso reemplazamiento por serpentina y otros silicatos. Este fenómeno de corrosión intergranular fue observado por Panayiotou (1978) en las cromitas de Chipre y fue interpretado por él como un fenómeno que ocurrió después de la depositación de la cromita.

El tamaño de los granos de cromita varía predominantemente de 0,5 mm a 3 mm y son en general cataclásticos, aunque en una muestra de cromita del depósito de Patio Bonito, los granos están bastante sanos, en cambio, en el prospecto El Chagualo la cataclasis es muy intensa. Tanto los espacios entre los granos como las fracturas están rellenas con silicatos y a veces otros minerales. Específicamente las cromititas de Patio Bonito poseen una matriz constituida por clorita, en cambio en El Chagualo, es de serpentina y olivino magnésiano (Fo 94%).

Así mismo, ocasionalmente se ven cristales euhédricos o en forma de gota de un mineral, posiblemente olivino transformado, incluidos en la cromita (Figura 8) o entre granos de cromita, reemplazados por clorita o serpentina.

Bajo el microscopio de luz reflejada se observa claramente que los cristales de cromita están alterados marginalmente, formando zonas irregulares o parches, a

magnetita o ferricromita (cromo-espinel rico en hierro). Este fenómeno aunque es muy claro en la mena de El Chagualo (Figura 9), lugar donde se observa un contacto neto entre los dos tipos de alteración, se encuentra generalmente en una etapa más avanzada de transformación a magnetita en Patio Bonito. De acuerdo a varios autores, entre ellos Panayiotou (1978), la ferrocromita se enriquece en hierro a expensas del aluminio y magnesio. Estos elementos pasan metasomáticamente a la matriz y, en buena medida, son responsables de la formación de la clorita. La magnetita rellena también fracturas. Esporádicos granos alargados de awaruita y anhedral de millerita (o calcopirita) también se presentan.

5. ORIGEN DE LOS DEPOSITOS DE CROMITA PODIFORME

En relación con el origen de los depósitos de cromita podiforme no existe consenso y es un asunto de controversia, por lo tanto, primero se desea recalcar las diversas opiniones, expresadas por varios autores y sintetizadas por Economou (1983), Leblanc *et al.* (1979) y enmarcar dentro de ellas el origen de las cromitas de Medellín.

Las ofiolitas están conformadas en su parte inferior por una unidad ultramáfica, compuesta esencialmente por harzburgita, considerada quizá como un residuo refractario del manto (o manto empobrecido) y una secuencia cúmulus estratificada, predominantemente gabroide, que suprayace la unidad anotada. Las ocurrencias de cromita se encuentran principalmente en una zona transicional entre las unidades mencionadas antes, en una secuencia esencialmente dunítica, compuesta por capas alternadas de dunita, werhlita y piroxenita (ECONOMOU, 1983; NICOLAS y PRINZHOFER, 1983).

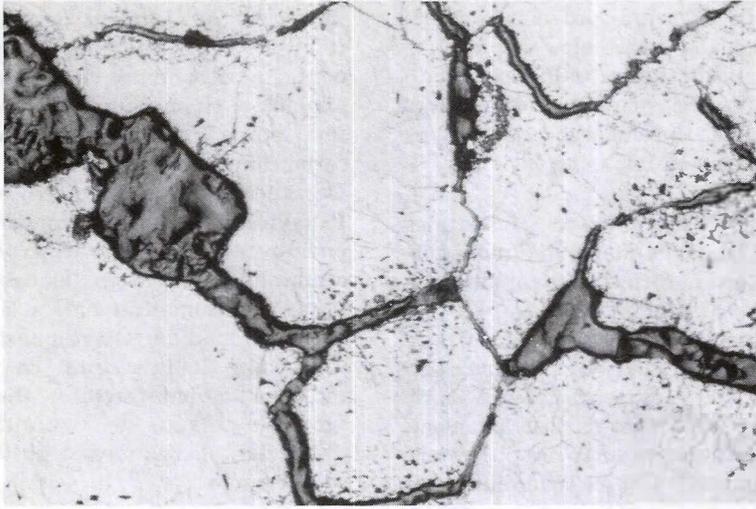


Figura 6. Textura cúmulus en las menas de cromita. Depósito de Patio Bonito. Obsérvense los márgenes de granos en estado avanzado de metasomatismo. Cr: cromita gris homogénea. Si: silicatos Mg; borde de magnetita característicamente ahuecada. Nicol // .625X.

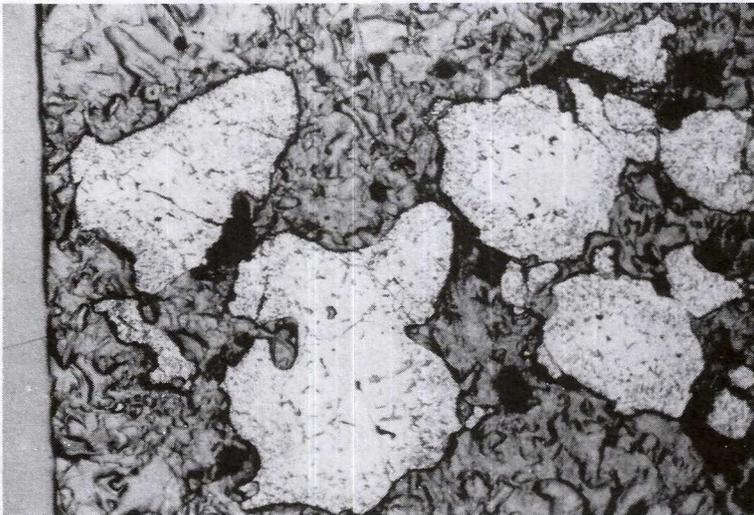


Figura 7. Cristales de cromita (Cr) corroídos y con notables embahamientos sugiriendo disolución intergranular. Nicol // .550X. Depósito de Patio Bonito.

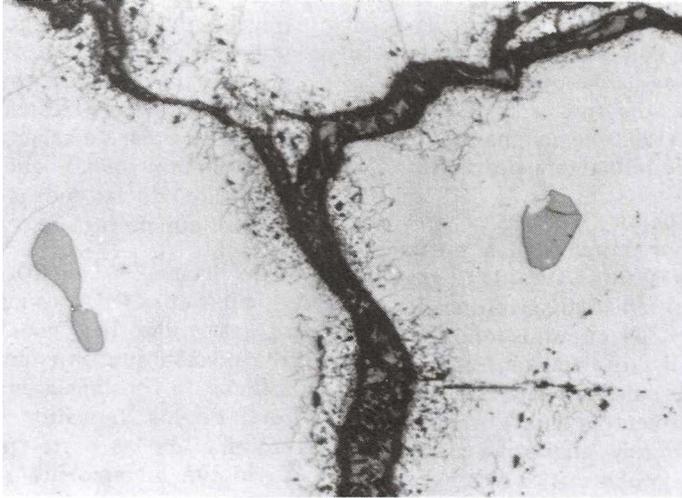


Figura 8. Cristales subhedrales y en formas de gota incluidos en granos de cromita con bordes similares a Figura 5. Nicol // 500X. Patio Bonito.

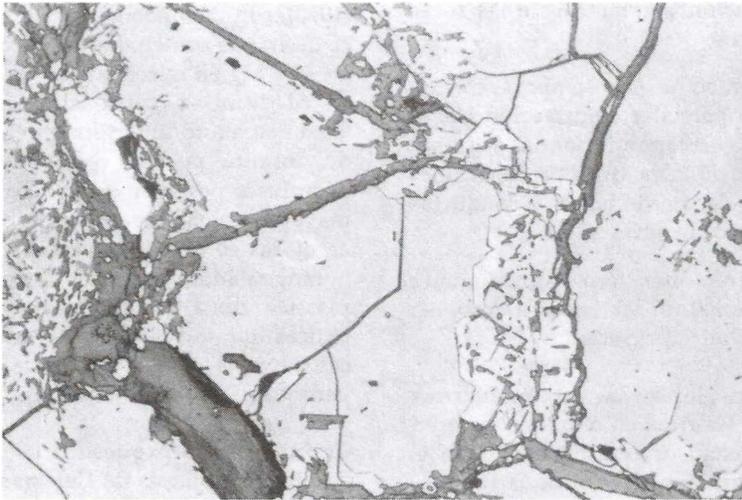


Figura 9. Granos de cromita (Cr) gris oscura subhedrales fracturados, en proceso de transformación a ferricromita (fCr) gris clara bajo luz reflejada, y a magnetita (mg) blanca. En el borde se ve un pequeño grano de calcopirita, cp (o millerita?). Las grietas y espacios intergranulares contienen serpentina (s). Depósito El Chagualo. Nicol // 1600X.

Varios autores (THAYER, 1964, 1970; DICKEY, 1975, COLEMAN, 1977; PANAYIOTOU, 1978; CASSARD *et al.*, 1981) consideran la zona transicional como parte inferior de la secuencia magmática que suprayace a la harzburgita tectónica y Nicolas y Prinzhofer (1983) le asigna un origen residual predominantemente.

Según Economou (1983), y es un hecho aceptado por muchos, las menas de cromita existentes en los grandes complejos ultramáficos estratificados (ej: Bushveld) y los cúmulos ofiolíticos se derivan de la cristalización fraccional de un magma basáltico en una cámara magmática, mientras que el origen de los cuerpos de cromita podiforme, localizados en el complejo ultramáfico tectónico basal de las ofiolitas, no solamente es poco claro sino que la historia de dichos cuerpos es complicada. Ellos se han interpretado como:

- Antiguos horizontes estratiformes (cúmulus) contemporáneos con la cristalización magmática de las rocas encajantes.
- Concentraciones contemporáneas de la fusión parcial y deformación plástica que corresponderían a segregaciones residuales o a cristalizaciones precoces dentro de bolsas o conductos magmáticos *in situ*.
- Concentraciones por hundimiento gravitacional de las capas de cromita de cúmulus suprayacentes.

Por otra parte, las menas de cromita ricas en cromo y las ricas en aluminio parecen tener un mismo origen. En efecto, en el complejo ofiolítico de Vourinos (Grecia) menas de cromita ricas en Al, albergadas en harzburgita tectónica y las ricas en Cr encajadas en dunitas tectónicas, mostraron características geoquímicas similares sugiriendo un origen común para todos los depósitos de cromita presentes en el complejo. Las cromitas ricas en Al se

habrían derivado del mismo magma en una etapa temprana de segregación fraccional; sin embargo, la tendencia invertida en la variación de elementos mayores en las cromitas de complejos estratiformes, con respecto a la de las ofiolitas a pesar de haber traslape, sugiere a Economou (1983), que el proceso de formación de las menas de cromita en ofiolitas aún no es claro.

Según Irvine, 1967 (en COLEMAN, 1977), las cromitas altas en Al es más probable que se desarrollen bajo condiciones de más alta presión que las cromitas ricas en Cr asumiendo constancia en la composición total de los depósitos. En Oman, las cromitas de las partes más bajas de la peridotita metamórfica son ricas en Al mientras que las cromitas ricas en cromo están situadas de 100 a 200 m del contacto con el gabro (COLEMAN, 1977).

Las cromitas de los cuerpos podiformes de las dunitas de Medellín, aunque pertenecen al tipo rico en Al de Thayer (1970), son cromitas magnesio-alumínicas, es decir, con contenidos un poco más altos en Al y Mg en relación a las cromitas ricas en Al de otras ocurrencias en ofiolitas. Como se anotó anteriormente, las menas de cromita poseen restos de texturas cúmulus a pesar de estar deformadas en mayor o menor grado y se encuentran encajadas en una dunita con alto grado de homogeneidad química y deformación plástica de alta temperatura, características que indujeron a Alvarez (1982) a considerarla como una tectonita dunita, parte basal de una ofiolita.

Con base en lo expuesto antes se podría aceptar la hipótesis de Coleman (1977), la cual con respecto a este tipo de secuencias, anota que los cuerpos de cromita se formaron como cúmulus en la zona de transición, en el nivel más profundo de la secuencia magmática experimentando desorganización de la textura cúmulus primaria por deformación subsolidus en

el manto. Además los altos gradientes geotermales de la zona de transición aparentemente gobiernan la localización en ella de cromita podiforme (CASSARD *et al.*, 1987), cuyo origen ha sido explicado por Lago *et al.* (1982), como producto de acumulación magmática, coincidiendo en este aspecto con Coleman (1977), en estrechas bolsas a lo largo de canales que conducen magma basáltico hacia la corteza suprayacente en expansión.

Los depósitos de cromita podiforme pueden ser elongados y rotados por deformación plástica continuada en el manto superior y la corteza (THAYER, 1969), formando lentes paralelos a la foliación (CASSARD *et al.*, 1981). También, según Prinzhofer *et al.* (1980), las dunitas más bajas de la zona de transición están comúnmente deformadas como las harzburgitas tectónicas infrayacentes y pueden tener flujo plástico de alta temperatura con desarrollo de foliación adquirida subsecuentemente, ya sea siendo cúmulus o residuales, a su formación. Esta es precisamente una de las particularidades de las tectonitas dunitas de Medellín (ALVAREZ, 1982). Por otra parte, en varias ofiolitas en el mundo las dunitas inferiores gradan a harzburgita tectónica (NICOLAS y PRINZHOFER, 1983), cuando la secuencia no está desmembrada estructuralmente, fenómeno que sí se presenta en las dunitas de Medellín (ALVAREZ, 1982). Además, Nicolás y Prinzhofer (1983) y Lago *et al.* (1982) aluden a la naturaleza altamente magne-

siana que caracteriza, tanto a la cromita de las menas podiformes como al olivino que forma las rocas y la matriz de los depósitos. Según dichos autores, contenidos superiores al 90% de forsterita (Fo) implicarían la existencia de un magma parental picrítico el cual es desconocido en relación a basaltos teleíticos eruptados. Coleman (1977), anota para olivinos de peridotitas tectónicas, contenidos de Fo que varían entre 87 y 94% traslapando en parte, con la composición de los olivinos presentes en cúmulus ultramáficos cuyo contenido en Fo varía de 80 a 90%, siendo, además, derivados en este último caso, de un magma parental toleítico.

Aunque los pocos datos disponibles podrían sugerir contenidos altamente magnesianos para las dunitas y cromitas de Medellín (ALVAREZ, 1982), no es posible sacar una conclusión definitiva en este aspecto, tanto por la precisión del método utilizado en la determinación de Fo, como por los pocos análisis efectuados.

En conclusión, dados los antecedentes, sería lógico suponer que los cuerpos de cromitas de Medellín, se habrían originado en la parte más baja de la zona de transición de una ofiolita, junto con las masas duníticas que las albergan, como producto de acumulación magmática en bolsas o en cámaras estrechas comunicadas por canales que conducirían magma basáltico hacia la corteza suprayacente en expansión.

6. BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, J., 1982.- *Tectonitas dunitas de Medellín*, Depto. de Antioquia Colombia. Inf. 1896, INGEOMINAS, Medellín, 62 p.
- _____, 1985.- *Ofiolitas y evolución tectónica del Occidente Colombiano*. Inf. 1988, INGEOMINAS, Medellín, 30 p.
- BOTERO, G., 1963.- *Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia*. An. Fac. Minas (Medellín) 57: 101 p.

- CASSARD, D., NICOLAS, A., RABINOWITCH, M., MOUTTE, J., LEBLANC, M. and PRINZHOFER, A., 1981.- *Structural classification of chromite pods in southern New Caledonia*. *Econ. Geol.*, 76: 805-831.
- COLEMAN, R. G., 1971.- *Plate tectonic emplacement of upper mantle peridotites along continental edges*. *Jour. Geophys. Res.* 76: 1212-1222.
- _____, 1977.- *Ophiolites*. Springer, Heidelberg., 229 p.
- DICK, H. J. B., 1977.- *Parcial melting in the Josephine peridotite, the effect on mineral composition and its consequence for geobarometry and geothermometry*. *Am. J. Sci.*, 277: 801-832.
- DICKEY, J. S. Jr., 1975.- *A hypothesis of origin for podiform chromite deposits*. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 39: 1061-1075.
- DIETZ, R. S., 1963.- *Alpine serpentinites as oceanic rind fragments*. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 74: 947-952.
- ECONOMOU, M., 1983.- *Platinum group metals in chromite ores from the Vourinos ophiolite complex, Greece*. *Ofioliti*, 8(3): 339-356.
- _____, 1984.- *On the chemical composition of the chromite ores from the Chalkidiki Peninsula, Greece*. *Ofioliti*. 9 (2): 123-134.
- GEOMINAS, Ltda., 1973.- *Proyecto Cromitas. Exploración Geológica. Primera Etapa*, 45 p.
- _____, 1975.- *Proyecto cromitas. Inf. final* 39 p.
- JARAMILLO, J. M., POSADA, J. H. y SERNA, R., 1971.- *Serpentinites que afloran en la parte oriental del Valle de Medellín y sus minerales asociados*. *Fac. Minas, Medellín. Tesis de grado, ined.*, 74 p.
- LAGO, B. L., RABINOWICZ, M. and NICOLAS, A., 1982.- *Podiform chromite orebodies: A genetic model*. *J. Petrology* 23: 103-125.
- LEBLANC, M., DUPUY, C., CASSARD, D., MOUTTE, J., NICOLAS, A., PRINZHOFER, A., RABINOWITCH, M. and ROUTHIER, P., 1979.- *Essai sur la genese des corps podiformes de chromite dans les peridotites ophiolitiques: Etude des chromites de Nouvelle-Caledonie et comparaison avec celles de Mediterranée Orientale*. *Internat. Ophiolite Simp., Nicosia, Cyprus*, 691-701.
- NACIONES UNIDAS - INGEOMINAS, 1976.- *Investigación detallada de los cuerpos ultrabásicos de Medellín (Depto. de Antioquia)*. *Inf. Técnico*, 37 p.
- NICOLAS, A. and PRINZHOFER, A., 1983.- *Cumulative or Residual origin for the transition zone in ophiolites: Structural Evidence*. *Journ. Petrol.* 24 (2): 188-206.
- PANAYIOTOU, A., 1978.- *The mineralogy and chemistry of the podiform chromite deposits in serpentinites of the Limassol Forest*. *Cyprus. Miner. Deposita*, 13: 259-274.
- PRINZHOFER, A., NICOLAS, A., CASSARD, D., MOUTTE, J., LEBLANC, M., PARIS, J. P. and RABINOWITCH, M., 1980.- *Structures in New Caledonia peridotites - gabbros: implications for oceanic mantle and crust*. *Tectonophysics*, 69: 85-112.
- STEVENS, R. E., 1944.- *Composition of some chromite of the western hemisphere*. *Am. Mineral.* 29, 1-39.
- THAYER, T. P., 1960.- *Some critical differences between alpine-type and stratiform peridotite-gabbro complexes*. *Internat. Geol. Cong. 21 st Copenhagen. 1960, Rept., Norden, pt. 13: 247-259*.
- _____, 1964.- *Principal features and origins of podiform chromite deposits, and some observations on the Guleman-Soridag district, Turkey*. *Econ. Geol.*, 59: 1497-1524.
- _____, 1969.- *Gravity differentiation and magmatic reemplacemnt of podiform chromite deposits*. *Econ. Geol. Mon* 4: 132-146.
- _____, 1970.- *Chromite segregations as petrogenetic indicator*. *Geol. Soc. South Africa. Spec. Publ.*, 1: 380-390.

