

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.

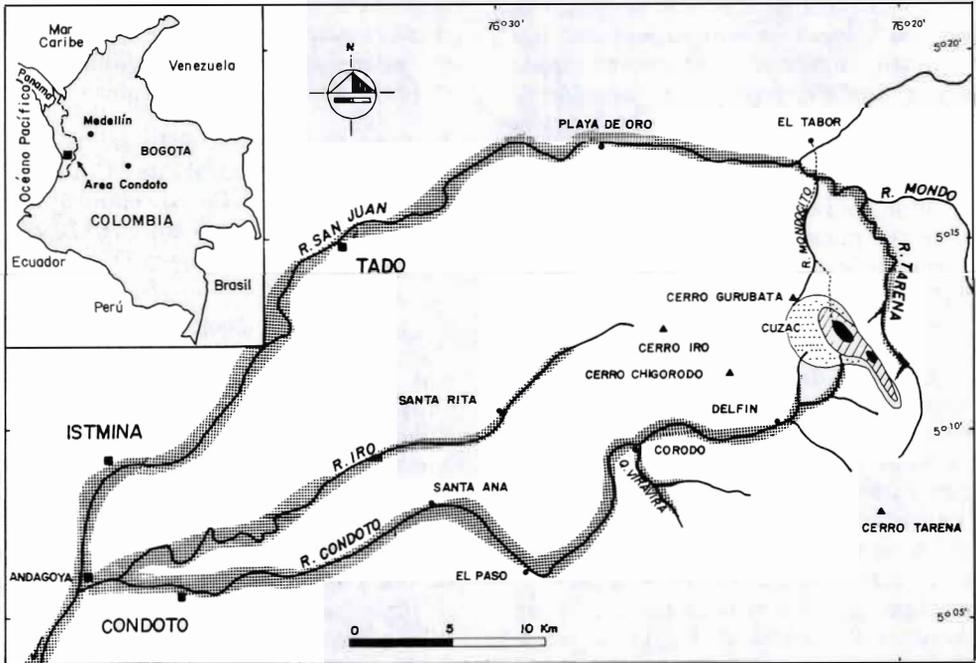


Figura 1. Localización del área

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-

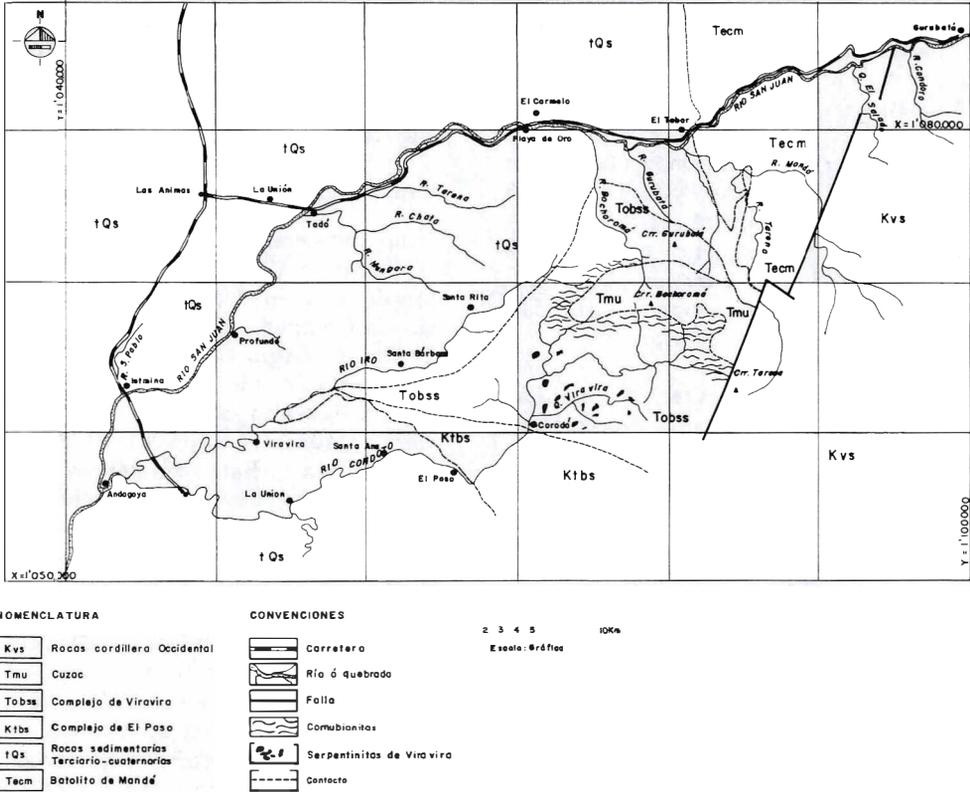


Figura 2: Geología del área.

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 volcانو - 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, clinozoisita, 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.

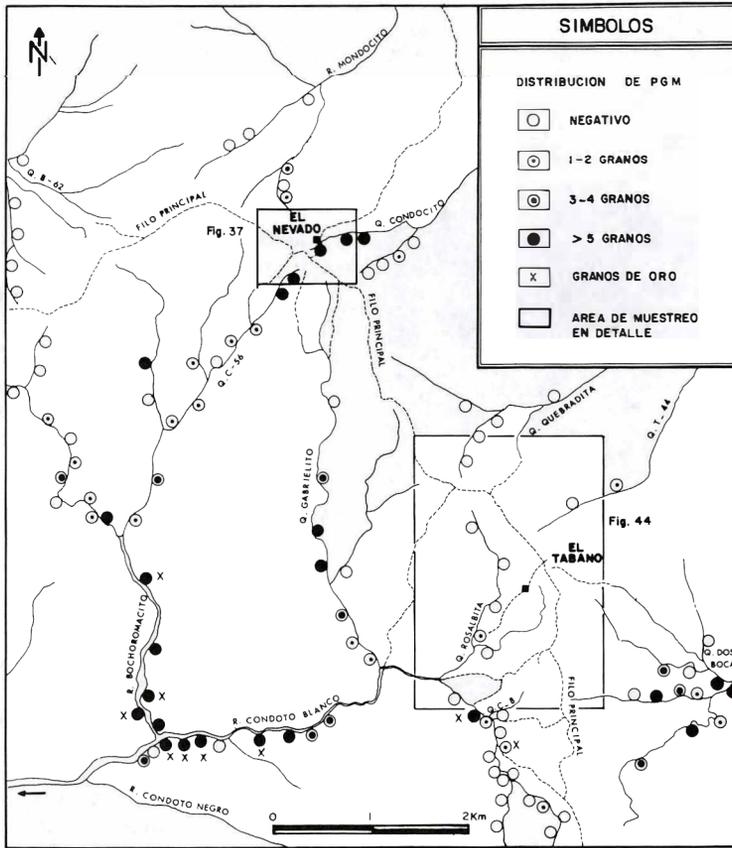


Figura 4: Distribución de PGM y Oro en concentrados en batea en las cabeceras del río Condoto.

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).

