

**DISTRIBUCION DE CROMO, NIQUEL Y COBALTO EN UN AMBIENTE
EXOGENO RELACIONADO AL CUERPO ULTRABASICO
DE ITUANGO**

Informe 1849

Por:

RAUL H. MUÑOZ ARANGO
Instituto Nacional de Investigaciones
Geológico-Mineras

CONTENIDO

RESUMEN	76
1. INTRODUCCION	76
1.1. OBJETIVOS DEL TRABAJO	76
1.2. LOCALIZACION	76
1.3. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	76
1.4. METODOS DE TRABAJO	78
1.5. AGRADECIMIENTOS	78
2. MARCO GEOLOGICO	78
3. GEOQUIMICA	79
3.1. COMPORTAMIENTG DE LOS ELEMENTOS CROMO, NIQUEL Y COBALTO EN EL CUERPO ULTRAMAFICO	80
3.2. INTERPRETACION	80
3.2.1. CARACTER GEOQUIMICO	82
3.2.1.1. <i>El cromo</i>	82
3.2.1.2. <i>El cobalto y el níquel</i>	82
3.3. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS VALORES DE CROMO, NIQUEL, Y COBALTO	84
3.4. RESULTADOS	84
4. CONCLUSIONES	89
5. RECOMENDACIONES	89
6. BIBLIOGRAFIA	90

FIGURAS

1. Localización y geología en el área del cuerpo ultrabásico de Ituango	77
2. Distribución de valores de Cr, Ni y Co en concentrados en batea de la peridotita de Ituango y de las rocas encajantes	81
3. Histogramas de valores de Co, Ni en concentrados en batea. Peridotita	83
4. Histogramas de valores de Co, Ni y Cr en concentrados en batea. Esquistos.	83
5. Diagrama de correlación entre pares de elementos trazas en concentrados en batea de la peridotita	85
6. Curvas de frecuencia acumulativas para los elementos Cr, Ni y Co en concentrados en batea. Peridotita	88
7. Curvas de frecuencias acumulativas para los elementos Cr, Ni y Co en concentrados en batea. Esquistos	88

TABLAS

1. Determinación de parámetros estadísticos de los elementos Cr, Ni y Co. Area de Ituango	86
2. Frecuencia de los elementos Cr, Ni y Co en concentrados en batea de peridotitas y esquistos. Area de Ituango	87

RESUMEN

Se presentan en este trabajo los resultados de un estudio geoquímico en rocas ultrabásicas de Ituango (Antioquia), región norte de la Cordillera Central.

Cincuenta y una muestras de concentrados en batea fueron analizadas espectrográficamente para medir los contenidos de Cr, Ni y Co en ellas. Estos oligo-elementos muestran una relación directa con las unidades litológicas de la zona y sirven para la delimitación y caracterización geoquímica de las rocas ultramáficas y metamórficas existentes en el área de estudio.

Se pudo determinar un aumento en el contenido de Cr en el cuerpo ultramáfico, en una tendencia que varía de sur a norte, siendo el valor promedio de 15.100 ppm; los valores de este mismo elemento en el área donde afloran rocas metamórficas del Grupo Valdivia es de 3.745 ppm. Para el Co y Ni la distribución es muy homogénea en las dos unidades litológicas.

Tres valores altos de Cr (50.000 ppm) se hallaron en el centro del cuerpo ultramáfico; estos valores están relacionados con una zona de intenso fracturamiento y serpentización y posiblemente indique un área anómala para dicho elemento, que es necesario investigar con más detalle.

1. INTRODUCCION

En el año 1979, INGEOMINAS inició en la Regional de Medellín un programa para estudiar las características litogeoquímicas de los llamados complejos "ofiolíticos", que afloran en la parte norte de la Cordillera Central; simultáneamente se están llevando a cabo estudios de prospección geoquímica para la búsqueda de posibles ocurrencias de cromita.

Este trabajo se presenta como una continuación del estudio que se hizo en las cromitas de Santa Elena (ALVAREZ y MUÑOZ, 1981); en él se indican los resultados obtenidos del estudio de prospección geoquímica, realizado en un cuerpo ultrabásico de unos 30 km², que se halla localizado en las cercanías del municipio de Ituango, al noroeste del Departamento de Antioquia.

La investigación se inició en el mes de septiembre del año 1979, época en la que recolectaron 51 muestras de concentrados en batea durante el trabajo de campo. Posteriormente en los laboratorios del INGEOMINAS en Medellín, se efectuaron los análisis espectrográficos semicuantitativos para determinar el contenido de Cr, Ni y Co.

1.1. OBJETIVO

Esta investigación tiene como propósito fundamental determinar la concentración de los elementos cromo, níquel y cobalto en los concentrados de batea de los sedimentos, depositados en los canales activos de las quebradas que drenan el cuerpo ultrabásico de Ituango. Al mismo tiempo, estudiar la movilidad de dichos elementos, para ser utilizada como guía en futuros trabajos de prospección y ubicación de cuerpos ultrabásicos en un ambiente tropical.

1.2. LOCALIZACION

El área de estudio está ubicada en las vecindades del municipio de Ituango y tiene una extensión de 15 km², correspondiente a las hojas 104-III-B, D y 115-I-B del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), escala 1:25.000 (Fig. 1).

1.3. GEOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

El área presenta una topografía abrupta con elevaciones que fluctúan entre 400 y 1.800 m s.n.m.; las pendientes generalmente son mayores de 35° y los principales cursos fluviales que drenan la zona se encuentran en cañones relativamente profundos.

La zona comprende las cuencas de las quebradas Sardinas, Los Galgos y sus tributarios, que vierten sus aguas a los ríos Cauca e Ituango, respectivamente. El sistema de drenaje en el cuerpo ultrabásico es paralelo a subparalelo, con afluentes cortos con muy poca agua o carente de ella, los cuales desembocan en ángulo casi recto a la corriente principal.

Otros rasgo geomorfológico importante son las terrazas altas que se presentan en varios sitios de la cuenca drenada por la quebrada Sardinas; algunas en forma de cuña y otras disectadas por tributarios, son lengüiformes. Dichas terrazas tienen en general una

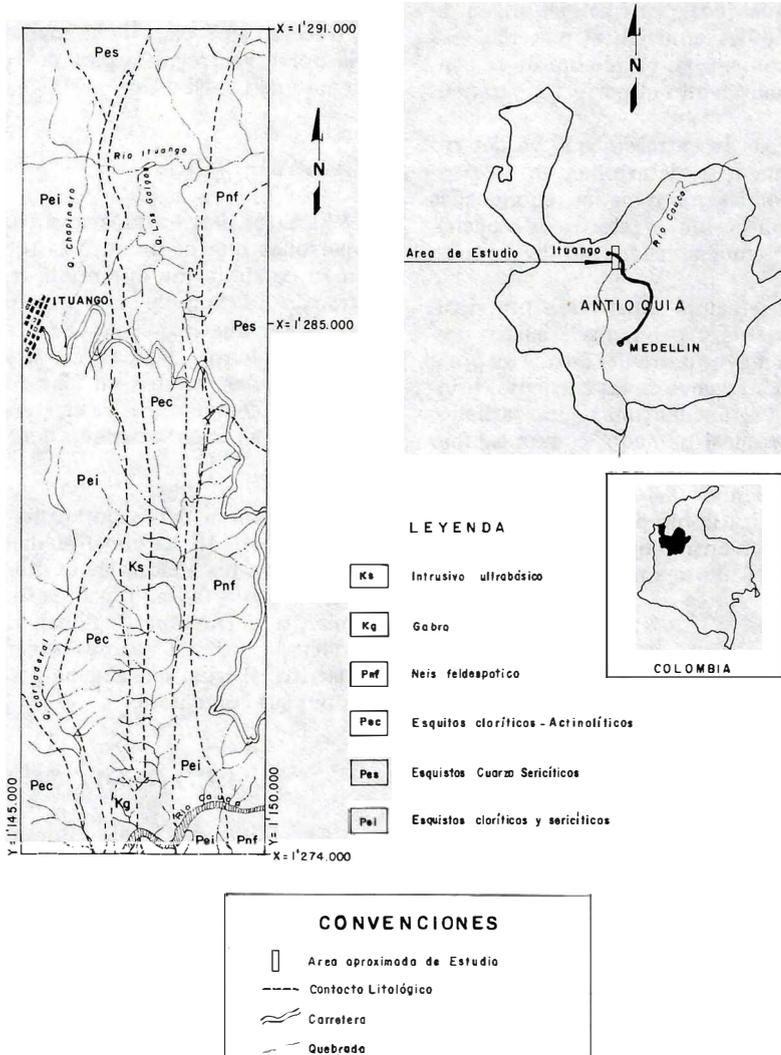


FIG. 1: Localización y geología en el área del ultrabásico de Ituango. (Modificado de Hall et al, 1972).

longitud menor de 1 km, acunándose hacia la ladera donde afloran las rocas ultramáficas. Están compuestas por bloques de dicha roca, de tamaño variable desde algunos centímetros a varios metros, cementados por material arcilloso y magnetita. La superficie de las terrazas es subhorizontal o inclinada menos de 10° al este, y están limitadas por paredes verticales mayores de 40 m de altura, con relación a la quebrada principal. El origen de dichas terrazas es coluvial; el material más reciente acumulado en el quiebre de la pendiente está suavizando el perfil topográfico.

Al sur de la carretera que va del río Cauca a Ituango, se desarrollan en las peridotitas, en colinas más o menos redondeadas con formación de suelos lateríticos especialmente en la cima aplanada de las mismas.

Una vegetación constituida principalmente por pastos y pequeños arbustos predomina en la mayor parte del área, excepto a lo largo de las márgenes de las corrientes principales donde se encuentran algunos árboles. El clima es tropical húmedo, con un cambio marcado en la temperatura de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar; hacia Ituango (1.700 m s.n.m.) la temperatura es de 17°C en promedio, mientras que en las cercanías del río Cauca (300 m s.n.m.), alcanza hasta 28°C .

1.4. METODOS DE TRABAJO

El trabajo de campo se llevó a cabo en el mes de septiembre de 1979 y durante el período de verano. En dicha época se recolectaron 51 muestras de concentrados en batea.

Se recolectaron sedimentos activos en cada una de las corrientes que drenan el cuerpo ultrabásico. Cada muestra es el resultado de una concentración de los materiales más pesados recuperados de la corriente activa; en ocasiones se hizo necesario hasta tres bateadas para poder obtener una cantidad suficiente de material concentrado. El espaciamiento entre cada muestra fue de 250 a 500 m, variable cuando se presenta la confluencia de dos corrientes; el muestreo no fue como se hubiera deseado.

El problema principal para una adecuada densidad del muestreo fue la existencia de

un drenaje exiguo, que disecta el cuerpo ultrabásico, carente de agua en el verano especialmente, además de que se tiene en la región una topografía abrupta de paredes muy fuertes; a pesar de ello se procuró tomar muestras aún en aquellos tributarios con flujo ocasional.

Las muestras obtenidas fueron posteriormente secadas, se pasaron por malla 80, y la fracción que pasó dicha malla fue analizada por espectrografía para determinar el contenido de Cr, Ni y Co.

1.5. AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma prestaron su colaboración durante la realización del trabajo de campo y en la preparación del informe. De una manera especial agradecer al geólogo Jairo Alvarez A., director del proyecto, quien mostró un interés permanente. Sus comentarios y sugerencias fueron tenidas en cuenta para enfocar la investigación.

Al personal del Laboratorio Químico del INGEOMINAS Regional Medellín, quienes realizaron los análisis geoquímicos de las muestras recolectadas. Finalmente mi agradecimiento al Director Regional, Humberto González I. por sus valiosas sugerencias al manuscrito, al igual que al geólogo Franklin Ortiz por sus comentarios.

2. MARCO GEOLOGICO

En el área de trabajo afloran rocas ultrabásicas del tipo peridotitas serpentinizadas y serpentinitas, asignadas por Hall et al. (1972), al Cretáceo, las cuales están encajadas dentro de gabros néisicos y esquistos metamórficos, que pertenecen muy probablemente al Grupo Valdivia de edad Paleozoico.

Las rocas ultramáficas conforman un cuerpo alargado norte-sur, de unos 15 km de longitud y de 250 m de ancho (Fig. 1). El costado oriental se caracteriza por fuertes pendientes, mayores de 35° , aparentemente como consecuencia de una falla. Hacia el costado occidental, el contacto aparentemente es tectónico y hay mucha mezcla de las rocas adyacentes con el cuerpo ultrabásico.

Macroscópicamente la roca ultramáfica es de color verde oscuro a gris verdoso con textura finogranular a foliada. Comúnmente se aprecian superficies de cizalladura. Su composición corresponde a una peridotita.

En el costado oriental del cuerpo ultramáfico, las rocas que afloran corresponden a esquistos cloríticos y sericíticos intercalados, de color azul grisáceo, grafitosos con presencia esporádica de cristales de andalucita, en forma de agujas y "tabacos" que se entrecruzan. Localmente dan la apariencia de ser filitas. También afloran esquistos cloríticos-actinolíticos de color gris medio a gris verdoso, finogranulares y finamente laminares. Dichas rocas al meteorizarse están originando suelos arcillosos que son de color rojo anaranjado.

La roca encajante del cuerpo ultramáfico, hacia el costado occidental, corresponde a un gabro néisico, aparentemente foliado, con fenocristales de hornblenda en una matriz félsica. Localmente muestra variaciones en la textura.

3. GEOQUIMICA

En la presente sección se hace un análisis de los resultados teniendo como base la distribución de los oligoelementos Cr, Ni y Co y sus comportamientos geoquímicos, que van a servir para caracterizar las dos unidades litológicas del área.

En esta caracterización no solo se tiene en cuenta la abundancia relativa y la distribución de estos oligoelementos, sino también diversos factores físicos externos y el posible aporte de contenido de un elemento por parte de minerales accesorios.

En el análisis, los resultados se separaron en dos clases: los que pertenecen a muestras recolectadas en quebradas que drenan el cuerpo ultramáfico y los que corresponden a muestras tomadas en corrientes que drenan las rocas metamórficas. Mediante un proceso estadístico se determinaron los valores normales (o background) en la unidad ultramáfica y en las rocas metamórficas y se compararon entre sí.

Esta primera separación muestra a grandes rasgos, que los contenidos de Cr y Ni sir-

ven para caracterizar las dos unidades litológicas, más no así el Co que presenta una distribución similar.

El contenido promedio detectado para Cr es más alto en las muestras pertenecientes al primer grupo (unidad ultramáfica), alcanzando un valor de 15.100 ppm; esto parece tener su explicación desde el punto de vista geoquímico, por ser el cromo un componente normal y abundante de las rocas que tienen los más altos porcentajes de olivino denominadas peridotitas; en cambio el contenido promedio (o de background) para Ni es relativamente bajo en esta unidad (830 ppm). Comparativamente el valor promedio de Ni en las muestras pertenecientes al segundo grupo (unidad metamórfica), de 811 ppm, que puede ser normal en este tipo de rocas. Los contenidos bajos en Ni, en las ultramafitas pueden ser explicados mediante el grado de serpentinización de la roca; parece que por estar la peridotita demasiado serpentinizada el contenido de Ni es mucho menor. Es posible que en sección delgada se pueda determinar el alto grado de serpentinización de la peridotita.

Se encontraron diferencias acentuadas en los contenidos de cromo a lo largo de uno o más afluentes que drenan el cuerpo ultrabásico, a pesar de que el muestreo no fue uniforme y que la mayor parte de la población de muestras corresponde a la margen oriental de dicho cuerpo. El mayor rango de valores es de 10.000 a 30.000 ppm en promedio.

El contenido disminuye hasta 1.500 ppm en las muestras recolectadas distante del cuerpo, donde se puede presentar una mezcla en los sedimentos fluviales, por el aporte de material que proviene de los esquistos; en algunas muestras hay valores altos, explicable por la presencia de derrumbes, localizados hacia el lado de la carretera, que aportan material pesado al canal de los afluentes que drenan esta zona.

Determinados los contenidos promedio de los elementos Cr, Ni y Co que sirven en parte para caracterizar geoquímicamente las dos unidades litológicas que afloran en el área, veamos en detalle las características del cuerpo ultramáfico y su comportamiento para estos oligoelementos.

3.1. COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS Cr, Ni Y Co EN EL CUERPO ULTRABÁSICO AREA DE ITUANGO

La concentración de Cr, Ni y Co define cuatro zonas (Fig. 2): la primera, localizada en la parte sur del cuerpo ultrabásico, se caracteriza por contenidos bajos de Cr con un rango de valores que fluctúa entre 500 y 10.000 ppm en promedio; Ni, entre 300 y 1.000 ppm y Co, entre 10 y 30 ppm en promedio; es una zona con drenajes que tiene canales en formación que drenan la peridotita, con muy poca agua y sin el suficiente poder de arrastre para transportar el material más pesado hasta la corriente principal.

La segunda zona comprende desde el afluente Ventiadero hasta la Cañada Tesoro, donde se presentan corrientes de más longitud y con más caudal de agua que en el área anterior, lo que permite que una mayor cantidad de sedimentos fluviales puedan ser transportados; también hay presencia de cubiertas lateríticas que están siendo drenadas por afluentes que pueden aportar material pesado a los canales. La concentración de Cr, Ni y Co es mayor notándose un incremento en los tres elementos proporcionalmente. Los valores, en promedio, para el Cr fluctúan entre 300 y 30.000 ppm, para el Ni entre 500 y 1.000 ppm y para el Co entre 10 y 50 ppm.

La tercera zona es la más pequeña y comprende las cabeceras de la quebrada Los Galgos, cerca a la carretera; está caracterizada por la mayor concentración de Cr (50.000 ppm), más no así el Ni y el Co que no aumentan en la misma proporción. Los valores, en promedio, para Cr varían entre 15.000 y 50.000 ppm, para el Ni entre 700 y 1.500 ppm y para el Co permanece constante el valor de 50 ppm. El alto contenido de cromo puede deberse al fracturamiento de la serpentinita y de la roca huésped lo que ha facilitado el arranque y transporte del material pesado hasta el canal de la quebrada, sin descartar una posible contaminación debida al aporte de material extraído de la carretera.

La cuarta zona comprende la parte norte del cuerpo ultrabásico y está caracterizada por contenido altos en Cr, en valores promedio que fluctúan entre 5.000 y 30.000

ppm; el Ni varía entre 700 y 1.500 ppm y el Co entre 30 y 50 ppm. El incremento en la concentración de estos tres elementos, está relacionado con una mayor cantidad de material pesado encontrado en el canal de los afluentes, material que proviene en su mayor parte, del cuerpo ultrabásico que aflora en la pared aledaña a la quebrada principal que drena esta zona.

3.2. INTERPRETACION

El análisis de los datos indica que el Cr tiene un contenido mayor en los concentrados de la peridotita que en los esquistos, mas no así el Ni y el Co que muestran una distribución muy homogénea en los concentrados de las dos unidades litológicas. En la peridotita los valores mayores se localizan de la parte central hacia el norte del área en estudio. Se tiene además, que en los sitios donde las muestras presentan un mayor contenido en Cr, es donde la peridotita presenta un fracturamiento más intenso, acompañado de un alto grado de alteración y meteorización, lo que puede indicarnos que parte del cromo existente en los componentes félicos de la peridotita, haya sido liberado durante la meteorización y solamente pequeñas cantidades de óxido como cromita, magnetita e ilmenita, se hayan acumulado en los sedimentos inatacados, por ser los minerales antes citados resistentes a la meteorización.

En los siguientes parágrafos se indican los resultados, que se han separado en dos grupos: los pertenecientes al cuerpo ultrabásico y los de esquistos, teniendo en cuenta la localización de la muestra y el contenido de minerales máficos y félicos en cada muestra. La interpretación se hace mediante gráficos, tablas y comparación entre éstos, que nos muestran la distribución de los elementos Cr, Ni y Co en el área de estudio.

Los histogramas (Fig. 3) para Cr, Ni y Co en la peridotita presentan las siguientes características: El Cr muestra una distribución entre 1.000 y 50.000 ppm, reflejando una curva asimétrica, aunque no muy marcada, negativa y unimodal; la forma es alargada, con un valor modal de 10.000 ppm, siendo este valor común en 13 muestras de las 33 recolectadas en los afluentes que drenan esta unidad litológica; 11 muestras tienen un contenido por encima de 10.000 ppm, lo que implica que las 2/3 partes de

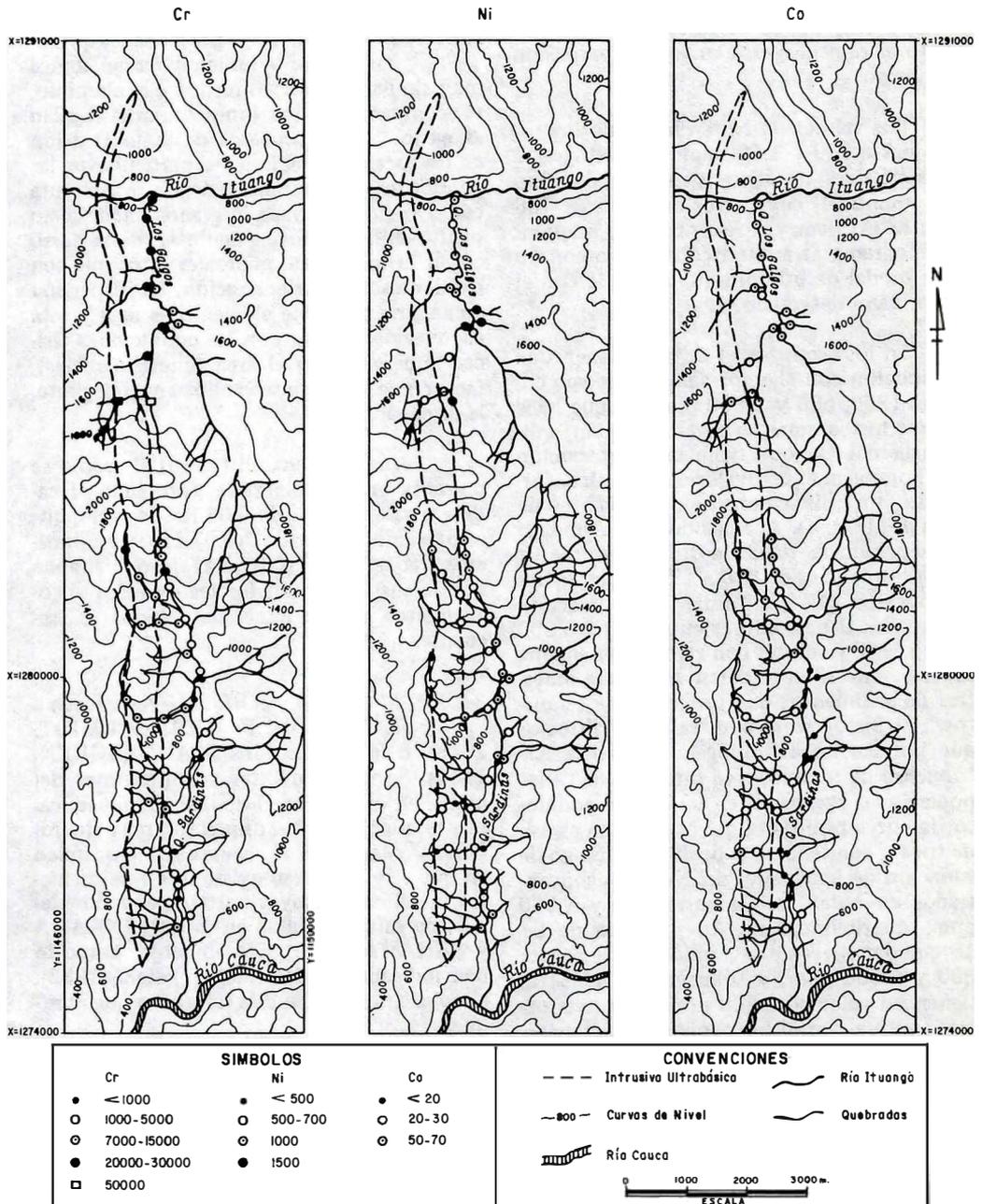


FIG. 2: Distribución de valores de Cr, Ni y Co en concentrados en batea de la peridotita de Ituango y de las rocas encajantes.

estas muestras tienen un rango de variación entre 10.000 y 50.000 ppm. Los valores "altos" de cromo no se encuentran agrupados en áreas específicas con excepción de tres valores detectados en la tercera zona. Por lo tanto la distribución de valores para este elemento es muy dispersa en toda la extensión del cuerpo.

Los valores de Ni, en la peridotita, oscilan entre 300 y 1.500 ppm. El histograma es asimétrico, negativo, siendo la distribución unimodal, cuyo valor modal es de 700 ppm. El Co tiene valores entre 15 y 50 ppm; el histograma es asimétrico negativo con un valor modal de 50 ppm que coincide con el mayor valor detectado.

En los esquistos el Cr y Ni tienen una distribución con algunos valores que son comunes (300, 500 y 1.500 ppm) lo que hace que sus histogramas en parte coincidan, a diferencia del Co que tiene una distribución más homogénea, con valores más bajos, formando un histograma independiente de otros dos (Fig. 4). Analizando cada elemento por separado se tiene: la distribución de Cr en esta unidad es de 300 a 1.500 ppm; de las 18 muestras que conforman esta población, 13 de ellas tienen valores entre 300 y 3.000 ppm y las 5 restantes con valores por encima de éste, que se consideran altos para muestras de sedimentos que provienen de esquistos. El histograma muestra varios altibajos que indican poca homogeneidad en la distribución del cromo, o la presencia de varias poblaciones agrupadas en un mismo conjunto; la curva resultante del histograma es asimétrica y con tendencia positiva. El rango de variación de los valores del Ni en los concentrados en batea, oscila entre 300 y 1.500 ppm, distribuidos así: 16 muestras de las 18 que pertenecen a esta unidad varían entre 300 y 1.000 ppm, y solamente 2 muestras tienen un valor de 1.500 ppm. La curva formada al suavizar el histograma es asimétrica, unimodal, con un valor modal de 1.000 ppm.

La distribución del Co en los concentrados oscila entre 10 y 50 ppm, con un valor modal de 15 ppm, siendo la curva asimétrica positiva.

3.2.1. CARACTER GEOQUIMICO

Teniendo en cuenta las características físico-químicas de los elementos Cr, Ni y Co

y la afinidad geoquímica que poseen con otros oligoelementos, se investigó la presentación y la conducta que siguen durante el ciclo exógeno.

3.2.1.1. El cromo.- Tiene propiedades químicas, tamaño iónico y carga iónica muy similares al hierro férrico y al aluminio, y acompaña a estos iones durante el ciclo exógeno. En los procesos de meteorización de las rocas ultrabásicas, en particular en las peridotitas, el contenido de Cr se presenta como cromita formando granos pequeños o sustituyendo diadóticamente al hierro férrico en la magnetita, minerales éstos que son resistentes a la meteorización. La dispersión secundaria para este elemento es baja y está en relación directa con las condiciones físicas imperantes en el área (que son malas), factor que está controlando, en gran parte, la dispersión.

Según Zachariassen (1948) el cromo se presenta en los minerales, formando el catión trivalente Cr^{3+} de 0.64 Kx de radio, que es parecido al del Al^{3+} (0.57Kx), y en particular, al del Fe^{3+} (0.67 Kx), lo que supone que la sustitución diadótica de estos oligoelementos en los minerales citados es frecuente.

3.2.1.2. El cobalto y el níquel.- Pertenecen a la familia del Fe (GOLDSCHMIDT, 1958) o a los férridos (LANDERGRÉN, 1943). Son los parientes más próximos del hierro en el Sistema Periódico. Geoquímicamente el cobalto y el níquel son muy siderófilos, y cuando en el sistema físico-químico en que se encuentran existe una fase de hierro metálico, la mayor parte de aquellos elementos está contenida en ésta (RANKAMA y SAHAMA, 1962). Sin embargo, como lo han indicado Goldschmidt y Peters (1932), el cobalto es mucho más siderófilo que el níquel.

El Ni^{2+} y el Co^{2+} son coherentes geoquímicamente, debido a su posición en el Sistema Periódico y puede ocurrir una sustitución diadótica del primer oligoelemento mencionado por Mg^{2+} y del segundo por Fe^{2+} . Según Goldschmidt (1958) los radios iónicos son los siguientes: Ni^{2+} (0.78 Kx), Mg^{2+} (0.78 Kx), Co^{2+} (0.82Kx) y Fe^{2+} (0.83 Kx).

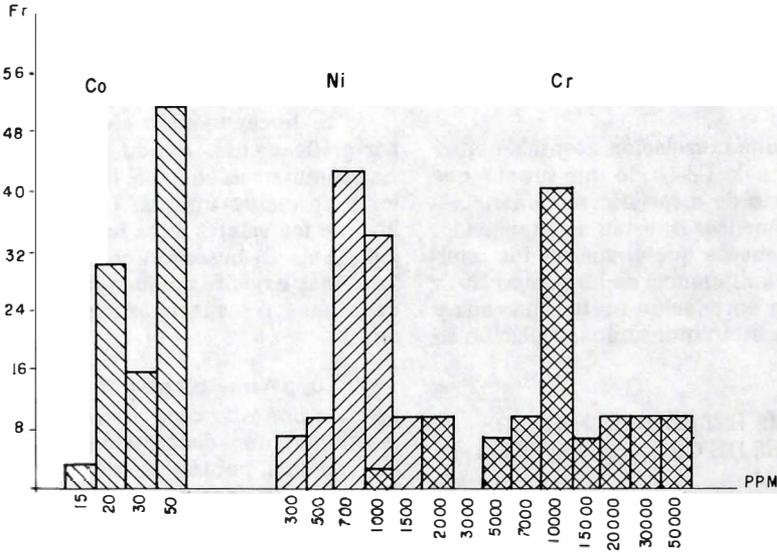


FIG. 3: Histogramas de valores de Co, Ni y Cr en concentrados en batea. Peridotita.

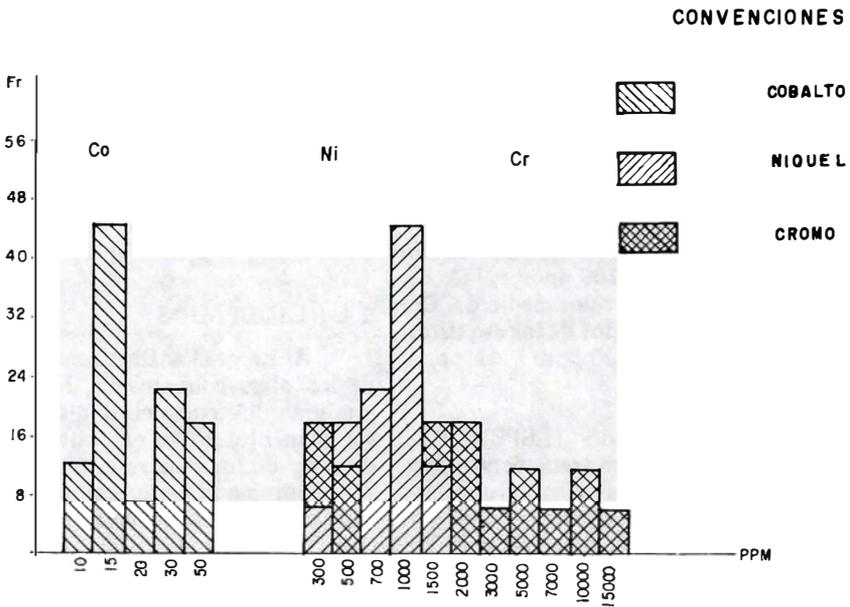


FIG. 4: Histogramas de valores de Co, Ni y Cr en concentrados en batea. Esquistos.

Durante el ciclo de meteorización de las rocas ultrabásicas, en especial las peridotitas, los contenidos de Ni y Co pueden encontrarse, en parte, en los minerales atacados cromita, magnetita e ilmenita, en minerales ferromagnesianos (olivino) y en hidrosilicatos.

Existe una correlación aceptable entre los contenidos de Co-Ni, lo que supone que durante el ciclo de dispersión secundaria, este par de elementos se están acompañando, teniendo en cuenta que el análisis fue semicuantitativo, a diferencia de las parejas Ni-Cr que muestran correlación no tan marcada y Co-Cr que no están indicando correlación alguna (Fig. 5).

3.3. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS VALORES DE CROMO, NIQUEL Y COBALTO

En la determinación de parámetros estadísticos se utilizaron tres métodos de análisis, que dieron como resultado valores distintos para los parámetros buscados.

El primer método (HAWKES and WEBB, 1962) consiste en el ordenamiento de los datos de cada uno de los elementos en cada unidad litológica, haciendo que el 50% del número de observaciones equivalga al valor normal y el 2.5% del total de observaciones sea el valor umbral (Tabla 1A); mediante este sistema únicamente se obtuvo el primer valor mencionado, más no el segundo por ser muy reducido el número de muestras recolectadas. La distribución es la siguiente: en los concentrados de los afluentes que drenan la peridotita, el Cr tiene un valor medio de 10.000 ppm, el Ni de 700 ppm y el Co de 50 ppm; a diferencia del valor medio del Cr, Ni y Co en los concentrados de los esquistos que es de 1.500 ppm, 700 ppm y 15 ppm, respectivamente.

El segundo método (LEPELTIER, 1969) consiste en hacer un tratamiento estadístico de todos los datos de un mismo elemento en cada unidad litológica, el cual dio como resultado el poder determinar todos los parámetros estadísticos buscados (Tabla 1B). En los concentrados de la peridotita el Cr tiene un valor medio de 15.000 ppm y un valor umbral de 42.000 ppm; el Ni tiene un valor medio de 830 ppm, un valor umbral de 1.412 ppm y el Co un valor medio de 37

ppm y un valor umbral de 65 ppm. En los concentrados de los esquistos, el Cr tiene un valor medio de 3.744 ppm, un valor umbral de 11.911; el Ni un valor medio de 811 y un valor umbral de 1.380; el Co un valor medio de 21 ppm y un valor umbral de 45 ppm.

El tercer método consiste en determinar gráficamente, usando curvas de frecuencia acumulativas en papel logarítmico, los valores normal y umbral. La acumulación se hizo de los valores altos hacia los valores bajos (Tabla 2) buscando con esto que los valores más bajos se ubiquen hacia un extremo de la línea, o sea la parte más imprecisa de la misma.

Los parámetros así obtenidos fueron imprecisos por estar cada elemento geoquímico mostrando una distribución de valores con más de una población, además de estar el quiebre de la línea recta cerca al nivel del 50% o por encima de éste lo que implica hacer una interpretación subjetiva en cada uno de los casos.

Los valores obtenidos fueron los siguientes: en los concentrados en batea en la peridotita, el Cr tiene un valor normal (\bar{X}) de 12.000 ppm y un valor umbral (t) de 25.000 ppm; para el Ni son de 950 ppm y 1.800 ppm, y para el Co el valor normal es de 35 ppm y el umbral de 67 ppm (Fig. 6); en la unidad de esquistos los valores cambian sustancialmente, el Cr tiene un valor medio de 2.900 ppm y un valor umbral de 28.000 ppm, el Ni 900 ppm para el valor normal y 1.900 ppm, para el umbral y para el Co el valor medio es de 19 ppm y el valor umbral de 130 ppm (Fig. 7).

3.4. RESULTADOS

Al hacer el análisis estadístico de datos de los oligoelementos Cr, Ni y Co se nota una gran diferencia en la distribución de estos elementos en los concentrados de la peridotita y de los esquistos. Por encima del nivel determinado como umbral se obtuvieron algunos valores, considerados anómalos.

En los resultados de la peridotita, se determinaron tres valores "altos" para Cr, que corresponden a 50.000 ppm; dichos valores fueron detectados en muestras cuyo principal constituyente es material que proviene del cuerpo ultramáfico y luego fue de-

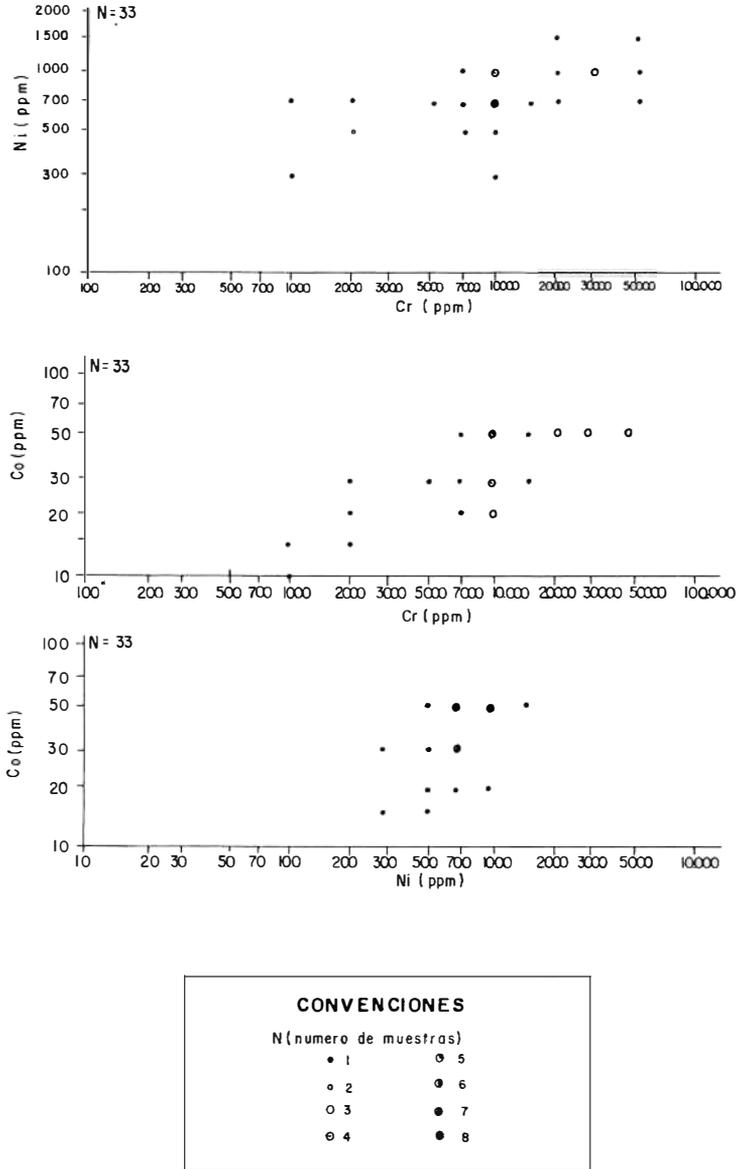


FIG. 5: Diagrama de correlación entre pares de elementos trazas en concentrados en batea de la Peridotita.

TAB. 1: Determinación de parámetros estadísticos de los elementos Cr, Ni y Co. Area de Ituango.

TABLA 1								
IA - Cálculo de valores utilizando el método de Hawkes and Webb, 1962.								
PERIDOTITA								
Contenido de Cr (ppm)	Número de observaciones	Contenido de Ni (ppm)	Número de observaciones	Contenido de Co (ppm)	Número de observaciones			
1000	1	300	2	15	1			
2000	3	500	3	20	10			
5000	2	700	14	30	5			
7000	3	1000	11	50	17			
10000	13	1500	3					
15000	2							
20000	3							
30000	3							
50000	3							
Valor medio = 10.000 ppm Valor umbral = 50.000 ppm		Valor medio = 700 ppm Valor umbral = 1500 ppm		Valor medio = 50 ppm Valor umbral =				
ESQUISTOS								
300	3	300	1	10	3			
500	2	500	4	15	9			
1500	3	700	4	20	1			
2000	3	1000	8	30	3			
3000	1	1500	1	50	2			
5000	2							
7000	1							
10000	2							
15000	1							
Valor medio = 1500 ppm Valor umbral = 1500 ppm		Valor medio = 700 ppm Valor umbral = 1500 ppm		Valor medio = 15 ppm Valor umbral = 50 ppm				
1B - Cálculo de valores utilizando métodos convencionales.								
Unidad Litológica	Elemento	Rango de valores	\bar{X}	t	σ_n	σ_{n-1}	$\sum x$	$\sum x^2$
Peridotita N=33	Cr	1000-50000	15091	41708	13308.4	13514.7	498000	13360000
	Ni	300-1500	830	1412	290.75	295.26	27400	25540000
	Co	15-50	37	65	14.02	14.24	1215	51225
Esquistos N=18	Cr	300-15000	3744	11911	4083.5	4201.9	67400	55250000
	Ni	300-1500	811	1380	284.6	292.8	14600	13300000
	Co	10-50	21	45	12.1	12.4	375	10425
\bar{X} : valor medio, t: valor umbral, σ_n : desviación estandar poblacional, σ_{n-1} : desviación estandar muestral, N= Número de muestras.								

86

TAB. 2: Frecuencia de los elementos Cr, Ni y Co en concentrados en batea de Peridotitas y Esquistos. Area de Ituango.

TABLA: 2						
PERIDOTITA						
Elemento y n(# de muestra)	Orden menor a mayor (ppm)	Frecuencia Relativa	F. R. %	Frecuencia Acumulada	F.A.C. %	
Cr	1	1000	1	3.00	33	100.00
	3	2000	3	9.00	32	96.90
	2	5000	2	6.00	29	87.80
	3	7000	3	9.00	27	81.80
	13	10000	13	39.40	24	72.70
	2	15000	2	6.00	11	33.30
	3	20000	3	9.00	9	27.20
	3	30000	3	9.00	6	18.10
	3	50000	3	9.00	3	9.00
	Ni	2	300	2	6.00	33
3		500	3	9.00	31	93.90
14		700	14	42.00	28	84.80
11		1000	11	33.00	14	42.40
3		1500	3	9.00	3	9.00
Co	1	15	1	3.00	33	100.00
	10	20	10	30.00	32	96.90
	5	30	5	15.00	22	66.00
	17	50	17	51.00	17	51.00
ESQUISTOS						
Cr	3	300	3	16.60	18	100.00
	2	500	2	11.10	15	83.33
	3	1500	3	16.60	13	72.22
	3	2000	3	16.60	10	55.55
	1	3000	1	5.55	7	38.88
	2	5000	2	11.10	6	33.33
	1	7000	1	5.55	4	22.22
	2	10000	2	11.10	3	16.66
	1	15000	1	5.55	1	5.55
	Ni	1	300	1	5.55	18
4		500	3	16.60	17	94.44
4		700	4	22.22	14	77.77
8		1000	8	44.40	10	55.50
1		1500	2	11.11	2	11.11
Co	3	10	2	11.10	18	100.00
	9	15	8	44.40	16	88.80
	1	20	1	5.55	8	44.40
	3	30	4	22.20	7	38.80
	2	50	3	16.60	3	16.60

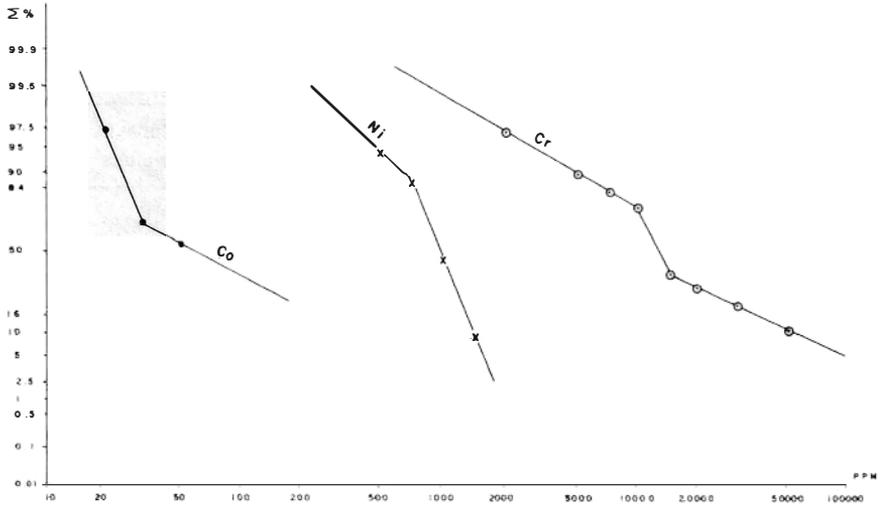


FIG. 6: Curvas de frecuencias acumulativas para los elementos Cr, Ni y Co en concentrados en batea, Peridotitas.

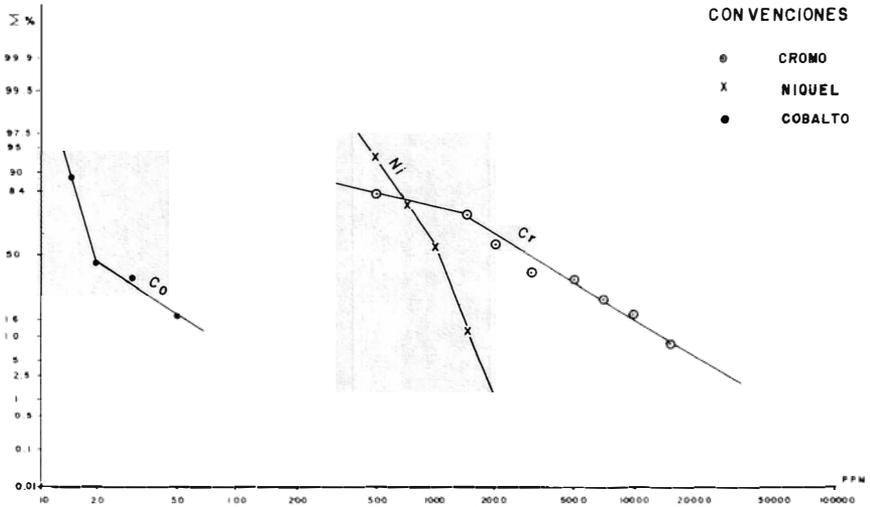


FIG. 7: Curvas de frecuencias acumulativas para los elementos Cr, Ni y Co en concentrados en batea, Esquistos.

positado y acumulado mediante procesos mecánicos, en varios períodos de fuerte escorrentía, en las quebradas La Eme y Mandarina. Puede existir cierta contaminación en las muestras en esta parte, por estar cerca a la carretera y por lo tanto, presentarse una adición de material que ha sido extraído de allí y no material que normalmente arrastra la corriente. El Ni en las muestras de esta misma unidad tiene dos valores "altos", por encima del valor umbral de 1.500 ppm, localizados en la misma quebrada. El Co no tiene valores por encima del valor umbral.

En los resultados de los esquistos se detecto un valor "alto" para Cr de 15.000 ppm, dos valores para Ni de 1.500 ppm y dos valores para Co de 50 ppm; estos valores corresponden a las muestras localizadas en la parte media de la quebrada Los Galgos. Los "altos" valores en Cr y Ni pueden ser debidos a un aporte de minerales pesados que provienen de la unidad ultrabásica, lo que ocasionó una mezcla del material en el canal de la quebrada, incrementándose de esta manera los contenidos en estos elementos. El Co tiene dos valores por encima del valor umbral siendo, en general, la distribución de valores muy homogénea.

4. CONCLUSIONES

Varios aspectos se emplearon para evaluar los resultados del presente estudio geoquímico. El primero hace énfasis en las relaciones entre los datos geoquímicos obtenidos y la geología local, y el segundo enfatiza una sencilla evaluación estadística de los valores de los oligoelementos Cr, Ni y Co.

El Cr es el elemento que está caracterizado geoquímicamente en el cuerpo ultrabásico. A diferencia del Co que presenta, en general, una distribución muy homogénea en toda el área, con valores demasiado bajos, siendo los datos de la unidad metamórfica relativamente los más bajos. El Ni muestra diferencias en la distribución de valores, siendo menores los del cuerpo ultrabásico comparados con los de la unidad metamórfica.

Mediante el reconocimiento geoquímico se determinaron variaciones en los contenidos de Cr, Ni y Co en el cuerpo ultramáfico; hay una marcada tendencia de aumento

del contenido en estos elementos de sur a norte, siendo más notoria a partir de la parte central. Es relevante que los valores son más altos en las partes donde la roca ultrabásica está más fracturada, meteorizada y alterada, lo que permite un mayor aporte de cromita a los canales de las corrientes y por consiguiente una mayor liberación de cromo.

Los contenidos de Ni y Co en el cuerpo ultrabásico, están indicando una buena correlación en un ambiente secundario, de tal manera que parecen seguir una misma trayectoria durante el ciclo de dispersión secundaria; no acontece igual con los contenidos de Ni y Cr que muestran una pobre correlación y con los de Co-Cr que presentan una correlación negativa.

A pesar de que las condiciones fisiográficas del área no son favorables, se determinó una pequeña zona, parte central, delimitada por tres valores altos (50.000 ppm) para Cr. Dichos valores al parecer tienen que ver con el intenso fracturamiento y serpentinización de la roca ultrabásica y de la roca encajante.

Los valores tan bajos en Cr, Ni y Co parece que tienen relación con la poca cantidad de material pesado existente en los canales de las corrientes que drenan el cuerpo ultrabásico; las causas son una topografía demasiado abrupta y un drenaje inmaduro, carente de agua en algunos sitios.

5. RECOMENDACIONES

Varias son las sugerencias para obtener un mejor detalle del área. Es recomendable hacer un muestreo de roca y establecer qué valores se detectan para Cr, Ni y Co; esto permite una comparación real de los valores en un ambiente primario y lo que acontece en un ambiente secundario, con la finalidad de delimitar áreas anómalas.

Además, utilizar otro tipo de análisis distinto al de espectrografía para las mismas muestras, con el fin de obtener datos más precisos, y observar los concentrados al microscopio binocular para determinar los minerales presentes, así como el porcentaje de cromita que hay en cada muestra.

Es posible que mediante un muestreo de sedimentos activos finos, debido a la po-

ca cantidad de material pesado que movilizan las corrientes, se detecten valores más altos para Ni y Co, teniendo en cuenta que las rocas serpentínicas que se derivan de la peridotita son propensas a contener mucho níquel, además de la presencia de cubiertas lateríticas en el área.

Si se desea continuar estudios en el área, a partir de los definidos por el muestreo de concentrados en batea, se recomienda ha-

cer un levantamiento geofísico, acompañado de un muestreo detallado de suelos sobre retícula en la zona central y norte del cuerpo ultrabásico, en el cual se utilice el mismo horizonte para la recolección de las muestras y un espaciamiento no mayor de 25 m entre perfil y perfil. Esto permitirá una mejor delimitación de la zona donde se encontraron valores altos y a la vez permite examinar en profundidad la variación en el contenido de los elementos Cr, Ni y Co.

6. BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, J. y MUÑOZ, R., 1981.- *Distribución de cromo, níquel y cobalto en la saprolita y en los concentrados de sedimentos fluviales derivados de las dunitas de Medellín. Inf. 1841*. Ingeominas, 46 p. Medellín.
- GOLDSCHMIDT, V.M., 1958.- *Geochemistry*. Alez Muir Ed., Oxford, 730 p. London.
- GOLDSCHMIDT, V.M. und PETTERS, Cl. 1932b.- *Zur Geochemie der Edelmetalle*. Nachr Ges. Wiss. Göttingen, Math - Physik. Klasse III; IV, p. 165.
- HALL, R., ALVAREZ, J. y RICO, H., 1972.- *Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-Zona II-A)*. Bol. Geol. Vol. XX, No.1. Bogotá.
- HAWKES, H. E. and WEBB, J.S., 1962.- *Geochemistry in Mineral Exploration*. Harper & Row Ed., 415 p. New York.
- INGEOMINAS, 1978.- *Recursos Minerales de Colombia*. Pub. Geol. Esp. del Ingeominas No. 1, 544 p. Bogotá.
- KRAUSKOPF, K., 1967.- *Introduction Geochemistry*. Mac-Graw Hill Ed., 721 p. New York.
- LANDERGREN, S., 1943.- *Geochemiska studier över Grängesbergfältets Järnmalmer*. Ing. Vetenskaps Akad. Handl. 172.
- LEPELTIER, C.A., 1969.- *A Simplified Statistical Treatment of Geochemical Data by Graphical Representation*. Econ. Geol., Vol. 64, pp. 538-550.
- MUÑOZ, R., 1978.- *Prospección Geoquímica en la cuenca de los ríos Guadalupe - Porce*. Tesis de grado (inédita), Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín.
- RANKAMA, K. y SAHAMA, Th. G., 1962.- *Geoquímica*. Ed. Aguilar, 862 p. Madrid.
- ROSE, A., HAWKES, H. y WEBB, J., 1979.- *Geochemistry in Mineral Exploration*. Second Edition. Academic Press Ed., 657 p. London.
- ZACHARIASEN, W.H., 1948.- *Crystal radii of the heavy elements*. Phys. Rev. 73, p. 1104.

* * *