



**SUBDIRECCIÓN DE GEORRECONOCIMIENTO**  
**PROYECTO COMPILACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**  
**GEOQUÍMICA**

**INFORME FINAL**  
**LEVANTAMIENTO GEOQUÍMICO EN LA PLANCHA 5-09**

**TOMO 3**  
**INTERPRETACION GEOQUÍMICA DE BAJA DENSIDAD**  
**CON GEOLOGÍA Y MINERALIZACIONES EN LA PLANCHA 5-09**

**Bogotá, D. C., diciembre de 2001**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA, MINERO-AMBIENTAL Y NUCLEAR



**REPÚBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA,  
MINERO-AMBIENTAL Y NUCLEAR  
INGEOMINAS**

**PROYECTO COMPILACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN  
GEOQUÍMICA**

**INFORME FINAL  
LEVANTAMIENTO GEOQUÍMICO EN LA PLANCHA 5-09  
TOMO 3  
INTERPRETACION GEOQUÍMICA DE BAJA DENSIDAD  
CON GEOLOGÍA Y MINERALIZACIONES EN LA PLANCHA 5-09**

Por: Orlando Vargas  
Luz Myriam González  
Gloria Prieto  
Álvaro Espinosa  
Adriana Matamoros  
Luis Hernán Sánchez  
Campo Elías Perilla  
Timoleón Garzón  
Gustavo Iván García

Bogotá, D. C., diciembre de 2001

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	4
1.1 GENERALIDADES .....	4
1.2 COLECCIÓN DE MUESTRAS Y ANÁLISIS. ....	5
2. GEOLOGÍA REGIONAL .....	6
3. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA-GEOLÓGICA .....	8
3.1 CORDILLERA CENTRAL .....	8
3.1.1 Rocas graníticas.....	8
3.1.2 Rocas del Precámbrico al Cretácico.....	9
3.2 CORDILLERA ORIENTAL.....	11
3.2.1 Rocas graníticas.....	11
3.2.2 Rocas del Paleozoico al Neógeno. ....	11
4. COMPARACIÓN ENTRE MUESTREO BAJA DENSIDAD Y REGIONAL.....	13
4.1 ANOMALÍAS DE HIERRO .....	13
4.2 ANOMALÍAS DE COBRE, PLOMO Y ZINC .....	13
4.3 ANOMALÍAS PARA ESMERALDAS.....	14
4.4 ANOMALÍAS DE ORO Y PLATA.....	14
5. ASOCIACIÓN DE DEPÓSITOS MINERALES Y ZONAS GEOQUÍMICAS .....	16
5.1 METALES Y MINERALES PRECIOSOS. ....	16
5.2 METALES ESPECIALES .....	17
5.3 METALES DE LA INDUSTRIA DEL ACERO .....	18
5.4 METALES BÁSICOS.....	18
5.5 MINERALES INDUSTRIALES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	18
5.6 MINERALES ENERGÉTICOS.....	19
6. CONCLUSIONES .....	20
6.1 PRIMERO .....	20
6.2 SEGUNDO.....	20
6.3 TERCERO.....	20
6.4 CUARTO.....	20
6.5 QUINTO.....	20
6.6 SEXTO .....	21
6.7 SÉPTIMO .....	21
6.8 OCTAVO .....	21
6.9 NOVENO .....	21
6.10 DÉCIMO .....	21
7. RECOMENDACIONES.....	22
7.1 PRIMERO .....	22
7.2 SEGUNDO.....	22
7.3 TERCERO.....	22
7.4 CUARTO.....	22

INFORME FINAL  
LEVANTAMIENTO GEOQUÍMICO EN LA PLANCHA 5-09  
TOMO 3 - INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

8. BIBLIOGRAFÍA ..... 23

## RESUMEN

El estudio geoquímico regional de baja densidad dentro de la Plancha 5-09 se basó en un punto de muestreo por cada 450 km<sup>2</sup> en un área de 79.200 km<sup>2</sup>, donde se tomaron muestras de sedimentos activos, suelos y agua, y se analizaron 48 elementos para sedimentos y suelos, y 62 para aguas.

La distribución geoquímica de elementos permite visualizar regionalmente dos de las unidades morfoestructurales en que se divide la Plancha 5-09, correspondientes a las cordilleras Central y Oriental; inclusive se distinguen las diferentes subdivisiones de unidades o formaciones geológicas que hay en ellas. En la Cordillera Central, los cuerpos graníticos presentan un enriquecimiento o empobrecimiento en algunos elementos que los hacen fácilmente distinguibles. En la Cordillera Oriental, las rocas sedimentarias del Jurásico se resaltan significativamente y las rocas sedimentarias cretácicas se evidencian más claramente en los costados de la cordillera.

En los resultados de este estudio se reflejan de manera indirecta o directa las anomalías que el INGEOMINAS descubrió en épocas anteriores. Las anomalías de metales básicos (Pb, Zn, Cu) se presentan resaltadas en áreas con promedios altos en estos elementos. Las anomalías de oro y plata están relacionadas con zonas donde hay elevados contenidos de algunos de sus elementos asociados como As o Sb, entre otros. Algunas de las anomalías de Fe coinciden con regiones donde está elevado este elemento. Las anomalías de esmeraldas se enmarcan dentro de áreas donde existen promedios altos de Na y decrecimientos en Ba y K.

En los alrededores de la mayoría de los diferentes depósitos minerales se presentan elevados contenidos de uno o varios elementos asociados con ellos. Los depósitos de Au y Ag se identifican con sus asociados como As, Sb, Ba, Cu, Mo, Se, entre otros. Los metales básicos (Cu, Pb, Zn) se reflejan en los altos contenidos de ellos. En las zonas esmeraldíferas, además de resaltarse los elementos ya mencionados, también se identifican con elevados contenidos de Cd, Sb, As y Se. Los depósitos de Fe, por lo general, se encuentran en regiones con elevados contenidos en este elemento y de Mn. Los minerales industriales y los materiales de construcción se presentan en áreas donde se resalta uno o varios de sus constituyentes, los de sal con altos contenidos de Na, K y Y; los fosfatos con P y Ca; y las calizas con Ca.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

Los muestreos geoquímicos de baja densidad permiten, entre otras cosas, determinar provincias geoquímicas, si se parte del hecho que, independientemente de la edad y del tipo de roca, en la corteza terrestre existen áreas de tamaño diverso con una herencia geoquímica importante. Se entiende por provincia geoquímica una “porción o segmento de la corteza terrestre que tiene una composición química significativamente diferente del promedio (Rose et al., 1979)”. En estas investigaciones, de bajo costo y alta productividad, se analizan un gran número de elementos que no se consideran en estudios geoquímicos de exploración tradicionales y se hace un reconocimiento de áreas extensas, por lo tanto, con ellas es posible detectar de una manera rápida áreas con potencial mineral (Xiachu & Mingcai, 1995).

Estos estudios también contribuyen al reconocimiento de estructuras regionales como zonas de fracturamiento y límites de unidades geológicas, que a la vez quedan caracterizadas geoquímicamente, inclusive en combinación con el uso de imágenes de sensores remotos, mapas geofísicos y geológicos, se pueden encontrar rasgos transcontinentales y hacer correlaciones entre continentes.

Tanto la provincia metalogénica como la provincia geoquímica son manifestaciones de un enriquecimiento regional de uno o varios elementos, por lo tanto, representan manifestaciones diferentes de un mismo rasgo regional. Una provincia metalogénica puede ser determinada a partir de la correspondiente provincia geoquímica, que a su vez es determinada a partir del análisis estadístico de datos geoquímicos regionales. La delimitación de provincias geoquímicas debería ser de mayor importancia en la exploración mineral que la localización de provincias metalogénicas, puesto que una provincia geoquímica puede ser identificada tempranamente en un programa de exploración, mientras que una provincia metalogénica no puede ser definida sino hasta que un cierto número de depósitos minerales hayan sido descubiertos (Bolviken et al., 1990).

En los muestreos geoquímicos los sedimentos activos de corriente, suelos y agua ayudan a determinar la concentración natural de los elementos y la alteración de ésta debida a procesos industriales o de minería. Los suelos residuales indican el contenido de los elementos de los sitios donde ellos se encuentran, mientras los sedimentos activos y el agua reflejan la concentración de elementos aguas arriba del punto de muestreo.

## 1.2 COLECCIÓN DE MUESTRAS Y ANÁLISIS.

Dentro de la Plancha 5-09 se recolectaron muestras de 176 sedimentos activos, 178 suelos y 175 aguas (Figura 2); la densidad es de aproximadamente un punto de muestreo por 450 km<sup>2</sup>. Las muestras de sedimentos y suelos fueron analizadas para 48 elementos y las de agua para 62 elementos.

Para la interpretación geoquímica geológica se toman los diferentes valores estadísticos como son la media, la mediana y el umbral (*threshold*). La media y la mediana son utilizadas para determinar áreas con valores anormalmente altos o bajos simultáneamente (en los tres medios, sedimentos, suelos, rocas), mientras que el *threshold* o umbral (media más 2 veces la desviación estándar) se usa para saber cuáles son los valores anómalos para cada elemento.

## 2. GEOLOGÍA REGIONAL

La Plancha 5-09 está representada morfoestructuralmente por las regiones andina y de Guayanas, donde hay unidades geológicas que varían en edad desde el precámbrico hasta en cuaternario, afectadas por plegamientos y fallamientos de direcciones principalmente noreste, dentro de los cuales se destacan en la Cordillera Central, los sistemas de Romeral, Palestina y Mulatos, y en la Cordillera Oriental el sistema de fallas La Salina y las del Pie de Monte Llanero (Figura 1).

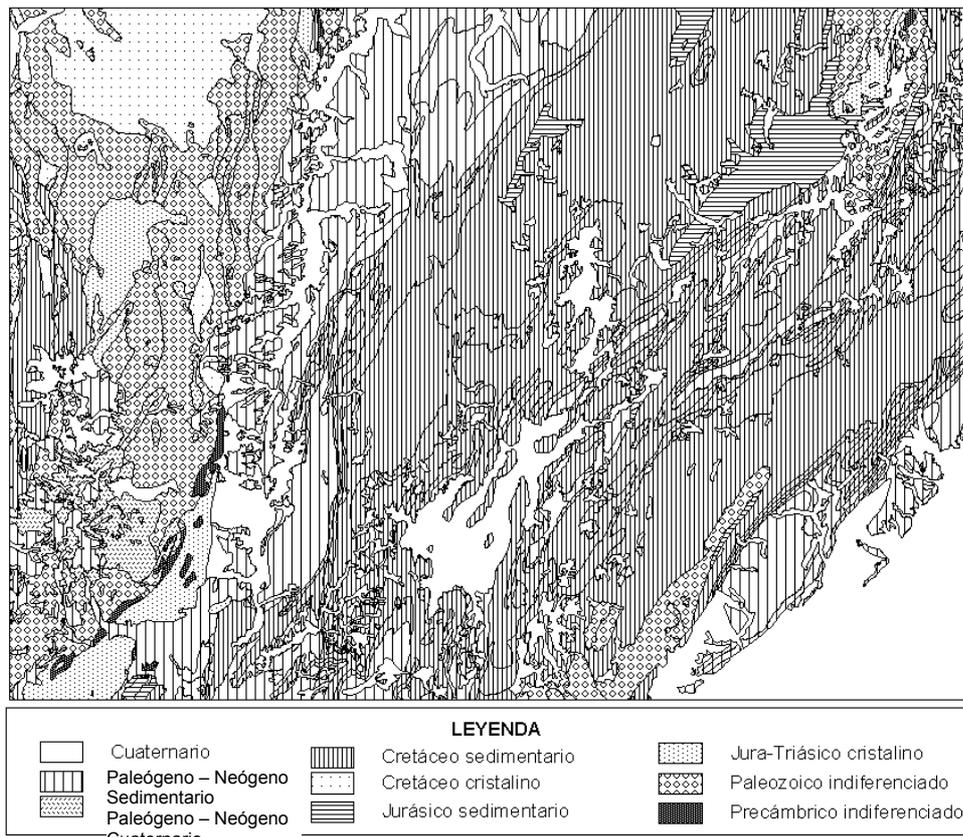


Fig. 1. Mapa geológico Plancha 5-09 (modificado de INGEOMINAS, 1999).

El Precámbrico está constituido por rocas metamórficas, pelíticas, anfíbolitas, granulitas y neises biotíticos con estructuras migmatíticas, las cuales afloran en el costado este de la Cordillera Central.

INFORME FINAL  
LEVANTAMIENTO GEOQUÍMICO EN LA PLANCHA 5-09  
TOMO 3 - INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

El Paleozoico se encuentra en ambas cordilleras. En la Cordillera Central está representado por metarenitas, metalimolitas, pizarras, mármoles, filitas, cuarcitas, anfibolitas y esquistos incluidos dentro de Grupo Cajamarca, en esta cordillera también hay ortoneises, granitos y neises hornbléndicos. En la Cordillera Oriental está conformado por metasedimentitas, sedimentitas y metamorfitas agrupadas en el Grupo Quetame y Floresta, además, está el Ortoneis de Santander, de composición cuarzo feldespática.

El Triásico - Jurásico en la Cordillera Central está representado por rocas sedimentarias y magmáticas; las sedimentarias pertenecen a las formaciones Luisa y Saldaña con aporte volcánico y a rocas calcáreas agrupadas en la Formación Payandé; las rocas magmáticas están constituidas por intrusivas graníticas, cuarzodioritas, dioritas y granodioritas pertenecientes a los batolitos de Ibagué y Sonsón, y stocks menores. En la Cordillera Oriental, el Jurásico lo conforman rocas sedimentarias agrupadas dentro de las formaciones Arcabuco y Montebel, y rocas ígneas de composición cuarzomonzonítica y riolítica.

El Cretácico está constituido esencialmente por rocas sedimentarias y algunas magmatitas. En la Cordillera Central, las magmatitas están representadas por gabros, peridotitas y serpentinitas asociadas a la Falla de Romeral, y por rocas graníticas y granodioríticas incluidas dentro del Batolito Antioqueño, y los stocks de Mariquita y Aquitania. En la Cordillera Oriental, el Cretácico lo conforma una espesa secuencia sedimentaria, principalmente, con *shales*, areniscas y calizas agrupadas dentro de un gran número de formaciones. Los sedimentos cretácicos, en ambas cordilleras, tienen importantes niveles fosfáticos.

El Paleógeno y el Neógeno están representados principalmente por rocas sedimentarias y cuerpos ígneos. En la Cordillera Central y el valle del Magdalena, las sedimentarias están poco consolidadas y son principalmente conglomerados, areniscas y limolitas, todas con un gran aporte volcánico; las ígneas son cuerpos de composición tonalítica, granodiorítica y granitoides (Batolito del Bosque), y rocas hipoabisales como pórfidos andesíticos y dacíticos. En la Cordillera Oriental, las rocas sedimentarias paleógenas y neógenas son, principalmente, arcillolitas, areniscas y conglomerados, y, además, se presenta carbón; las rocas ígneas presentes en esta cordillera son pequeños cuerpos de composición andesítica.

El Cuaternario esta representado por materiales inconsolidados, formados como coluviones, aluviones, depósitos lacustres y glaciares, y flujos de lodo.

### **3. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA-GEOLÓGICA**

Dentro del muestreo geoquímico regional realizado en la Plancha 5-09, las muestras de suelos y sedimentos que drenan una sola unidad geológica, permiten hacer una aproximación a la caracterización geoquímica de ellas, mediante el análisis de la presencia de valores promedio altos o bajos de algunos elementos que están contenidos en esas rocas.

#### **3.1 CORDILLERA CENTRAL**

Geográficamente, esta zona ubicada al oeste del río Magdalena presenta una distribución espacial con contenidos altos de algunos elementos siderófilos como Fe, Co, litófilos como Al, Ba, Cs, Sc, Ti, V, Ca, Cr, Mg, K, Mn y calcófilos como Cu. Estos elementos de alguna manera están relacionados con las diferentes unidades geológicas que allí se presentan.

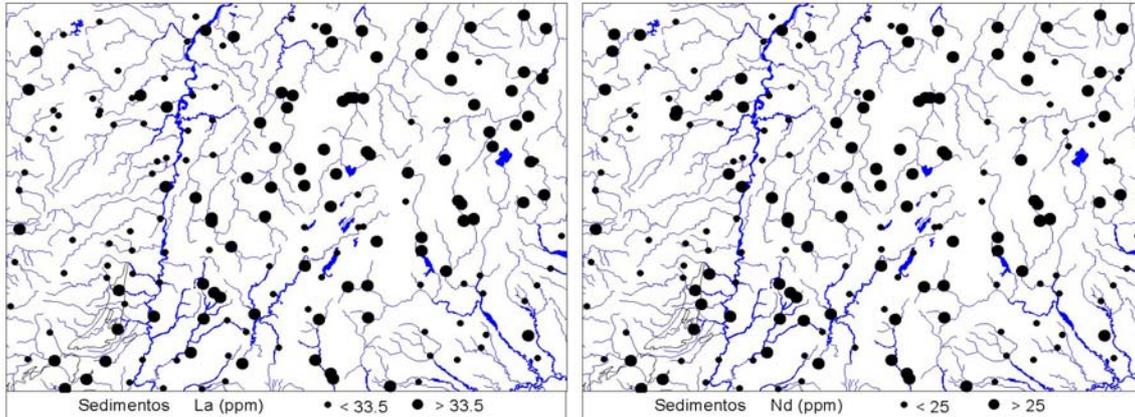
##### **3.1.1 Rocas graníticas**

El área de influencia del Batolito de Ibagué, que es resultado del magmatismo Triásico - Jurásico, de composición granodiorítica a cuarzodiorítica, presenta en sedimentos contenidos altos en Ce, La (Figura 2), Lu, Nd (Figura 3), Hf y cadmio. Al hacer una comparación de los elementos que se encuentran en el batolito con los presentes en las rocas graníticas estándares, se observa que además del Lu, Hf y cadmio, están significativamente elevados el As, Sb, Se, U, V y Yb. Los elementos de tierras raras como el La, Lu, Ce y Nd, de los cuales están más elevados los del grupo de los livianos (La, Ce, Nd) determinan que las rocas de este batolito son el producto de una extrema diferenciación que produjo rocas de carácter félsico. Los elementos como As y Sb indican que ha habido, posteriormente, una interacción entre fluidos mineralizantes y rocas del batolito con presencia de productos hidrotermales que trajeron estos elementos. El uranio también es un elemento indicador de la fase félsica de las rocas de este batolito.

En las rocas de composición andesítica y dacítica situadas al oeste de Murillo (Tolima) y, principalmente, alrededor del Parque de Los Nevados, se presentan valores altos en Ba, Sr, As, Sb y Cs en los tres medios muestreados, Rb, Sc, Si, Co, Pb y Tl en aguas, Br y Mo en suelos, y Mg y Na en sedimentos y suelos. Los elementos Na, Mg, Ba, Sr y Rb tienen relación con la génesis de estas litologías (Krauskopf & Bird, 1995); el As y Sb indican la existencia de fluidos hidrotermales que interactuaron con estas rocas.

Fig.2. Distribución de La en sedimentos (mediana).

Fig. 3. Distribución de Nd en sedimentos (mediana).



En las rocas del Batolito de Sonsón hay valores altos en As, Hf y Pb, los cuales se resaltan bien en los tres medios muestreados. Además, en sedimentos y suelos está alto el uranio. Estas rocas también se identifican con valores bajos de Cr, Ni, Tb, Sb y Yb en sedimentos, y de Cd, Ce, La, Eu, La y Nd en suelos y aguas. El contenido bajo de elementos de tierras raras como La, Ce, Nd y Eu, pero especialmente este último indican una composición de carácter intermedio para estas rocas. El As y el Pb están relacionados a una interacción de fluidos mineralizantes con estas rocas, los cuales dieron origen a depósitos de sulfuros con metales preciosos.

En el Batolito Antioqueño, de rocas graníticas y granodioríticas, hay valores promedio altos en Hf, Rb, Lu, Sm, U y Eu en sedimentos y suelos. Los elementos As, Mo, Cd, Ce, La, Nd, tienen valores promedios bajos en los tres medios muestreados a excepción de Ce en suelos. Al comparar los contenidos de elementos con los promedios en las rocas graníticas estándares (Krauskopf & Bird, 1995), se observa que los sedimentos del batolito (Figura 4), también tienen altos contenidos de As, Br, Cs, Hf y Sb. El hecho de que se presenten elementos de tierras raras tanto con valores altos como bajos (Lu, Sm, Eu, La, Ce, Nd) indica que las rocas del batolito Antioqueño corresponden a dos clases de rocas, unas más félsicas que las otras. La presencia de Rb y Cs refleja el carácter más félsico de una de sus dos unidades. El Hf y el Cs se identifican con asociaciones comunes presentes en las rocas graníticas. Los elevados contenidos de As y Sb están asociados a la actividad hidrotermal que afectó a estas rocas y formó depósitos de sulfuros con metales preciosos.

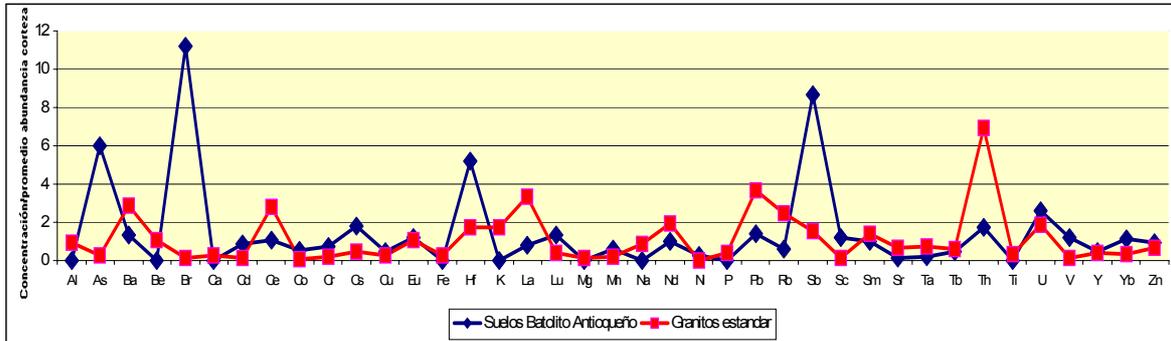
### 3.1.2 Rocas del Precámbrico al Cretácico

Las unidades precámbricas ubicadas en el costado oriental de la Cordillera Central, que están constituidas por rocas metamórficas, pelíticas, anfibolitas, mármoles, granulitas y neises biotíticos, aparentemente serían las responsables, por ubicación geográfica, de los altos valores de Nb, La, Ce, y Lu. Estos elementos de tierras raras están reflejando que las

INFORME FINAL  
LEVANTAMIENTO GEOQUÍMICO EN LA PLANCHA 5-09  
TOMO 3 - INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

anteriores rocas son el producto de repetidos procesos tanto ígneos como metamórficos y sedimentarios que los han concentrado en ellas a lo largo de grandes laspos geológicos.

Fig. 4. Niveles de elementos en el Batolito Antioqueño, basados en suelos y normalizados con el promedio de la abundancia en la corteza.



La presencia de valores bajos de Th, La, Mo, Rb y Sm, aparentemente está relacionada con las rocas paleozoicas del Grupo Cajamarca constituido principalmente por esquistos, cuarcitas y mármoles. Valores altos de Cs y Sb en aguas, posiblemente también están asociados con estas rocas. Al comparar los contenidos en estas rocas con los promedios mundiales de rocas metamórficas se tiene que en suelos y sedimentos, se presentan valores superiores a dicho promedio de Ag, Br, Cd, Hf y Pb. Los elementos como Br y Pb estarían reflejando la composición del material premetamórfico que dio origen a estas rocas metamórficas. Los elementos As, Cu, Co y V que presentan valores altos, pero que están de acuerdo con los promedios de las rocas estándares metamórficas, están indicando también el enriquecimiento del material premetamórfico en estos elementos asociados a altos contenidos de materia orgánica. Los altos contenidos de As, Ag y Sb refleja la existencia de fluidos mineralizantes que han interactuado con estas rocas, posiblemente relacionados con los diferentes eventos magmáticos que las han afectado.

El Cretácico ubicado en la parte occidental de la plancha, en los alrededores de Manizales, compuesto de filitas con intercalaciones de areniscas, calizas y chert, se asocia a valores altos en P, Ca, Cu, Sb (Figura 5), Rb, Sc y a valores bajos en Yb (Figura 6) y Lu. Los elementos Cu, Rb y Sc estarían relacionados con el contenido de materia orgánica de estos sedimentos pelíticos. El Sb y muy seguramente parte del Cu estarían relacionados con la presencia de depósitos de metales preciosos y básicos, ligados con actividad hidrotermal que ha afectado a estas rocas.

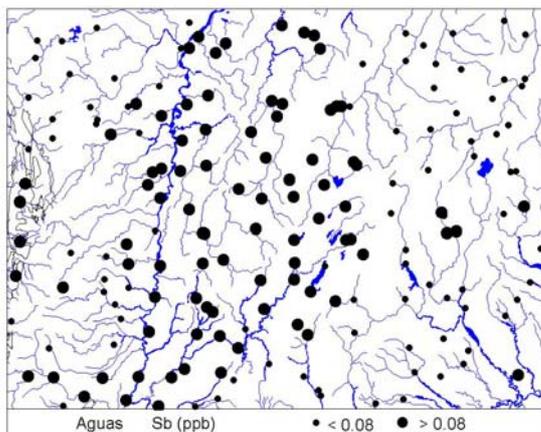


Fig. 5. Distribución de Sb en aguas (mediana).

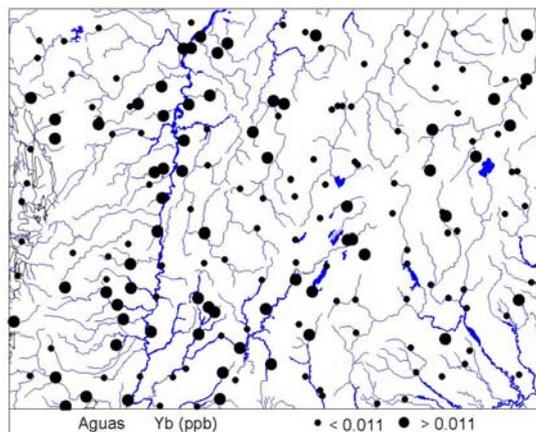


Fig. 6. Distribución de Yb en aguas (mediana).

### 3.2 CORDILLERA ORIENTAL

Geográficamente, el área localizada al este del río Magdalena presenta distribuciones de elementos con contenido elevados, los cuales se relacionan de alguna manera con las rocas allí presentes, en especial las sedimentarias que son las más dominantes.

#### 3.2.1 Rocas graníticas

Las rocas graníticas ubicadas al NE de la plancha (Santander - Boyacá), de composiciones riolíticas y cuarzomonzónicas, aparentemente son las responsables de los *backgrounds* altos en Ce, La, Nd, Sm, U, Th, Rb, Eu. La abundancia de elementos de tierras raras livianas (La, Ce, Nd, Sm) inclusive el Rb, U y Th se relacionan con las rocas félsicas, mientras que las tierras raras pesadas (Eu) con las rocas de composición intermedia.

#### 3.2.2 Rocas del Paleozoico al Neógeno.

Aunque los drenajes representativos del Paleozoico de la Cordillera Oriental son muy escasos, se tiene que en sedimentos hay altos contenidos en As, Ag, Cd, Ce, Eu, Hf, La, Lu, Nd, Sm, Ta, Tb, Th y Yb. Los elementos de tierras raras indican que los materiales de los cuales provienen estas rocas sufrieron procesos precedentes que concentraron éstos y otros elementos en el material premetamórfico. Elementos como la Ag y el Cd reflejan la actividad de fluidos mineralizantes que afectaron a estas rocas del Paleozoico.

El Jurásico ubicado en la parte NE de la plancha, compuesto principalmente por rocas sedimentarias de las formaciones Arcabuco y Montebel, se relaciona muy bien en los tres medios muestreados con bajos *backgrounds* en As (Figura 7), Cd, Eu (Figura 8), Fe, Mo, Ni, Ca e Y. Además, en sedimentos también hay un bajo contenido en Th y U. Elementos

INFORME FINAL  
LEVANTAMIENTO GEOQUÍMICO EN LA PLANCHA 5-09  
TOMO 3 - INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

como el As, Mo y Ni se relacionan con los bajos contenidos en areniscas que son el tipo de roca predominante en estas formaciones.

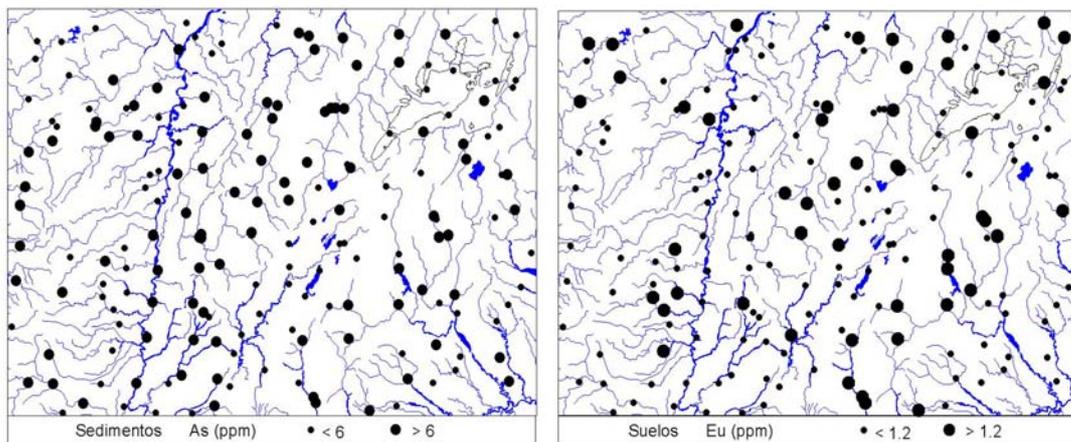


Fig. 7. Distribución de As en sedimentos (mediana). Fig. 8. Distribución de Eu en suelos (mediana).

El cretácico de la Cordillera Oriental tiene *backgrounds* altos en sedimentos y suelos, en As, Ce, Eu, Nd, Fe, Ni, K, Rb, Th y Sc. Al hacer una comparación con el promedio de los *shales* estándares, se nota que los *shales* de esta cordillera están enriquecidos en Ag, Cd, Hf, Mo, Pb, Sb y Zn. El As y el Mo estarían relacionados con altos niveles de material orgánico (Plant & Jones, 1989). La presencia de elementos de tierras raras como Ce, Eu, La, Nd y Sm indica que los materiales del cual provienen estas rocas son producto de repetidos procesos sedimentarios y aun ígneos que los concentraron en los sedimentos finos. El enriquecimiento de la mayoría de los elementos presentes estaría indicando que esta cuenca tiene un potencial favorable para la generación de fluidos mineralizantes para depósitos de metales básicos. Además, una combinación entre la geoquímica y estudios de análisis de esta cuenca sería importante para exploración de depósitos tipo SEDEX hospedados en estos sedimentos.

El Paleógeno y el Neógeno en la Cordillera Oriental, constituido, principalmente, por arcillas, areniscas, con niveles carboníferos, se relaciona con bajos contenidos de Ca, Ce, Eu, La, Nd, Mg, Rb y Sm, y se resalta en sedimentos el Ce.

## 4. COMPARACIÓN ENTRE MUESTREO BAJA DENSIDAD Y REGIONAL

En algunos sectores de la Plancha 5-09, INGEOMINAS, en la década de los años 70 y parte de los 80, realizó varios programas de reconocimientos geoquímicos regionales, cuya densidad de información en algunos casos fue de una muestra por cada 2,5 a 5 km<sup>2</sup>, donde se recolectaron sedimentos activos, concentrados de batea, rocas, suelos y agua. De esta información se encontraron anomalías de oro, para esmeraldas, de cobre, plomo, zinc y hierro (mapa de anomalías Plancha 5-09, INGEOMINAS, 2000).

A continuación se comparan los resultados entre el muestreo geoquímico de baja densidad y el regional, en los alrededores de los sitios donde se ubicaron las anomalías geoquímicas antes mencionadas.

### 4.1 ANOMALÍAS DE HIERRO

En la Cordillera Oriental, las anomalías de hierro de Pacho-La Pradera (Cundinamarca), San Eduardo (Boyacá) y Sabanalarga (Casanare) están relacionadas con valores promedio (*backgrounds*) altos de Fe en sedimentos y suelos, inclusive la de Pacho-La Pradera se encuentra resaltada también en aguas. La anomalía de Paz de Río (Boyacá) se presenta dentro de una zona caracterizada por altos contenidos de hierro en suelos y agua. Además, estas anomalías están dentro de áreas con altos niveles de manganeso.

### 4.2 ANOMALÍAS DE COBRE, PLOMO Y ZINC

Las anomalías de estos elementos, ubicadas en la Cordillera Oriental, entre Santander y Boyacá, y relacionadas con rocas cretácicas, se encuentran dentro de zonas con altos contenidos de Pb y Cu en los tres medios muestreados, y en Zn en sedimentos y suelos, inclusive en este estudio se detectaron valores anómalos (mayores del umbral) de Zn, Ag, Cd y Sb.

Las anomalías de metales básicos ubicadas al SW de la plancha, alrededores de Rovira (Tolima), se enmarcan dentro de una zona caracterizada por promedios altos en Cu y Sb en los tres medios muestreados, Pb en sedimentos, Fe en sedimentos y suelos, y Mo y Zn en suelos.

Las anomalías de metales básicos ubicadas en el costado oriental de la Cordillera Central, entre Mariquita y Santa Isabel en el Tolima, están dentro de una zona resaltada con *backgrounds* altos en Cu y Zn en los tres medios muestreados, y en Sb en suelos. Además,

en esta zona, en algunas muestras también hay valores anómalos ( $>$  umbral) de Ba y Sr en sedimentos y suelos.

#### 4.3 ANOMALÍAS PARA ESMERALDAS

La prospección geoquímica regional para esmeraldas llevada a cabo por INGEOMINAS y Naciones Unidas durante la década de los años 70, determinó que las zonas anómalas para esmeraldas tienen un decrecimiento en K, Ba, Li, Mo, Sr, Zn y Be, y un enriquecimiento en Na, además, se concluyó que el Na, Li, Pb y Mo son indicadores para la prospección regional de los minerales del grupo del berilo (INGEOMINAS- Naciones Unidas, 1975).

En el presente estudio (en relación a estos elementos) se observó que el Ba tiene un decrecimiento en los tres medios muestreados tanto en el distrito de Muzo (flanco oeste de la Cordillera Oriental) como en Chivor (flanco este de la Cordillera Oriental), y es más contrastante este hecho en el distrito de Muzo. En aguas hay decrecimiento de K en ambos distritos y en Sr en el distrito de Chivor. En sedimentos hay decrecimiento de K y Be en el distrito de Chivor. En suelos en el distrito de Chivor hay un decrecimiento en Zn. El Na presenta un incremento en sedimentos en el distrito de Muzo. En el distrito de Chivor hay decrecimiento de Mo y Pb en aguas, y se presenta también el Mo bajo en suelos.

#### 4.4 ANOMALÍAS DE ORO Y PLATA

Las anomalías de oro y plata localizadas entre Manizales y Aguadas (Caldas), Cordillera Central, están distribuidas en una zona identificada con altos promedios (*backgrounds*) de As (Figura 9), Ba, Mo, Sb (Figura 10) y Sr en sedimentos; Ba, Pb y Sr en suelos; y As, Mo y Sb en aguas.

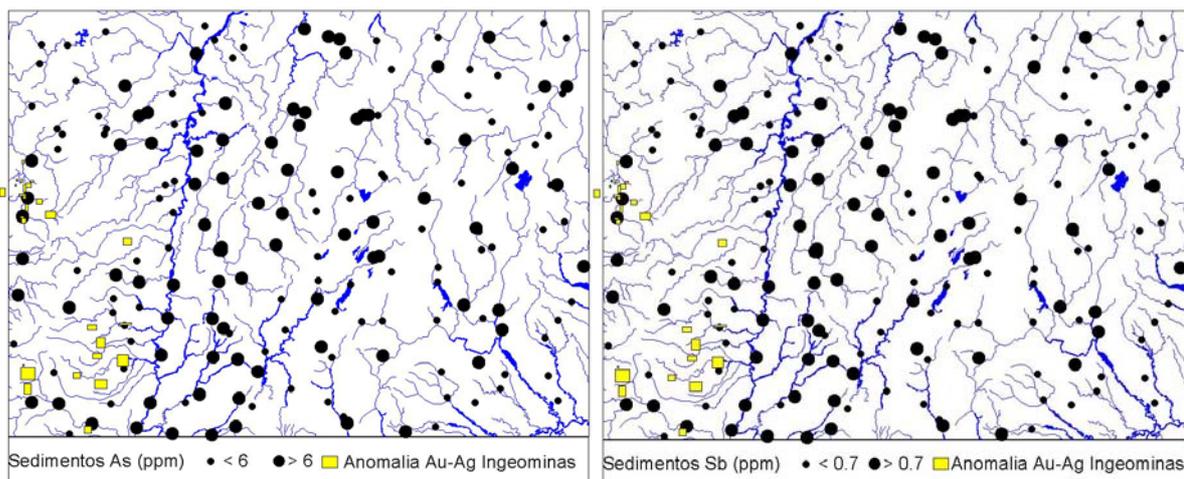


Fig. 9. Distribución de As en sedimentos (mediana).

Fig. 10. Distribución de Sb en sedimentos (mediana).

INFORME FINAL  
LEVANTAMIENTO GEOQUÍMICO EN LA PLANCHA 5-09  
TOMO 3 - INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

Las anomalías de oro y plata que se encuentran en la parte SW de la plancha (alrededores de Ibagué, Tolima), están enmarcadas dentro de un área donde algunos elementos asociados a estas mineralizaciones están resaltados, tal es el caso del Ba, Bi, Cu y Zn que tienen promedios altos en los tres medios muestreados y Mo en aguas.

## 5. ASOCIACIÓN DE DEPÓSITOS MINERALES Y ZONAS GEOQUÍMICAS

Puesto que alrededor de muchos depósitos se pueden presentar tipos similares de mineralización, se han comparado los mapas de depósitos minerales de la Plancha 5-09 con cada uno de los mapas de elementos individuales (en sedimentos, suelos y agua) para tratar de obtener coincidencias entre provincias geoquímicas y provincias metalogénicas que contienen depósitos minerales que han estado en explotación.

### 5.1 METALES Y MINERALES PRECIOSOS.

Los depósitos de oro y plata ubicados en la Cordillera Central son, principalmente, filones de origen hidrotermal y están relacionados con las diferentes épocas magmáticas que dieron lugar a los plutones de composición mayormente intermedia y edades que oscilan entre el Jurásico y el Neógeno. Los filones se localizan preferencialmente en zonas de fracturamiento intenso, formadas por la intersección de los principales sistemas de fallas como el Sistema Palestina con dirección N30°E y el Sistema Salento con dirección N40°W (Lozano, 1985). La mayor parte de las mineralizaciones están compuestas por cuarzo, pirita, blenda, galena, calcopirita, arsenopirita y, en algunas ocasiones, estibina, entre otros.

Los elementos traza más comunes asociados con el Au incluye Ag, As, Sb, Bi, B, W, Mo y Ba (Boyle, 1979) y también puede estar asociado con Hg, Cu, Zn, Se, Te, entre otros. Dentro del presente estudio se establece que los depósitos de oro y plata localizados en el costado NW del área, relacionados, principalmente, a los batolitos Antioqueño y El Bosque, se caracterizan por estar en una zona que tiene *backgrounds* altos en Zn y As en los tres medios muestreados, Ba en sedimentos y suelos, Cu en sedimentos y Sb en suelos. El arsénico, aunque en el contexto regional de la Plancha 5-09 se presenta bajo, su contenido en estas rocas es alto comparado con el promedio estándar de las rocas graníticas.

Los depósitos de oro y plata localizados en la Cordillera Central, parte SW del área, están enmarcados dentro de una zona con promedios altos en As, Cu, Ba y Sr en los tres medios muestreados; Pb en sedimentos; Mo y Se en aguas; y Sb ligeramente resaltado en los tres medios. La mayoría de estos elementos son indicadores de esos depósitos filonianos y el Mo y Cu del tipo pórfido cuprífero.

En la Cordillera Oriental, esquina SE de la plancha, la presencia de altos valores muy puntuales en Ni, P, As, U, V, Au, Ag y Cu, estarían relacionados a las mineralizaciones polimetálicas estratoconfinadas de U, Au, Cu, Zn y V reportadas en el Grupo Farallones de edad devónica (Rodríguez, 1982).

INFORME FINAL  
LEVANTAMIENTO GEOQUÍMICO EN LA PLANCHA 5-09  
TOMO 3 - INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

Los depósitos de esmeraldas ubicados en ambos flancos de la Cordillera Oriental, en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, se encuentran emplazados en vetas y rellenos de fracturas en las rocas sedimentarias del Cretácico Inferior. Las mineralizaciones están acompañadas en su mayor parte por albita, dolomita, pirita, calcita, fluorapatito, codazzita, parisita y cuarzo. En este estudio, fuera de las características geoquímicas anotadas en el capítulo anterior, se encontró que el distrito de Muzo tiene un enriquecimiento en Cd, Mo y Sb en los tres medios muestreados; As en sedimentos y suelos; y selenio en aguas y suelo (Figura 11). El distrito de Chivor no se resalta en ninguno de los anteriores elementos, solamente se observa un ligero incremento de Hf en sedimentos y suelos. En cuanto al contenido de tierras raras, el distrito de Muzo, en sedimentos y suelos, tiene un ligero incremento en La, Eu, Ce y Nd; y el distrito de Chivor, en suelos, presenta leves aumentos en La, Lu, Eu y Ce.

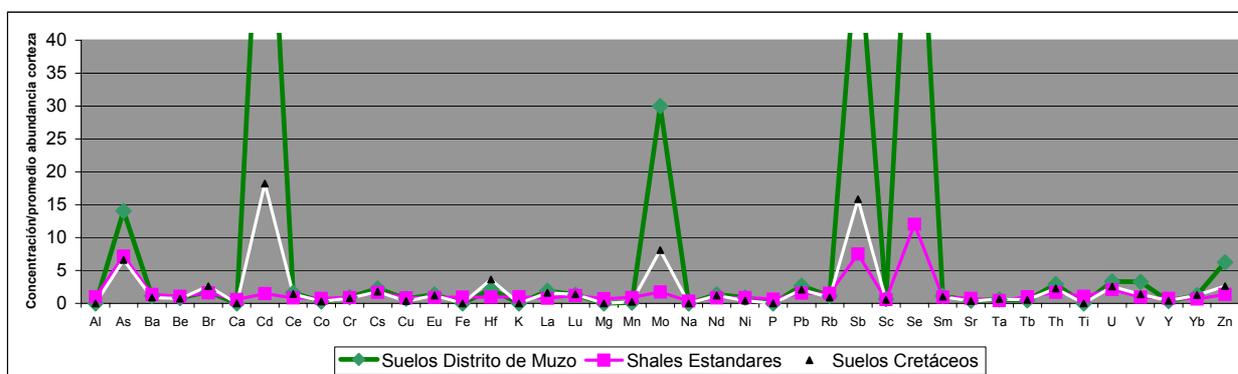


Fig. 11. Niveles de elementos en el distrito esmeraldífero de Muzo (Boyacá) y el Cretácico de la Cordillera Oriental, basados en suelos y normalizados con el promedio de su abundancia en la corteza.

## 5.2 METALES ESPECIALES

El depósito de Sb localizado al sur de Herveo (Tolima) que está en zonas de cizalla en filones epitermales (estibina), generados posiblemente con rocas plutónicas del Paleógeno y del Neógeno, se enmarca dentro de una zona resaltada por altos contenidos de Sb, As y Cu en los tres medios muestreados y por Zn en aguas.

La mina de mercurio La Nueva Esperanza, ubicada en cercanías de Aranzazu (Caldas), formada principalmente por venas de cuarzo lechoso con calcita, mercurio nativo en forma de gotas o glóbulos, pirita y cinabrio, se encuentra en una zona que aparece resaltada por altos contenidos de Hg en suelos, Sb y Cu en los tres medios muestreados y Ag en suelos. Además, esta mina está dentro de una franja N-S que presenta altos contenidos de Sb y Cu en los tres medios muestreados y ligada al Sistema de Fallas Romeral (Falla Aranzazu).

La mina de mercurio El Cinabrio ubicada al oeste de Cajamarca (Tolima), compuesta de venas de cuarzo con calcita y cinabrio dentro de las rocas metamórficas del Grupo

Cajamarca, aunque no se resalta en Hg, se encuentra dentro de una zona con alto contenido en Cu y Sb en los tres medios muestreados.

### **5.3 METALES DE LA INDUSTRIA DEL ACERO**

Los depósitos de hierro, de Paz de Río (Boyacá), que contienen hematitas del tipo oolítico con un promedio de 46% de Fe, se encuentran dentro de un área resaltada por altos contenidos de Fe en suelos y agua, y Mn en los tres medios muestreados.

Los depósitos de hierro de Ubalá (Cundinamarca), los cuales corresponden a depósitos de Fe por reemplazamiento metasomático en el que las Calizas del Guavio (Cretácico), fueron reemplazadas por siderita y, posteriormente, por procesos de meteorización dieron lugar a concentraciones residuales de limolita y hematita, se encuentran dentro de una región con altos contenidos de Fe y Mn en suelos y agua. El Mn es el elemento menor más importante que se precipita en ambientes sedimentarios como resultado de la oxidación.

### **5.4 METALES BÁSICOS**

Dentro del grupo de metales básicos (Cu, Pb, Zn), el depósito de Zn ubicado en Supatá (Cundinamarca) se enmarca dentro de una zona con altos contenidos en Zn y Ba en los tres medios muestreados, Pb en sedimentos y agua, y plata en suelos.

Las manifestaciones de Cu que existen en Boyacá y Santander se presentan en un área con altos contenidos en Cu y Pb en sedimentos y suelos.

El depósito de cobre en inmediaciones de Payandé (Tolima), el cual se trata de una mineralización tipo skarn cuprífero formado en el contacto de calizas (triásicas) y cuerpos granodioríticos (Jurásico Superior ?), donde hay magnetita, calcopirita, granates, epidota, hematita, blenda, pirita, calcita y molibdenita, se encuentra dentro de una zona con altos contenidos en Cu, Ba en los tres medios muestreados, Pb en sedimentos y agua, y Mo y Zn en agua. Elementos éstos que hacen parte de la mayoría de los minerales allí presentes.

### **5.5 MINERALES INDUSTRIALES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Dentro de los minerales industriales, los depósitos de sal que se encuentran en la Cordillera Oriental corresponden a sal gema estratificada y fuentes saladas. En los de sal estratificada está el depósito de sal de Zipaquirá (Cundinamarca), el cual coincide con una zona que tiene altos contenidos de Na, Y y K en aguas, aunque el Na también es alto en suelos y el Y en sedimentos. Los depósitos de fuentes saladas asociadas al fallamiento del borde llanero y dentro de las cuales se destacan los de Cumaral (Meta) y Recetor (Casanare) están realzados en una franja NE con altos contenidos en K en sedimentos y suelos, y Na en los tres medios muestreados.

Los depósitos de fosfato ubicados en el sector de Iza y Pesca (Boyacá) dentro de rocas cretácicas, con valores de fosfato hasta de 22%  $P_2O_5$ , se encuentran resaltados por altos

INFORME FINAL  
LEVANTAMIENTO GEOQUÍMICO EN LA PLANCHA 5-09  
TOMO 3 - INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

contenidos de P y Ca en sedimentos y suelo; y U y Th en los tres medios muestreados. La ubicación de esta zona está en la parte NE de una amplia franja NE que contiene en algunos sitios altos contenidos de estos elementos, lo cual correspondería a afloramientos de las formaciones cretácicas que contienen los niveles de fosfatos con elementos radiactivos.

Los depósitos de roca caliza ubicados en la Cordillera Central presentan en sus alrededores altos contenidos de Ca en los tres medios muestreados, a excepción de los de la parte norte del flanco este de la cordillera, donde solo se resaltan en aguas. La mayoría de las calizas de la Cordillera Oriental están relacionadas con altos contenidos de Ca en aguas.

Los depósitos de baritina ubicados en las inmediaciones de Bolívar y La Paz (Santander), los cuales corresponden a depósitos de fisuras y rellenos de cavidades dentro de rocas cretáceas, se encuentran dentro de zonas con altos contenidos en Ba en sedimentos y suelos.

## **5.6 MINERALES ENERGÉTICOS**

Aunque las manifestaciones uranofosfatadas de Berlín (Caldas) se encuentran dentro de una zona que por problemas de fuerza mayor fue imposible muestrear, se puede decir que estos depósitos y los de San Luis (Antioquia) que, además, tienen cantidades apreciables de vanadio, se encuentran dentro de una gran región con altos contenidos de U y V en sedimentos y suelos.

## **6. CONCLUSIONES**

### **6.1 PRIMERO**

Los resultados de los estudios geoquímicos de baja densidad, como el presente, junto con la interpretación de áreas geológicamente potenciales en recursos, se constituyen en una herramienta valiosa para programar exploraciones regionales geoquímicas y para detectar depósitos minerales específicos.

### **6.2 SEGUNDO**

La geoquímica de baja densidad es rápida y de bajo costo, que tiene, por lo tanto, un significado estratégico en los estados tempranos de la exploración mineral, ya que ella puede identificar modelos geoquímicos similares a los detectados con el muestreo regional.

### **6.3 TERCERO**

Una ventaja muy particular de la geoquímica de baja densidad es que las diferentes unidades de roca pueden ser vistas dentro del contexto regional, y puede distinguir, por ejemplo los cambios composicionales que hay en un batolito.

### **6.4 CUARTO**

Hay unidades geológicas que se presentan caracterizadas geoquímicamente por promedios altos o bajos en uno o varios elementos, tal es el caso de las formaciones Arcabuco y Montebel (jurásicas) que presentan bajos contenidos de As, Cd, Eu, Fe, Mo, Ni, Ca y Y.

### **6.5 QUINTO**

Las rocas paleozoicas del Grupo Cajamarca juegan un papel importante en las mineralizaciones de metales preciosos, pues en cercanías o dentro de los cuerpos ígneos que las intruyen de alguna manera hay mineralizaciones, mientras que cuando los ígneos están alejados y no intruyen estas rocas no se observa este tipo de mineralización.

## **6.6 SEXTO**

Este tipo de estudios permite hacer distinciones entre las variaciones relacionadas con procesos magmáticos o sedimentarios y aquellas relacionadas con las mineralizaciones.

## **6.7 SÉPTIMO**

Es muy posible que se presenten casos en que la densidad de muestreo es muy baja y algunos depósitos no se alcancen a evidenciar muy bien, como las esmeraldas de distrito de Chivor.

## **6.8 OCTAVO**

Aquellas muestras localizadas en cercanías de depósitos mineros o zonas industrializadas, pueden estar contaminadas y, por lo tanto, se debe tener cuidado en la interpretación.

## **6.9 NOVENO**

Los depósitos minerales pueden yacer dentro de zonas o provincias geoquímicas definidas ya sea por elementos de mena o por elementos asociados.

## **6.10 DÉCIMO**

La existencia de zonas o provincias geoquímicas no necesariamente indica la presencia de provincias metalogénicas. Los factores tectónicos e hidrogeológicos son determinantes en la génesis mineral de algunos depósitos, como el caso de metales base hospedados en sedimentos.

## **7. RECOMENDACIONES**

### **7.1 PRIMERO**

Se deben recolectar y sistematizar todos los datos de las diferentes investigaciones geoquímicas que se han hecho en la Plancha 5-09 y correlacionarlos con los datos geoquímicos de baja densidad.

### **7.2 SEGUNDO**

Los datos geoquímicos de baja densidad también deben compararse con datos geofísicos existentes en la Plancha 5-09

### **7.3 TERCERO**

Incluir dentro del análisis químicos otros elementos como el B y mejorar los límites de detección de algunos de ellos como Ag, Au y Hg.

### **7.4 CUARTO**

La ubicación de los sitios de muestreo debe hacerse cuidadosamente para que queden representadas la totalidad de las unidades geológicas.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- BOLVIKEN, B.; KULLERUD, G.; LOUCKS, R. 1990. Geochemical and metallogenic provinces: a discussion initiated by results from geochemical mapping across northern Fennoscandia. *J. Geochem. Exploration*. Amsterdam.
- BOYLE, R. W. 1979. The geochemistry of gold and its deposits. *Canada Geol. Survey Bull.*
- BATEMAN, A. 1978. Yacimientos minerales de rendimiento económico. Omega. Barcelona.
- DE VOS, W.; EBBING, J.; HINDEL, R.; SCHALICH, J.; SWENNEN, R.; VANKEER, I. 1996. Geochemical mapping based of overbank sediments in the heavily industrialised border area of Belgium, Germany and the Netherlands. *J. Geochem. Exploration*. Elsevier. Alemania.
- INGEOMINAS. 1999. Memoria del Atlas Geológico Digital de Colombia. Informe Técnico Final No. 1683.
- INGEOMINAS – NACIONES UNIDAS. 1975. Proyecto de Esmeraldas. Plancha Geológica 5-09, escala: 1:500.000.
- KERR, A.; DAVENPORT, P. 1990. Application of geochemical mapping techniques to a complex precambrian shield area in Labrador, Canada. En: *J. Geochem. Exploration*. Amsterdam.
- KRAUSKOPF, K.; BIRD, D. 1995. Introduction to geochemistry. McGraw Hill.
- LOZANO, H. 1985. Oro y Plata en Colombia – Áreas promisorias. Memorias VI Congreso latinoamericano de Geología. Tomo III. Bogotá, Colombia.
- MacMILLAN, W., DAY, S.; MATYSEK P. 1990. Tectonic terranes, metallogeny and regional geochemical surveys: an example from northern British Columbia. *J. Geochem. Exploration*. Amsterdam.
- OTTESEN, R.; BOGEN, J.; BOLVIKEN, B.; VOLDEN, T. 1989. Overbank sediments: a representative sample medium for regional geochemical mapping. En *J. Geochem. Exploration*. Amsterdam.

INFORME FINAL  
LEVANTAMIENTO GEOQUÍMICO EN LA PLANCHA 5-09  
TOMO 3 - INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

- PARK, F.; MacDIARMID, R. 1981 Yacimientos minerales. Omega.
- PLANT, J. A. And JONES, D. G. 1989. Metallogenic models and exploration criteria for buried carbonate-hosted ore deposits, a multidisciplinary study in eastern England. Inst. Min. Metall. London.
- PLANT, J.; BEWARD, N.; SIMPSON, P.; SLATER, D. 1990. Regional geochemistry and the identification of metallogenic provinces: examples from lead-zinc-barium, tin-uranium and gold deposits. En: J. Geochem. Exploration. Amsterdam.
- RODRIGUEZ, C. 1982. Informe preliminar del proyecto “Mineralización polimetálica de Caño Negro, meta y áreas aledañas”. Aport 1112 – Ecominas.
- ROSE, A. W., HAWKES, H. E. and WEBB, J. S. 1979. Geochemistry in mineral exploration. 2<sup>nd</sup> Ed. Academic Press. London.
- STEENFELT, A. 1990. Geochemical patterns related to major tectono-stratigraphic units in the Precambrian of northern Scandinavia and Greenland. En: J. Geochem. Exploration. Amsterdam.
- XIACHU, S.; MINGCAI, Y. 1995. Representativity of wide-spaced lower-layer overbank sediment geochemical sampling. En: J. Geochem. Exploration, 55. Elsevier.
- XUEJING, X.; HANGXIN, C. 1997. The suitability of floodplain sediments as a global sampling medium: evidence from China. En: J. Geochem. Exploration. Elsevier.