



# CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA DE LA PLANCHA 209 ZIPAQUIRÁ

Sonia Güiza González; Luz Myriam González;  
Alvaro Espinosa González  
sguiza@ingominas.gov.co; luzgonz@ingominas.gov.co

## RESUMEN

**A** continuación se presentan los resultados de la cartografía geoquímica realizada en la plancha 209 Zipaquirá. Incluye una revisión de las unidades geológicas, geomorfológicas y de suelos. A partir de los resultados de análisis químicos en muestras de suelos, sedimentos y aguas, se hace un tratamiento estadístico básico y un análisis multivariado, para encontrar los principales grupos de elementos asociados, que facilitan la identificación de parámetros geoquímicos característicos en la zona. Para cada elemento químico, se hace un análisis geoestadístico, mapas de concentración puntual y distribución espacial en los diferentes medios de muestreo. (Güiza s., Espinosa, A. 2005.)

En la parte ambiental, se tienen en cuenta los elementos considerados como potencialmente peligrosos (EPP) por su toxicidad y su incidencia en la salud humana. Si realiza la interpretación de algunos elementos considerados fundamentales, desde el punto de vista agrícola, para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los principales elementos que exceden los valores recomendados (Decreto 475, de 1998) en aguas desde el punto de vista ambiental son el hierro, el manganeso y el aluminio.

Igualmente, se realizó una interpretación geoquímica para exploración de recursos minerales, mediante el análisis de los elementos de interés económico y la delimitación de zonas geoquímicas a partir de las asociaciones de elementos afines y valores extremos, obtenidos de la distribución y variación de los contenidos de elementos químicos en los tres medios de muestreo antes mencionados. Lo anterior apoyado tanto en la información cartográfica disponible y la generada dentro de este trabajo, como en las herramientas estadísticas.

A partir de la geología, geomorfología, factores fisicoquímicos del agua, grupos de elementos y valores extremos en aguas, sedimentos activos y suelos y finalmente la presencia de oro y plata en sedimentos y suelos se determinaron 5 regiones geoquímicas denominadas así: San Cayetano, Lenguaque, Zipaquirá, Cuenca alta de Bogotá y Machetá-Manta.

**Palabras clave:** Geoquímica, elementos químicos, sedimentos, suelos ambiental, exploración, Zipaquirá, cuenca Bogotá, análisis estadístico, región geoquímica.

## ABSTRACT

Results of a geochemistry cartography covering the area of Plate 209- Zipaquirá, are presented in this article. It includes a review of geology, geomorphology and soil information. The results of chemical analysis of soils, sediments and water samples were statistically processed and a multivariate analysis was carried out to find groups of element associated to facilitate the identification of geochemical characteristics in the zone. Also after a geostatistical analysis was done, point concentration and spatial distribution map were constructed for each chemical element and each sampling media.

In respect to environmental aspects, the levels of the elements classified as potentially dangerous (EPP) for its toxicity and effect in human health, were analyzed in each sampling media: water, soil (horizon A) and sediments. The study also gives information about elements important in relation to its impact in agricultural use of soil.

In relation to water quality, the main elements that exceed recommended values are iron, manganese, and aluminum, in sediments cadmium, zinc, lead, arsenic and in soils vanadium.

Regarding geochemical interpretation for possible mineral deposits, elements of economical interest were analyzed and geochemical differentiable regions were delimited having element associations and the presence of outliers (extremely high concentration values) in account.

Between the areas of interest there is San Cayetano, located NW and the Machetá- Manta area located in the SE of the Plate. In these areas the influence of cretacic marine origin rocks is evident and higher levels, in relation to the rest of the plate, of some elements including rare earth element are present. In Lenguazaque area is evident the influence of coal mining in the high levels of some ele-

ments in all sampling media especially in soils and sediments. In the Zipaquirá area, were there are salt diapirism, and also cretaceous marine influence; there is an increase in elements like As, Ba, Cu, and Sb.

Finally, for the High Bogotá river basin, two sources of elements present in water are proposed, one related to natural geogenic origin, evident near the river birth, and also an effect of human and industrial activity in its middle basin, evident in the levels of elements in water samples.

## 1. GENERALIDADES

### Localización

La plancha 209-Zipaquirá, esta localizada al norte del departamento de Cundinamarca; en la parte central de la Cordillera Oriental. Las coordenadas planas X, Y con origen en el Observatorio Nacional de Bogotá son:  $X_1$ : 1.040.000,  $Y_1$ : 1.000.000 y  $X_2$ : 1.080.000,  $Y_2$ : 1.060.000. Cubre un área aproximada de 2.400 Km<sup>2</sup> e incluye los municipios de Zipaquirá, Ubaté, Suesca, Sesquilé, Chocontá, Machetá, Manta, Villapinzón, Cucunubá, Lenguazaque, San Cayetano, Sutatausa, Tausa, Gachancipá, Tocancipá, Cogua y Nemocón. (Ver figura 1.)

### Cuencas hidrográficas

La principal cuenca de la plancha 209 corresponde a la del Río Bogotá, la cual cubre aproximadamente el 60 % de la zona de estudio y se encuentran ubicados el mayor número de puntos de muestreo. Las demás cuencas corresponden a la parte más alta de las mismas cuencas, cuyas quebradas desembocarán en los correspondientes ríos. La cuenca del Río Suárez es la segunda en importancia, está al norte del área de estudio, otra muy importante es la cuenca alta del Río Meta al oriente de la plancha y por último, al noroccidente se encuentran ubicadas pequeños sectores de las cuencas de los ríos: Guazu, Carare y Río-negro. (Ver figura 2.)

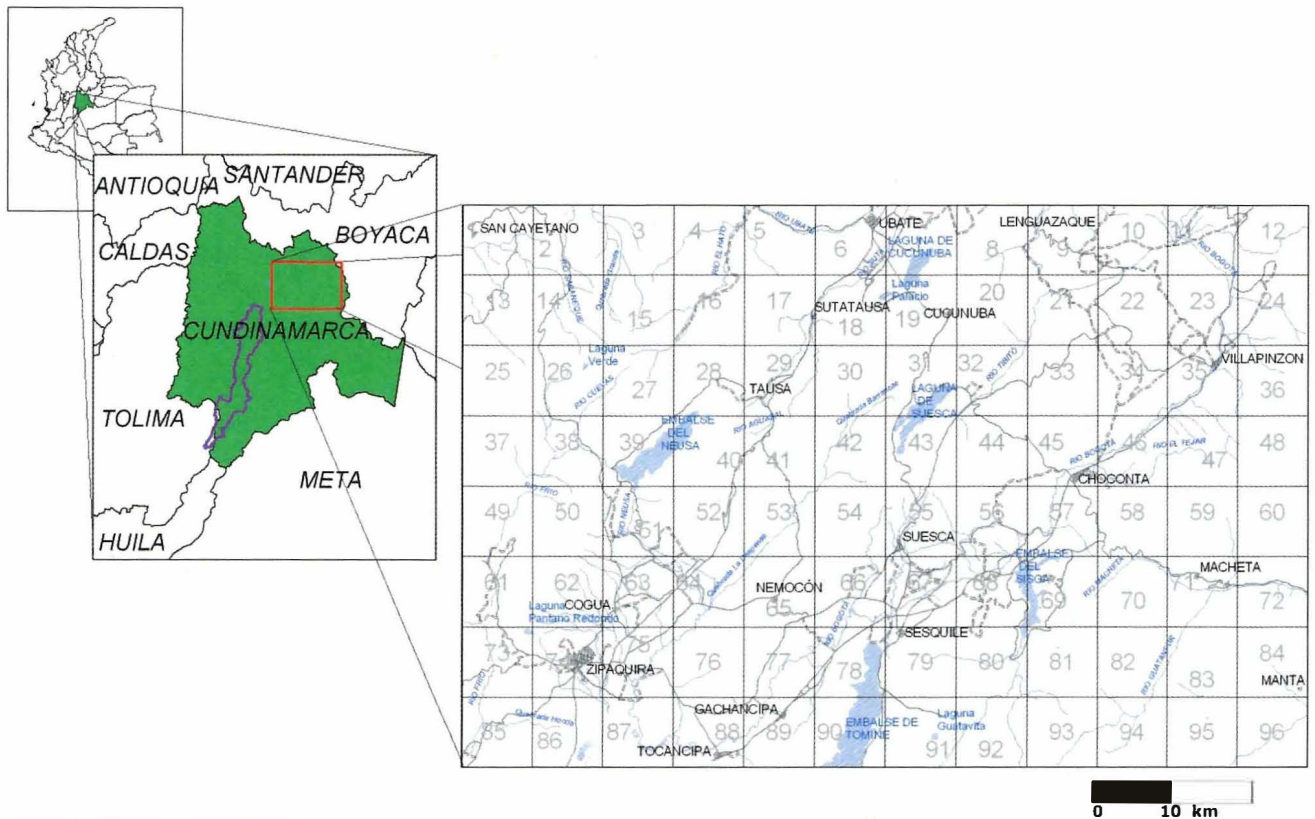


Figura 1. Ubicación geográfica

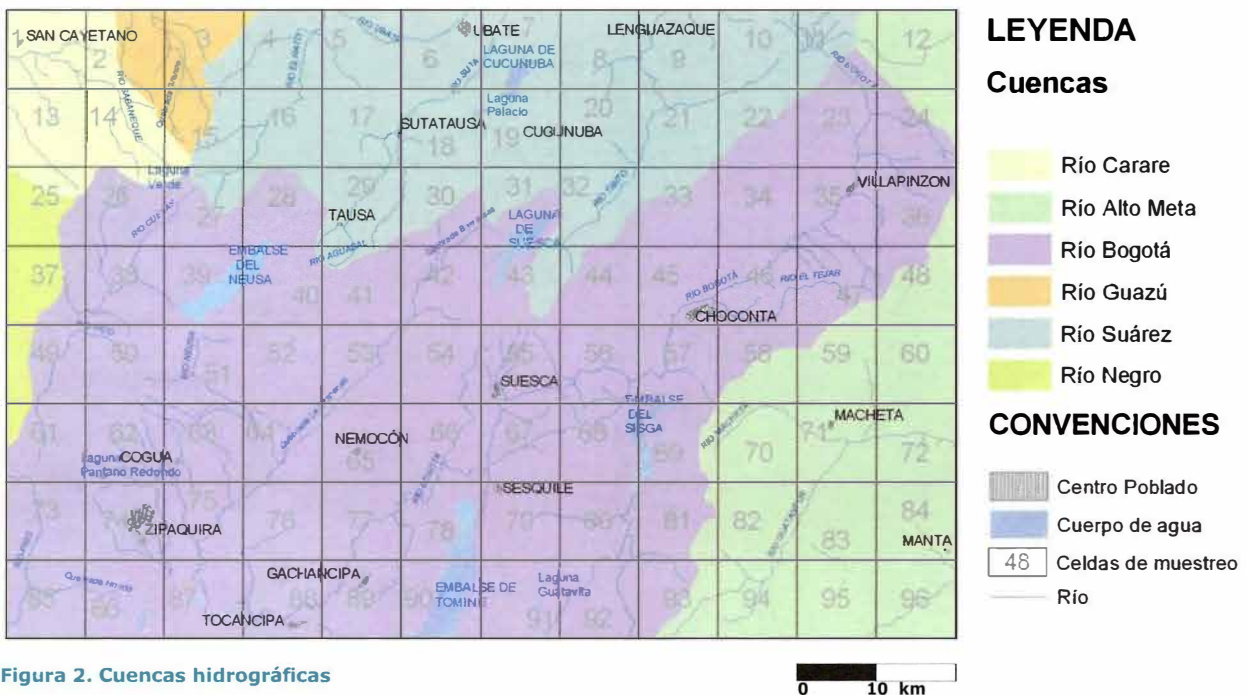


Figura 2. Cuencas hidrográficas

### Geomorfología y suelos:

La información de geomorfología y suelos, que incluye vegetación y clima, presentada en este informe y mapas respectivos, es adaptada y modificada del estudio titulado "Departamento de Cundinamarca. Estudio general de suelos y zonificación de tierras" del IGAC, 2000. La plancha 209 Zipaquirá se caracteriza principalmente por dos unidades de paisaje: Montaña y Planicie, ésta última corresponde a la Sabana de Bogotá. La distribución espacial se aprecia en la (Figura 3.)

**1) Suelos del paisaje de montaña:** Abarca pisos térmicos desde muy frío hasta medio; los tipos de relieve formados por artesas, filas vigas, crestas, crestones y espinazos, cuestras, lomas, glacis; en un relieve que varía de ligeramente ondulado a fuertemente escarpado.

La zona esta cubierta en los sectores más altos con bosque natural y vegetación de páramo; la intervención humana en la zona de subpáramo (alturas entre 3.000 y 3.600 msnm) donde se adelantan actividades pecuarias (ganadería de leche) y agrícolas, con cultivos principalmente de papa. En altitudes inferiores a los 3.000 m la vegetación natural ha sido remplazada en gran parte para dar paso a la explotación agropecuaria con una gama variada de cultivos propios de cada piso térmico.

Los suelos de este paisaje pertenecen a los ordenes Entisol, Inceptisol, Andisol, Molisol, Alfisol, Histosol y Ultisol; son de evolución desde muy incipiente (Entisoles) hasta altamente evolucionados (Ultisol) y se han originado a partir de rocas sedimentarias. La profundidad efectiva, el drenaje y la textura presentan gran variabilidad.

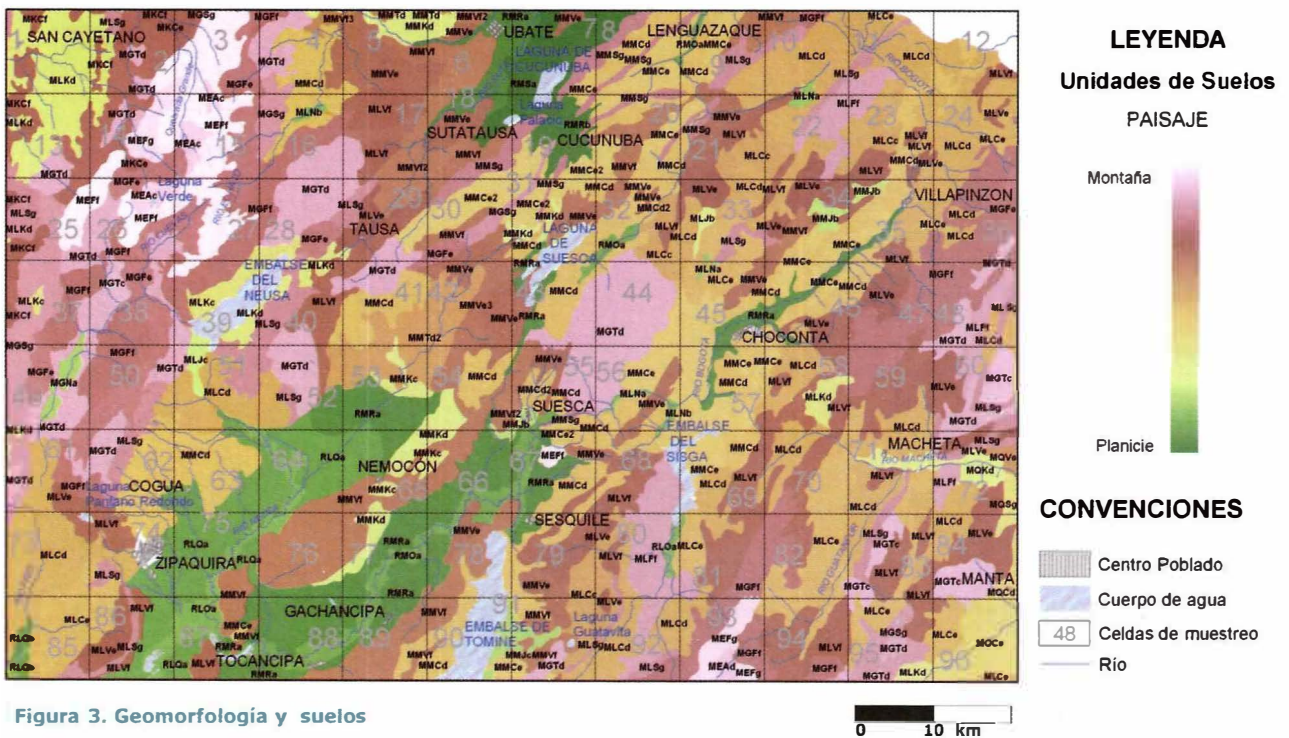


Figura 3. Geomorfología y suelos

**2) Suelos del paisaje de planicie:** Hace parte de la planicie fluvio-lacustre originada en gran parte por la dinámica del río Bogotá y sus afluentes. Se encuentra a una latitud entre 2.000 y 3.000 m, en clima ambiental frío húmedo y seco, con temperaturas que varían entre 12 y 18 °C. Esta conformada por planos de inundación y terrazas, influenciados por depósito de sedimentos en su mayoría finos y medios, que han servido de material basal a partir del cual se han originado los suelos.

Los suelos presentan diferente grado de evolución en concordancia con la posición que ocupan. En los planos de inundación predominan los suelos de menor evolución (Entisoles e Inceptisoles), influenciados en algunos sectores por cenizas volcánicas. En las terrazas se observa un mayor desarrollo de la población edáfica (Inceptisoles, Andisoles y Alfisoles), allí, el material de origen de los suelos (depósitos clásticos hidrogénicos de origen lacustre y aluvial) y el clima han dominado la génesis de los suelos.

**Marco geológico:**

La descripción geológica de la zona ha sido extraída en su totalidad del estudio geológico de INGEOMINAS titulado "Geología de la Plancha 209, Zipaquirá" de Montoya et. al., 2005.

Las unidades litológicas del área de estudio, están conformadas por rocas sedimentarias de origen marino y continental de edades que van desde el Cretácico al Holoceno. La secuencia sedimentaria cretácica de 3.200 m de espesor, se depositó en una cuenca en un mar somero; a partir del Albiano cesa la fase extensiva, comienza una inversión tectónica y se inicia una regresión con oscilaciones que terminan a comienzos del Paleógeno y da lugar a un ambiente continental en el cual se depositaron aproximadamente 2.400 m. En el Neógeno, en un ambiente tectónico compresivo se deformó la pila sedimentaria que constituye la actual Cordillera Oriental. (Ver Figura 4.)

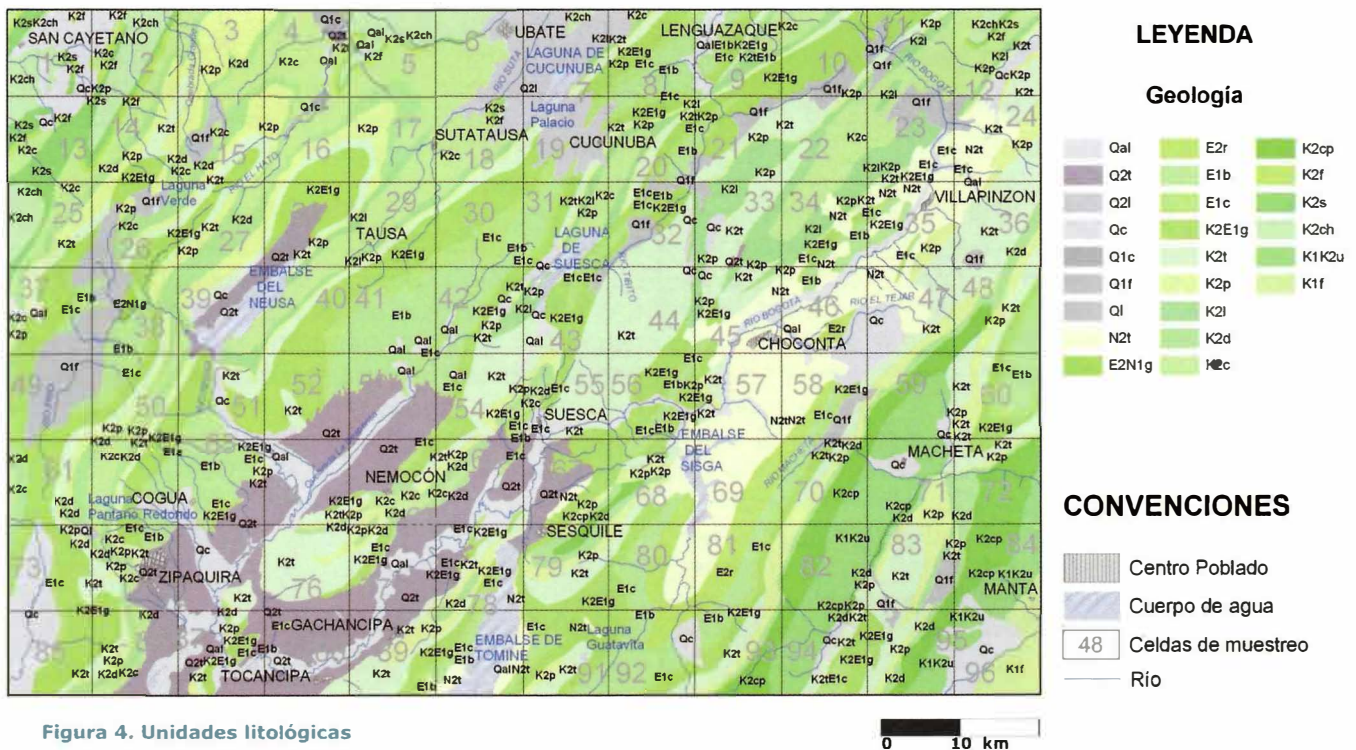


Figura 4. Unidades litológicas

La secuencia estratigráfica descrita, fue afectada por esfuerzos que generaron tres zonas estructurales: la occidental se caracteriza por fallas de cabalgamiento con vergencia al occidente con pliegues angostos y asimétricos; la zona central está limitada por las fallas de Sutatausa y Suralá, el fallamiento es sinuoso, con vergencia tanto al oriente como al occidente; los sinclinales son amplios y simétricos y los anticlinales angostos con flancos invertidos. En la zona oriental, las fallas son inversas de ángulos altos con componente transcurrentes y los pliegues son discontinuos y oblicuos a las fallas. (Ver **Figura 5.**)

El rumbo regional estructural es N45-50°E, pero hacia la parte suroccidental cambia a norte-sur y coincide con la presencia de diapirismo de sal, el cual se constituye en formador de estructuras como pliegues y fallas de corta longitud, y facilita los despegues de fallas, en este caso, como rampas laterales de corta longitud tal como se presenta en Zipaquirá, además de cierres estructurales muy simétricos en forma de domo, como se observa en la parte sur del anticlinal de Nemocón. Según las características estructurales, se subdivide la plancha en zonas: occidental, central y oriental.

### Recursos minerales:

El aprovechamiento de los recursos minerales en el área de la plancha 209 está orientado hacia los materiales de construcción (gravas y arenas), energéticos (carbón), industriales (sal, fosfatos y arcillas), aguas subterráneas y recursos geotérmicos. ver Figura 6.

El recurso energético identificado en el área y que lleva varias décadas en explotación es el carbón; se menciona también el petróleo considerado con posibilidades de encontrarse que puede haber dentro del área por estar presentes rocas y estructuras propicias para la generación, entrapamiento y acumulación de hidrocarburos.

**Minerales industriales:** Existe manifestación de arcillas, sal y fosfatos que han tenido gran tradición en su explotación.

Por su localización cercana a ciudades como Bogotá y Zipaquirá, entre otras, es una zona de interés para la exploración y explotación de materiales de construcción como arenas, gravas, arcillas y material de recebo.

Los recursos hídricos son de gran importancia en el área de estudio en lo que se refiere a embalses y acueductos. En el presente punto se hace énfasis únicamente en las aguas subterráneas por su relación con la geología. En el área existen unidades litoestratigráficas de moderada a gran importancia para el abastecimiento de aguas subterráneas, por esto, utilizada principalmente para el consumo humano y para riego.

Los recursos geotérmicos se encuentran representados en las fuentes termales conocidas en la plancha 209. Las fuentes termales se encuentran principalmente asociadas a unidades litológicas del Cretácico Superior, se presentan en altitudes entre 2.300 a 2.700 msnm, tienen pH entre 6.5 a 7.5 y han sido clasificadas por su temperatura como tibias a calientes y químicamente por aniones como bicarbonatadas y por cationes cálcica a sodio-potásica.

El origen de las aguas de estas fuentes no se ha definido, pero si se puede establecer una relación con la tectónica del área, al estar asociadas a fallas longitudinales, hecho que podría indicar un origen relativamente profundo de las aguas y que han aprovechado zonas de debilidad y permeabilidad para su ascenso. ( Alfaro, C. ; et.al\_.2003 )

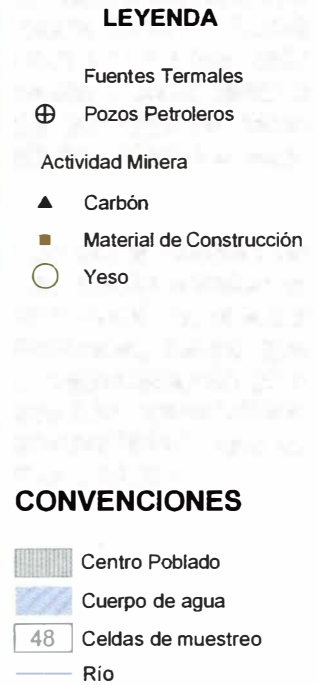
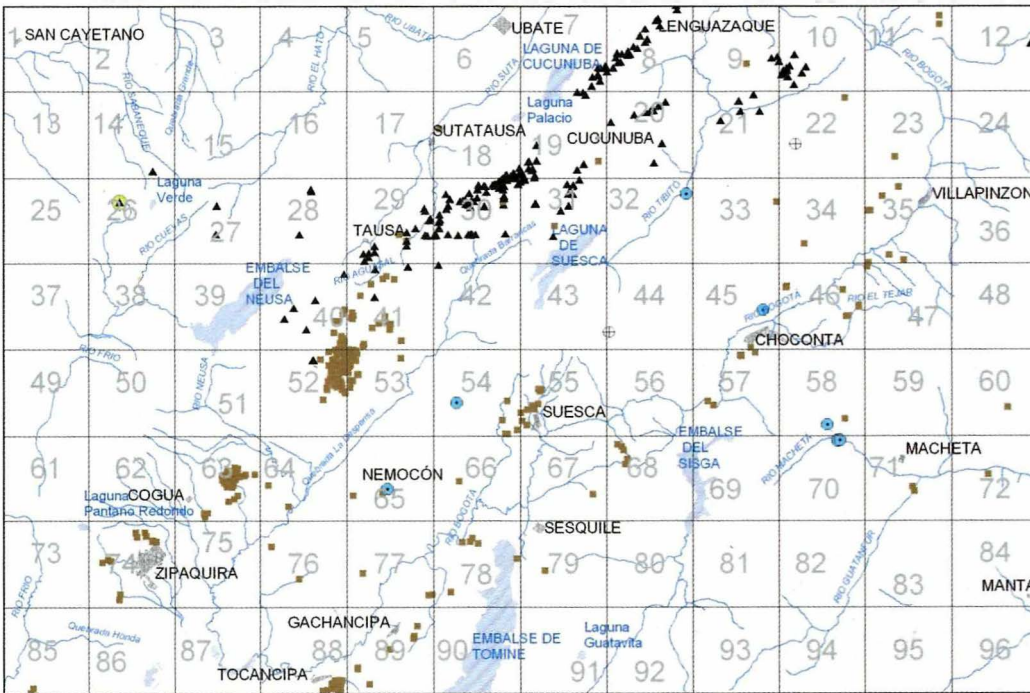
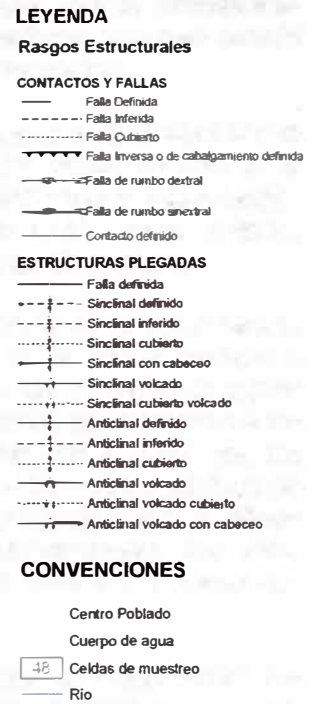
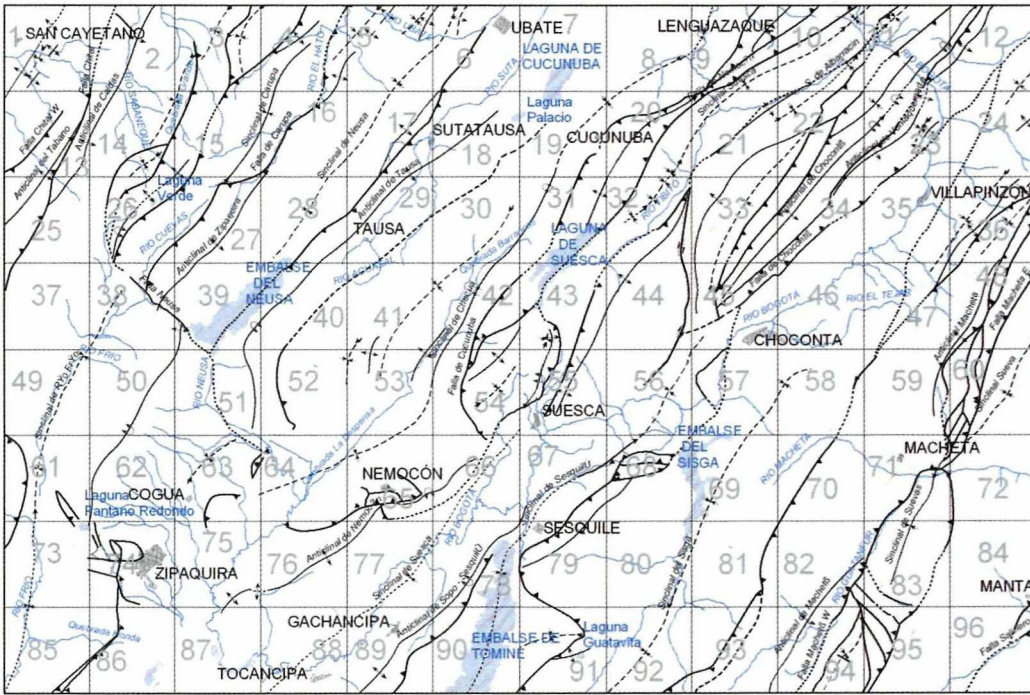


Figura 6. Recursos minerales



## 2. METODOLOGÍA CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA

La metodología utilizada en las diferentes etapas del trabajo incluye actividades de campo, de laboratorio para los análisis químicos de muestras y procedimientos estadísticos aplicados en la interpretación de los datos e información, en ambiente SIG (Sistema de Información Geográfica).

### Trabajo de campo

El muestreo se efectuó de acuerdo con los parámetros establecidos en el Manual de Campo para el Atlas Geoquímico de Colombia (INGEOMINAS, 2000), el cual cumple con normas internacionales como las del FOREGS (*Forum of European Geological Surveys* Salminen, 1998), y el proyecto internacional. "A global geochemical database, IGCP 259 y 360, (Darnley et al., 1995). De esta manera, se hizo un diseño de muestreo aleatorio, es-

tratificado, balanceado, basado en una red de muestreo bidimensional y por cuencas hidrográficas menores a 20 km<sup>2</sup>.

Los tipos de muestras recolectadas son: aguas, suelos y sedimentos activos. La información levantada en campo, para cada uno de los sitios de muestreo, fue consignada en los formularios de captura de datos de campo, diseñados para tal fin, de acuerdo con en el manual de campo antes mencionado.

En la Figura 7 se encuentran ubicadas las 96 sitios de muestreo, con su correspondiente cuenca hidrográfica o área de influencia.

### Análisis de laboratorio

En los laboratorios de INGEOMINAS, las muestras de agua se conservaron a baja tem-

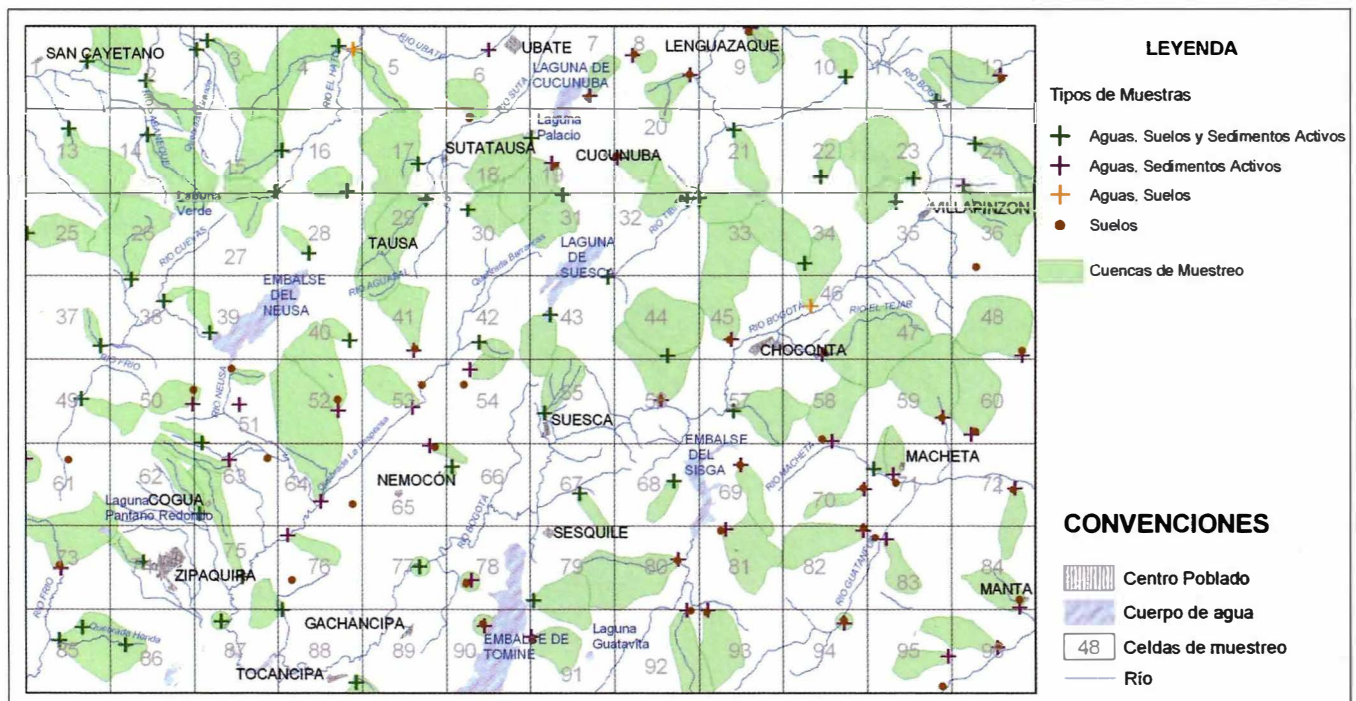


Figura 7. Subcuencas y sitios de muestreo

0 10 km



peratura, los suelos y sedimentos se sometieron a secado a temperatura ambiente (25°C) y, posteriormente, se realizó su preparación para efectuar los análisis químicos realizado en Activation Laboratories de Canadá.

En el caso de las muestras de agua, se utilizó la técnica y de alta sensibilidad, denominada Plasma acoplado a Masas (ICP-MS), para la determinación de 66 elementos con bajos límites de detección.

En sedimentos y suelos se analizaron 48 elementos, mediante el uso de las técnicas de Activación Neutrónica (INAA) y Plasma acoplado inductivamente (ICP). La primera de estas es una técnica no destructiva de análisis total, mientras que para la segunda se requiere colocar la muestra en solución; para tal efecto, se usó el ataque de digestión con cuatro ácidos: HF, HNO<sub>3</sub>, HCl y HClO<sub>4</sub>.

En la Figura 8 se muestran, en la tabla periódica, los elementos químicos analizados en

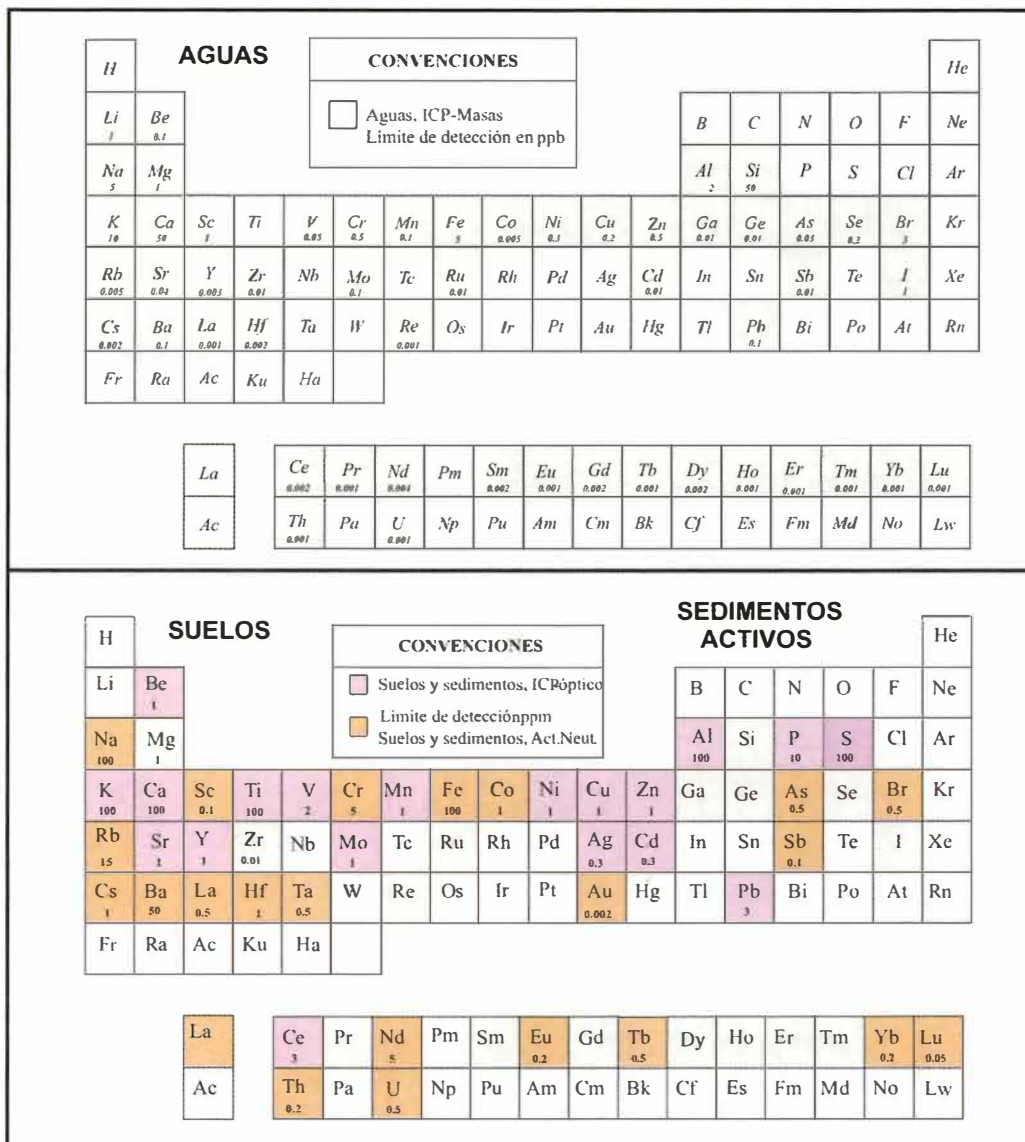


Figura 8. Tabla periódica de elementos analizados

aguas, suelos y sedimentos activos, con la correspondiente técnica analítica utilizada y el respectivo límite de detección. Para el control de calidad de resultados analíticos en los laboratorios se analizaron muestras por duplicado y patrones o estándares de referencia con valores certificados.

### Tratamiento y análisis de la información.

La metodología general se presenta en el diagrama de flujo de la Figura 9, que sintetiza la metodología de análisis aplicada al procesamiento de datos e interpretación de los resultados químicos obtenidos.

Para la interpretación de los resultados geoquímicos desde el punto de vista ambiental, se tienen en cuenta varios factores como son el tipo de muestra (suelo, sedimento o agua), la normatividad existente tanto a nivel nacional como internacional, los elementos potencialmente peligrosos (EPP), tipo de análisis químico y factores de enriquecimiento.

Para las muestras de agua se tiene en cuenta el Decreto 475/98 de la legislación colombiana para calidad del agua; para suelos y sedimentos no existe normatividad colombiana, de manera que en el caso de suelos se utilizan los valores de referencia del Ministerio de Vivienda, Planeación y Ambiente de Holanda, VROM (1991,1994) y para sedimentos se compara con el contenido normal en *shales*, por ser común este material geológico en la

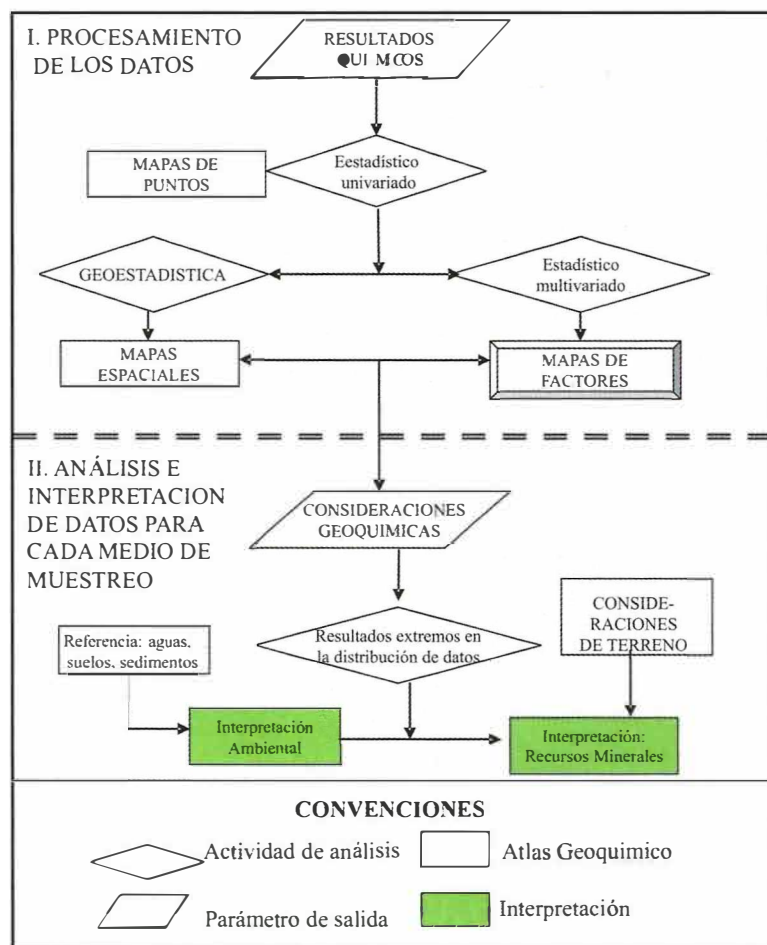


Figura 9. Metodología para procesamiento e interpretación geoquímica

zona de estudio y presentar contenidos altos en varios elementos químicos.

Finalmente, se muestra en los mapas el rango de peligrosidad teniendo en cuenta el tipo y contenido de elemento así: para el Cd, Pb, Hg, As se considera alto, medio para la combinación de elementos mayores con otros traza (Co, Cr, V, etc.) y bajo para elementos mayores.

Para exploración de recursos, se tienen en cuenta los valores extremos y los mapas de grupos de elementos, relacionándolos con las unidades geológicas y la presencia de recursos minerales, teniendo cuidado con aquellos sitios ubicados en zonas de conocida contaminación antrópica, como algunos de la Sabana de Bogotá.

### 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

En la metodología anterior se describió el tratamiento estadístico realizado a los datos, enseguida se presenta lo relacionado con los análisis de los datos de campo, que son en su mayoría de tipo descriptivo.

#### AGUAS

Las aguas muestreadas corresponden principalmente a quebradas de cuencas menores de 20 km<sup>2</sup>, sin embargo en algunos casos se tomaron aguas de canales de riego denominados en la Sabana de Bogotá como vallados, también algunos afluentes a embalses o lagunas de corta longitud, es decir menores a 3 km.

Dependiendo del sitio de la toma de la muestra de agua, así mismo es la calidad de la misma; en los páramos el agua es limpia, transparente, mientras que hacia la Sabana es turbia y con mal olor; es en este último

tipo de aguas donde presenta mayor variabilidad en sus propiedades fisicoquímicas.

Estas características del agua se reflejan en la composición química de las mismas diferenciándose dos grupos, las aguas provenientes de la Sabana de Bogotá (con altos contenidos de la mayoría de elementos químicos) y las de las laderas de las montañas, afectadas por las características geológicas de la zona tales como presencia de carbón, *shales*, sal, etc.

El rango de pH varía desde muy ácido hasta muy básico, sin embargo el rango general está entre 5,5 a 7,5, relativamente neutro. Los puntos correspondientes a pH muy ácidos (<5) desde 2,9 a 5, corresponden en su orden a las quebradas Palacio (celda 18), río Charco de Nutria (54), quebrada Perico (65), quebrada Chorrillo (52) y quebrada Palcaquita (8DC), mientras las celdas con pH >8 corresponden a: quebrada Media Luna con pH de 12,6 (celda 7), quebrada Zanja (31), quebrada La Chorrera (13) y quebrada El Volcán (19); estos puntos con alto contraste de pH se encuentran en la zona industrial entre Zipaquirá y Ubaté (Figura 10).

Se encuentran valores de conductividad eléctrica mayores que 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  al sureste, entre las poblaciones de Tocancipá, Gachancipá y Zipaquirá, en los siguientes sitios: Vallado La Fuente (celda 88), quebrada Salinas (78), río Negro (74), río Charco de Nutria (54) y quebrada Perico (65).

Finalmente, la temperatura del medio muestreado, presenta valores anómalos en cercanías a las fuentes termales del área de estudio, como Suesca, Nemocón, Chocontá y Machetá.

#### Asociaciones Geoquímicas

A continuación se presenta la interpretación de los grupos de elementos separados mediante análisis factorial con coeficiente de correlación espacial >0,75 y explicación de

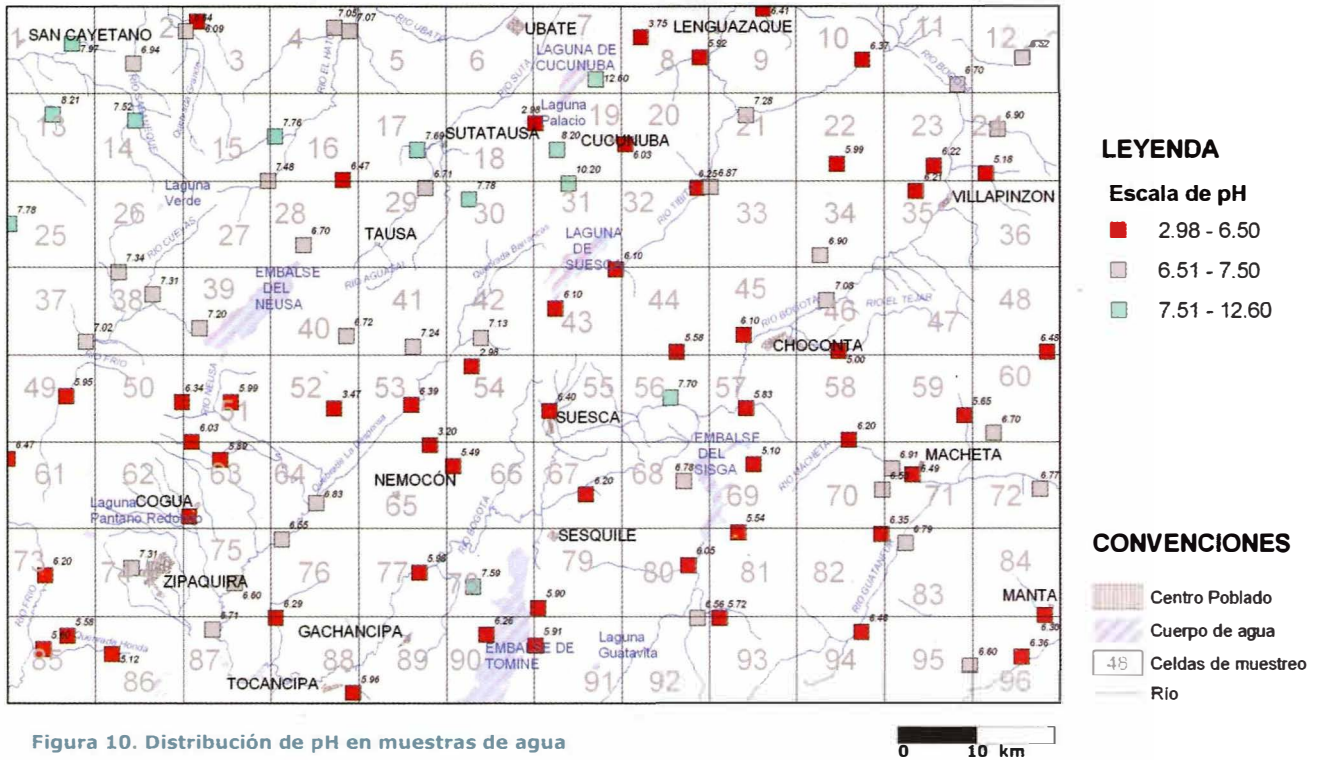


Figura 10. Distribución de pH en muestras de agua

variabilidad >75%, que se aprecian en los mapas de la Figura 11.

**Grupo 1:** Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Nd, Pr, Sm, Tb, Y, Yb. En el mapa se diferencian claramente dos zonas, una al oeste de menor contenido que la del este, se observan áreas de máxima concentración al sur de Ubaté, Chocontá, Lenguazaque y Nemocón, probablemente relacionadas con las fuentes termales y domos salinos.

El **Grupo 2:** Co, Mn, Ni, Zn. En el mapa se observa un alto contenido de los elementos de este grupo, hacia el centro del área de estudio, Suesca y Ubaté, en la cual existe minería de carbón.

El **Grupo 3** está formado por K, Na, Rb y Sr, que son elementos geoquímicamente relacionados, en este caso posiblemente por dilución de rocas calcáreas. En el mapa de este grupo se observa un incremento en el contenido en una franja central de dirección NE-SW

atravesando la totalidad de la plancha y un incremento en la esquina NW alrededor del municipio de San Cayetano.

En el mapa del Grupo 4, As y Sb, la distribución espacial, muestra una clara relación con la Sabana de Bogotá y la zonas industriales presentes en la plancha, mostrando un incremento de estos elementos por efectos antrópicos, mientras el incremento en el sector este de la plancha, al sur del municipio de San Cayetano, puede estar relacionado con la presencia de sulfuros en la Formación Churuvida.

En algunos puntos de muestreo, los contenidos de elementos presentan valores extremos o estadísticamente altos (mayores al percentil 95), que se aprecian en el mapa de la Figura 12. Entre ellos se destacan las quebradas Palacio (Celda 18), Chorrillo (52) y Perico (65) y el río Charco de Nutría (54), cercanos a las fuentes de aguas termales de Suesca y Nemocón (Celdas 52, 54 y 65).

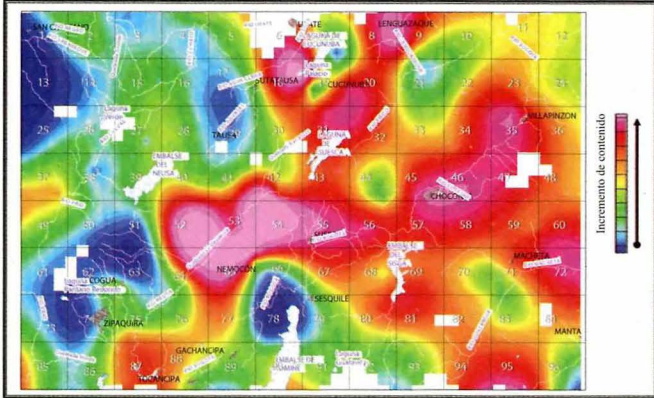


Figura 11.1 Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Nd, Pr, Sm, Tb, Y, Yb

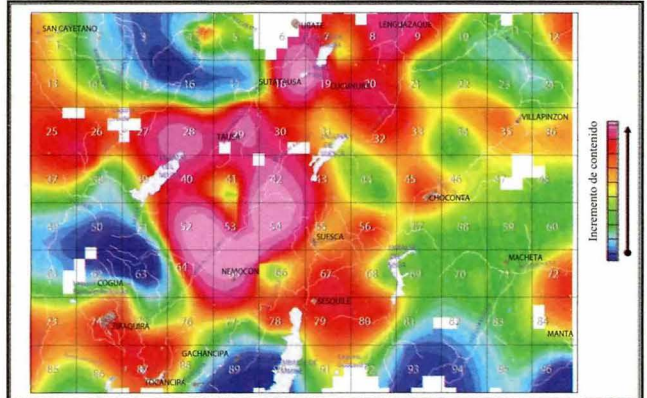


Figura 11.2 Co, Mn, Ni, Zn

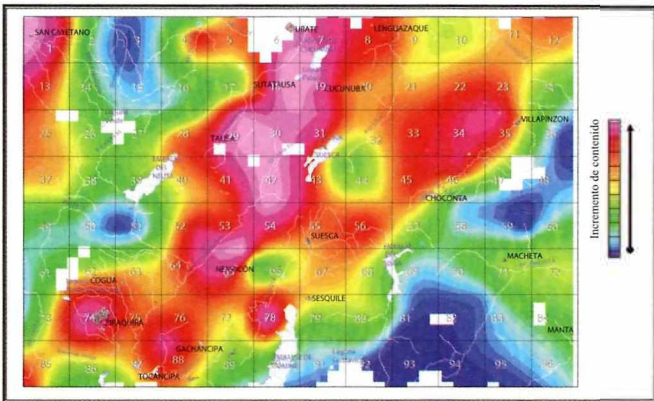


Figura 11.3. K, Na, Sr

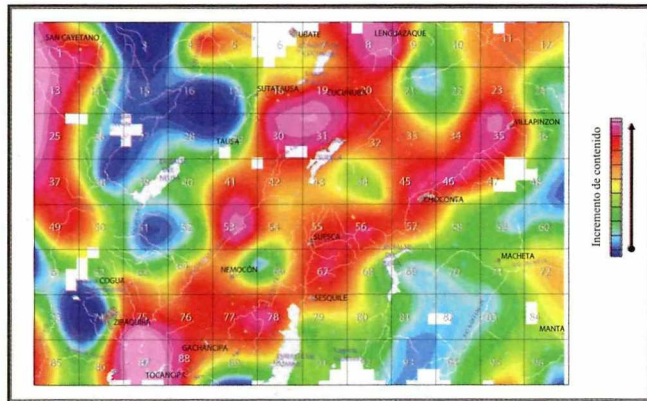


Figura 11.4. As, Sb



Figura 11. Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para aguas

Para corroborar esta relación se realizó una comparación estadística entre los contenidos de algunos elementos traza (Ba, Cu, Mn, Pb, Sr) en aguas superficiales y fuentes termales, usando la prueba de Fisher (*Fisher's least significant difference (LSD) procedure*) que compara los valores de la media con intervalos de confianza al 95% y análisis de conglomerados para observar la semejanza o no de la composición de las diferentes fuentes termales.

Del análisis comparativo de la composición se observa que son relativamente similares, con variaciones para el caso del Mn y Sr. Por otra parte se observa similitud entre la relación composicional de las aguas superficiales de las quebradas Chorrillo (52) y Perico (64) con las aguas de las fuentes termales cercanas de Suesca y Nemocón, en tanto que los contenidos altos de las otras muestras, bien sea por la distancia (Q. Palacio-18), o por que el nacimiento se encuentra en otra dirección río Charco de Nutría -54), no se debe a fuentes termales.

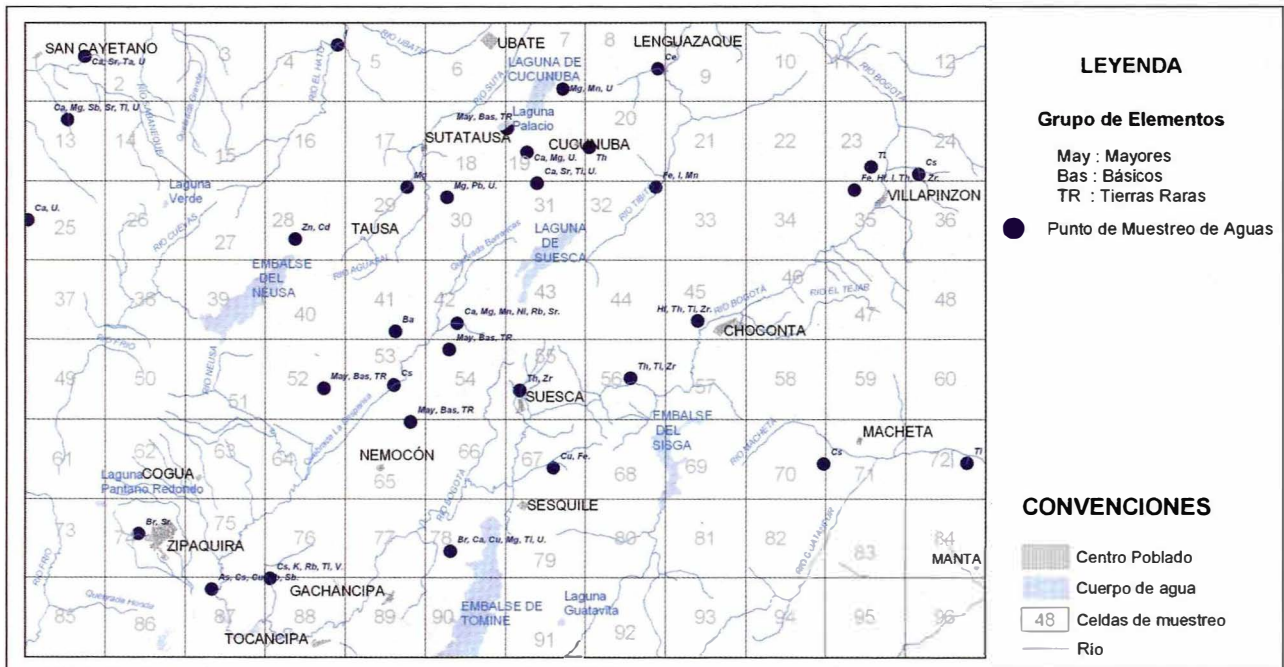


Figura 12. Valores extremos en aguas

En el área de San Cayetano se encuentran valores altos de Ca, Mg, Sr, Ta, Sb, U, lo cual ratificaría la relación con los *shales* de la Formación Churuvita, que presenta niveles calcáreos y presencia de sulfuros. La zona entre Sutatausa, Ubaté y Lenguaque, presenta altos contenidos en aguas de Mg, Mn, Ca, Sr y otros, que pueden estar relacionados con la actividad de explotación del carbón. En el recorrido del río Bogotá: Villapinzón, Sesquile, Chocontá, los altos contenidos de Fe, Ti, Zr, Th, Hf, U, en aguas pueden deberse a las unidades litológicas de origen continental. Finalmente entre Tocancipá y Zipaquirá, los contenidos extremos de As, Cs, Rb, Sb, Sr, V en aguas pueden ser ocasionados por el dia-pirismo de sal.

### Geoquímica ambiental

El Decreto 475 de 1998 por el cual se expiden normas técnicas de "calidad de agua potable", se toma como referencia para comparar los resultados obtenidos porque exige concentraciones muy parecidas a las normas internacionales, considera el mayor número de elementos potencialmente peligrosos y es

la norma colombiana que se aplica para calidad de aguas. Además se tiene en cuenta el Decreto 1594 de 1984 sobre "usos del agua y residuos líquidos". Las interpretaciones de los resultados de agua con respecto a este decreto se presentan a continuación:

### Comparación de concentraciones máximas de elementos químicos permisibles en aguas de consumo humano según el Decreto 475 de 1998

El 54% de las muestras de agua analizadas, cumple con las concentraciones recomendadas por el decreto, en cuanto al contenido de elementos químicos. El 24% de las muestras no cumple porque supera los valores recomendados para hierro y el 16% porque supera las concentraciones de Ca, Al o Mn.

Las cuencas más contaminadas (6%), que superan la norma especialmente para Al, Ni, Ca, Fe, Mg, Mn y Cd, corresponden a las quebradas Palacio, La Alberca, Chorrillo, Charco de Nutria y Perico, ubicadas hacia la parte central de la plancha, entre la Falla de Sutatausa y la Falla de Cucunuba, constituida por are-

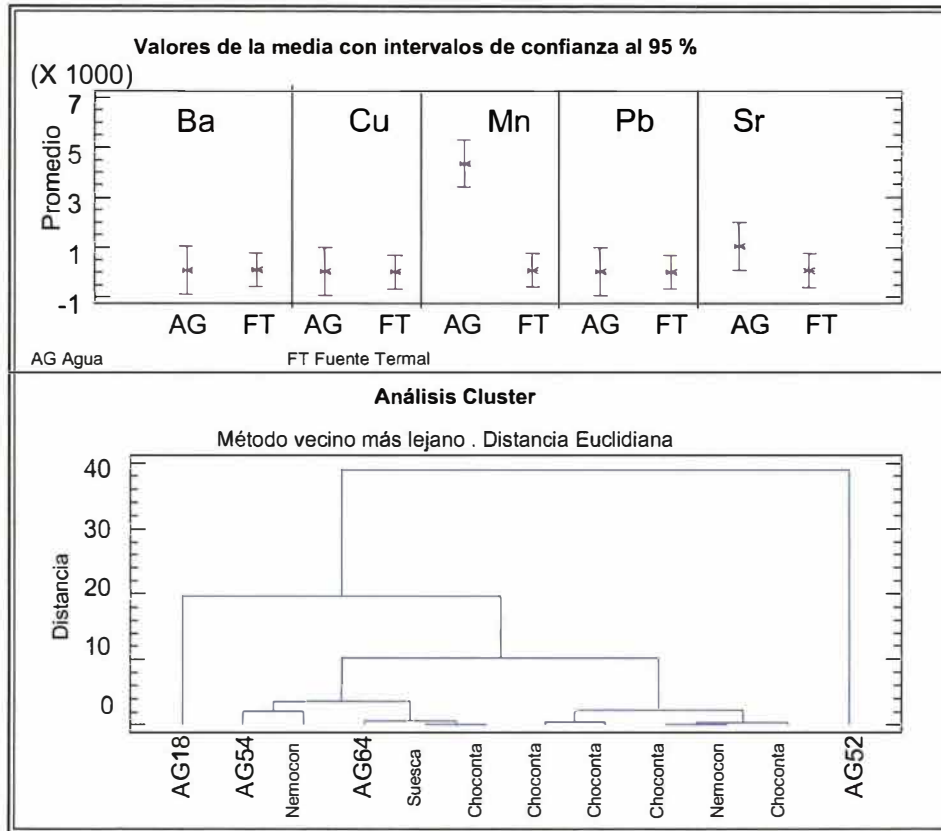


Figura 13. Comparación entre los contenidos anómalos de agua y las aguas termales.Z

nas, gravas y arcillas de depósitos aluviales recientes del Grupo Guadalupe, La quebrada el Zarzal no cumple con la norma porque supera el valor recomendado para mercurio.

Los mayores factores de enriquecimiento (relación entre el valor encontrado y el valor de referencia), se presentan para hierro en la celda número 18, perteneciente a la cuenca de la quebrada Palacio con un factor de 79, la celda número 54 de la cuenca del río Charco de Nutria con un factor de 91 y la quebrada Perico. El níquel presenta altos factores de enriquecimiento en las aguas de las mismas quebradas, el factor más alto (37) se presenta en el río Charco de Nutria.

El agua segura, de acuerdo con el Decreto 475 de 1998, es aquella que sin cumplir algu-

nas de las normas de potabilidad puede ser consumida sin riesgo para la salud humana en la eventualidad de un desastre o emergencia, que afecte el normal suministro del agua potable a la población y deberá ser ordenado por la autoridad sanitaria competente. Los requisitos para el agua segura son menos exigentes que para el agua potable.

Los nombres de las cuencas y de los elementos químicos que superan las concentraciones exigidas por el Decreto 475 de 1998, aparecen en la Figura 14.

Desde el punto de vista de los contenidos de elementos químicos, el 72% de las aguas de las cuencas estudiadas se podrían usar como aguas seguras. El 28% no cumplen porque superan las concentraciones recomendadas,

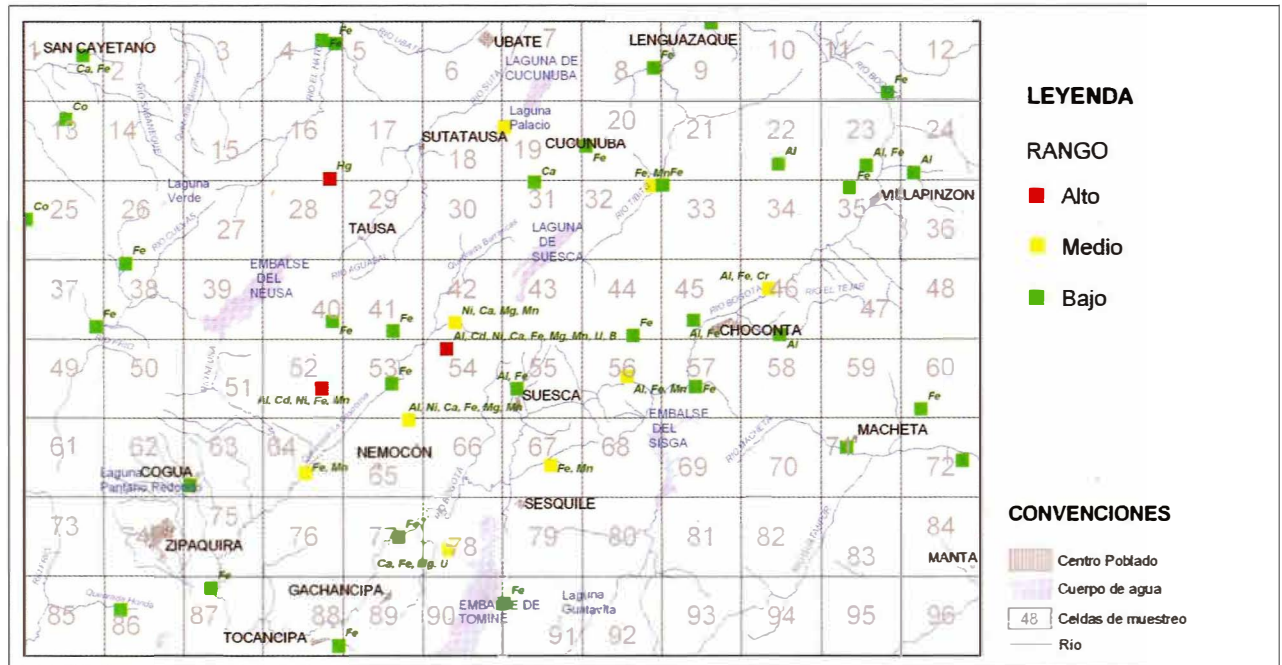
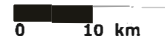


Figura 14. Elementos que superan los valores recomendados al Decreto 475 (calidad de agua).



especialmente para hierro en 24 cuencas y en seis cuencas superan el valor recomendado para calcio, magnesio, aluminio, níquel y manganeso.

### Calidad organoléptica

Algunos elementos químicos pueden afectar el olor, el sabor, el color y la apariencia del agua. Además pueden presentar problemas de corrosión y desteñido en el caso de que se usen para actividades industriales (USEPA, 1999).

Las cuencas que superan las concentraciones de Al, Fe y Mn para aguas potables y Ca y Mg para aguas seguras, también superan los valores recomendados por USEPA (1999) para calidad organoléptica. Las quebradas Media Luna, Aguasal, El Cajón, La Zanja, Salinas, y los ríos Charco de Nutria y Río Negro superan el valor recomendado para sodio. Las quebradas Palacio y La Alberca, además, tienen concentraciones superiores a las recomendadas para sodio y potasio. La quebrada El Perico y

vallado La Fuente superan el valor recomendado para potasio.

### Destinación del agua según el uso (Decreto 1594 de 1984).

Por uso agrícola del agua se entiende su empleo para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias y por uso pecuario el empleo del agua para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias que el Ministerio de Salud o la Emar establezcan. Para uso agrícola la norma tiene en cuenta los siguientes elementos: Al, As, Be, B, Cd, Zn, Ca, Co, Cu, Cr, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se y V. Las muestras de agua del río Charco de Nutria superan las concentraciones recomendadas de Al, Fe, Mn y Ni; la quebrada El Perico lo supera para Fe, Mn y Ni; la quebrada Palacio para Fe y Mn; la quebrada Chorrillo para Mn y Ni y el río Ovejero para Mn.

Para fines pecuarios se pueden usar las aguas de todas las cuencas, menos la del río Charco



de Nutria que no cumple con el valor recomendado para aluminio. Además el potencial de hidrógeno debe estar entre 4,5 y 9,0 unidades. Los sitios de muestreo con pH menor a 4,5 son: quebrada Palacio, quebrada Charco de Nutria, quebrada Perico, quebrada Chorri- llo, quebrada Palasaguita y con pH superior a 9.0 quebrada Zanja y quebrada Media Luna.

### Suelos

Por la geomorfología de la zona de estudio, caracterizada principalmente por tener una región montañosa y otra de planicie correspondiente a la Sabana de Bogotá, los tipos de suelos son muy variables.

Cada tipo de suelo presenta características especiales que se observan en las muestras, tales como color, textura, estructura, humedad, etc., estas propiedades se anotaron en los formatos de campo. En muchos casos no fue factible tomar la muestra de suelo en el mismo sitio de la toma de muestra para agua y sedimento, por esta razón existen puntos con diferentes coordenadas.

### Asociaciones Geoquímicas

A continuación se presentan los componentes o grupos de elementos, resultantes del análisis factorial, extractando los que presentaron correlaciones mayores a 0,75 y explicación de varianza acumulada hasta el 75%, que aparecen en los mapas de la **Figura 15**.

En el mapa del **Grupo 1: Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th**, se observan los contenidos más altos al NW en San Cayetano, al SW cerca a Zipaquirá y al SE entre Manta y Machetá, al parecer se encuentran relacionados con la presencia de unidades litológicas cretácicas de origen marino.

En el mapa del **Grupo 2: As, Cr, V<sub>2</sub>** se observan altos contenidos al NE cerca San Cayetano, al SW cerca de Zipaquirá, al N cerca Lenguazaque y al SE cerca de Machetá, para los cuales se consideran dos tipos de aporte:

uno de origen geológico (San Cayetano, Machetá y Zipaquirá) y el otro de origen antrópico, debido a la zona agroindustrial ubicada entre Cogua y Ubaté.

El **Grupo 3 es Co, Cu, Ni**, los contenidos más altos se encuentran al E, en una franja NE (San Cayetano) a SW (Zipaquirá) y al SE (Machetá-Manta), también se consideran dos aportes, uno debido a las unidades litológicas cretácicas de origen marino y el otro por la actividad minera del carbón, específicamente en la región de Lenguazaque.

Finalmente, para el **Grupo 4: Be, K, y Rb**, la distribución espacial de contenidos altos es similar a las anteriores, resaltando de nuevo los límites W (San Cayetano) y SE (Machetá-Manta), probablemente originados por los *shales* del cretácico inferior, presentes en esta zona.

En algunos puntos de muestreo de suelos, se encuentran **contenidos extremos** altos o anómalos, como se aprecia en el mapa de la **Figura 16**. Se resaltan hacia el oeste elementos como Pb, As, Fe, Cu, Br; en la franja central Ubaté-Tocancipá: Br y Sb y hacia el este algunas tierras raras y radioactivos como Ce, La, Yb, Nd, Th. Se destaca el sitio de la Celda 25 con elementos como As, Cu y Mo, entre otros.

### Calidad ambiental de los suelos

Para la interpretación de los datos desde el punto de vista ambiental se comparan las concentraciones de los elementos químicos considerados como elementos potencialmente peligrosos encontrados en los suelos, contra los valores propuestos por el VROM (1994) y los valores promedio reportados por Kabata y Pendias (1992). Los elementos químicos que superan estas concentraciones propuestas como referencia en suelos para uso agrícola, desde el punto de vista de su toxicidad, aparecen con el nombre de la respectiva cuenca en la **Tabla 16** y el mapa de estos sitios en la **Figura 17**.

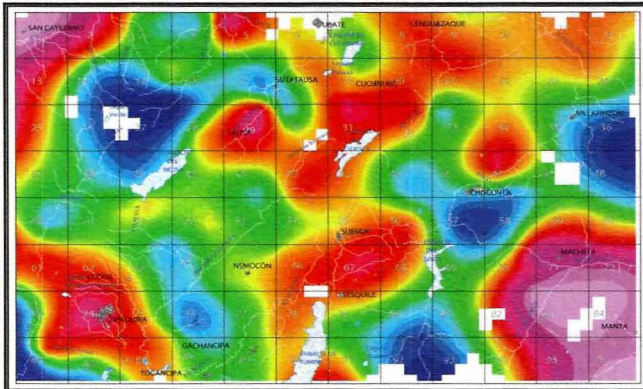


Figura 15.1 Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th

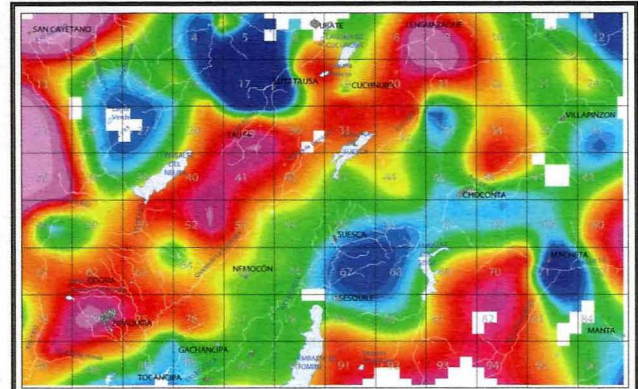


Figura 15.2 As, Cr, V

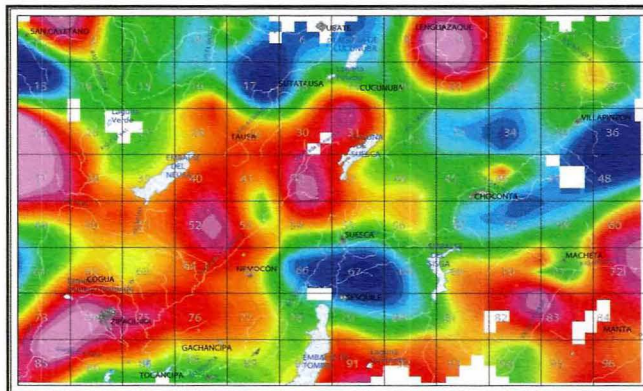


Figura 15.3. Co, Cu, Ni, Sc.

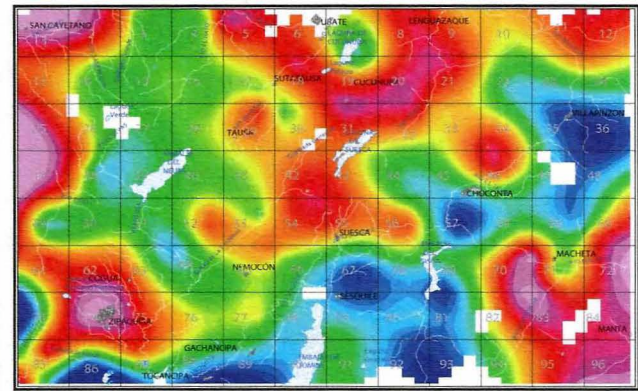


Figura 15.4. Be, K, Rb

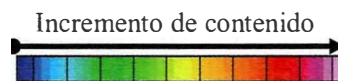


Figura 15. Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para suelos

El 77% de los suelos estudiados en la plancha 209 Zipaquirá, no supera los valores de referencia de fitotoxicidad establecido para los elementos químicos en suelos dedicados a la agricultura. El 23% supera las concentraciones especialmente para vanadio, cadmio y zinc. Los suelos de las cuencas de las quebradas Canutillal (1), Arenosa (8) y el río Yayatá (25), superan los valores de referencia para el mayor número de elementos.

### Fertilidad de los suelos

Los elementos químicos (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn, Mo y Zn), en ciertos rangos de concentración, son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

La mayoría de los suelos de las cuencas estudiadas están dedicados a la agricultura. El contenido de los elementos químicos reportados son totales, por lo tanto no representan exactamente la fracción del elemento biodis-

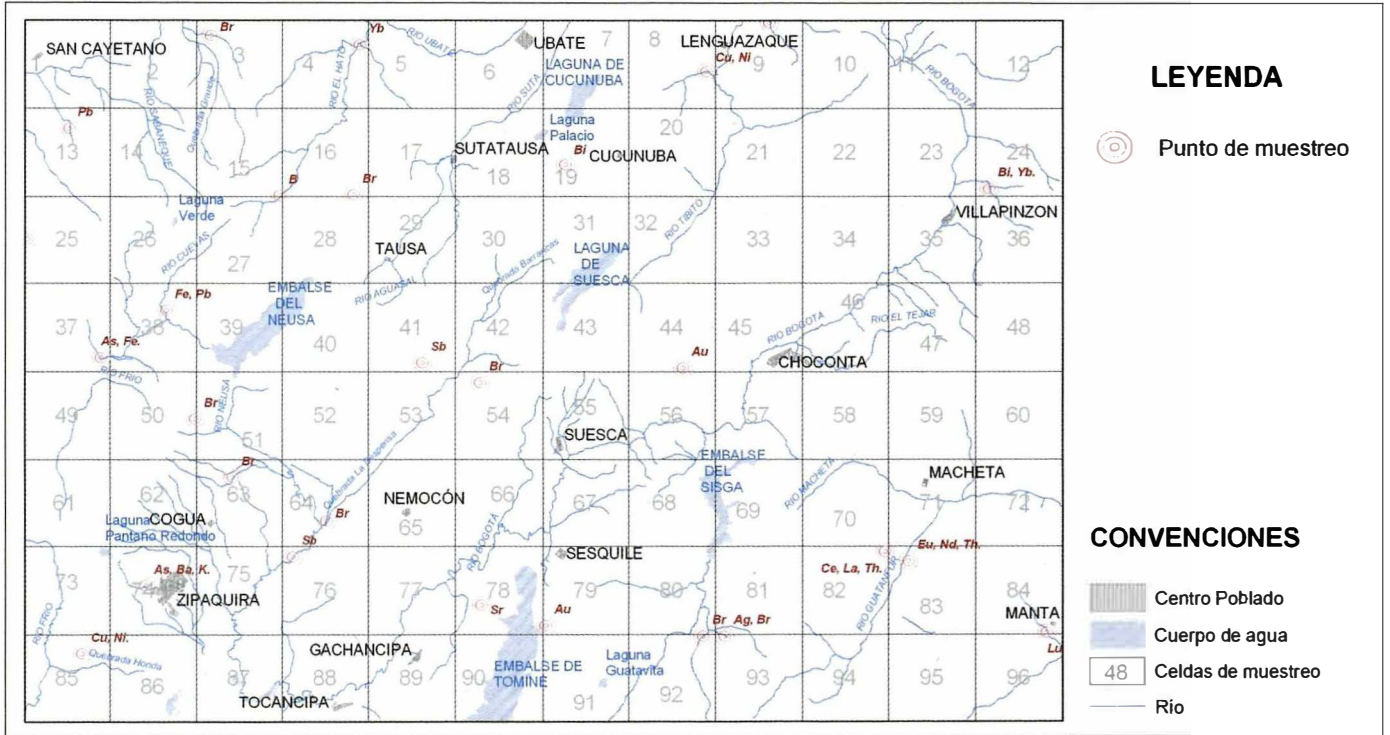


Figura 16. Valores extremos en suelos

0 10 km

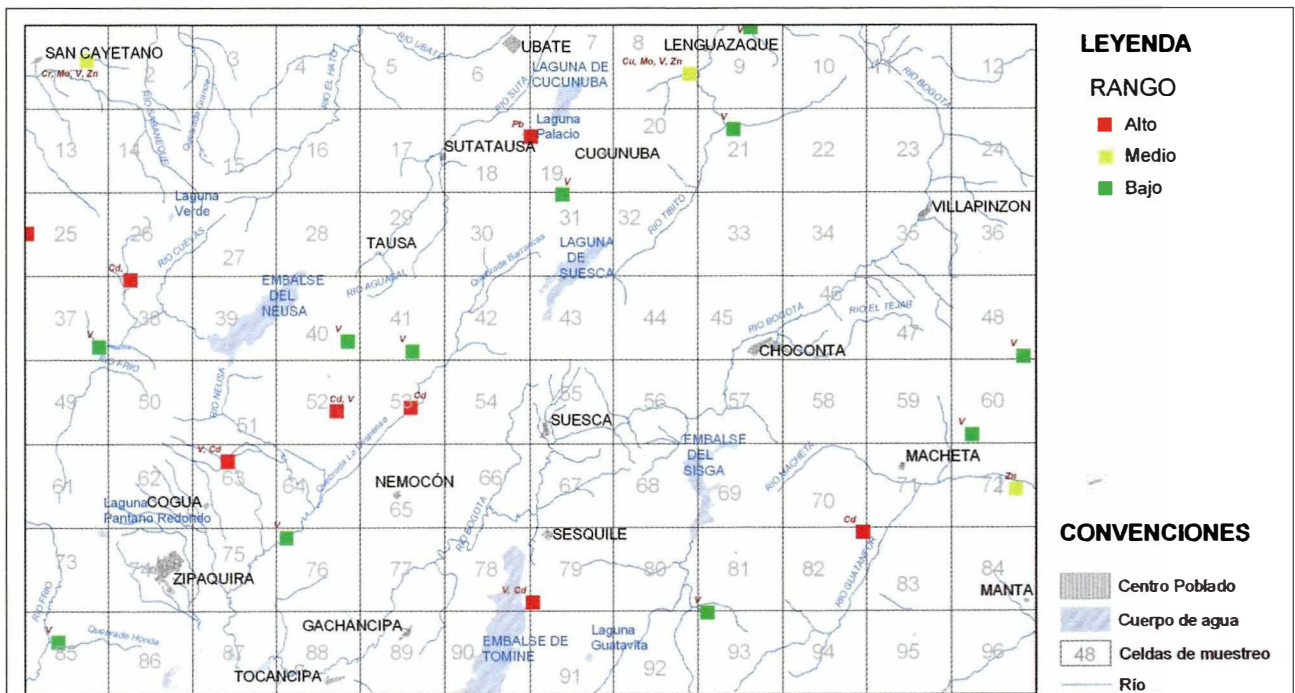


Figura 17. Calidad ambiental de suelos

0 10 km

ponible para la planta. No obstante, para la interpretación de la fertilidad de los suelos, se comparan las concentraciones de los elementos químicos considerados como esenciales desde el punto de vista agrícola con los valores promedio obtenidos a nivel mundial por Connor y Shacklette (1976). Los elementos fósforo, magnesio, y hierro, se presentan en concentraciones apropiadas desde el punto de vista de la fertilidad, en más del 88% de los suelos de las cuencas estudiadas.

Se presentan deficiencias de potasio, sodio, calcio, cobre, manganeso y molibdeno, en más del 80% de los suelos de las cuencas estudiadas.

### Sedimentos activos

Debido a las características del área de estudio se presentan dos tipos de drenaje cuyos sedimentos reflejan estas propiedades: los asociados a la región montañosa de bajo transporte constituidos por arenas medias a gruesas, de forma subangular, cuarzosas y con un porcentaje representativo fragmentos líticos y las de los drenajes de la Sabana, con sedimentos de arenas muy finas a finas, lodosas o lodolitas. Los puntos de muestreo de agua corresponden a la de los de sedimentos activos, en la celda 5 cerca a Ubaté no fue posible recolectar este tipo de muestras.

### Asociaciones Geoquímicas

Mediante análisis estadístico multivariado se obtuvieron cuatro componentes principales que resumen el 67% de las variables o elementos químicos y muestran entre si un alto factor de correlación; su distribución espacial se observa en la **Figura 18**.

**Grupo 1:** Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, presenta altos contenidos al NW y W (San Cayetano) y al SE extendiéndose hasta Manta y Machetá; en la franja central de N a S (Lenguazaque a Zipaquirá, respectivamente).

En el mapa del **Grupo 2:** Cu, Ni, V, Sc, se aprecia un mayor nivel en el contenido de estos elementos, hacia el sector entre el Embalse del Neusa y la Laguna de Suesca (al sur de Ubaté), debido probablemente a la actividad minera del carbón.

El **Grupo 3** muestra la asociación del Lu e Yb, el valor más alto se encuentra al SE entre Machetá y Manta.

El **Grupo 4** formado por el par As-Sb tiene un alto coeficiente de correlación (0.93) y un porcentaje de explicación de varianza del 87% se resalta el alto contenido de estos elementos en una franja sur oeste –nor este (entre Zipaquirá y Lenguazaque), la cual coincide con la zona de actividad minera del carbón y en el límite oeste del área de estudio.

Los sitios de muestreo con valores estadísticamente extremos (por encima del percentil 95) y su distribución puntual se muestran en la Figura 19.

Hacia el NW (San Cayetano) se observan valores extremos para elementos como Ca, Cd, Mo, S, Sb, los cuales pueden encontrarse asociados a las unidades cretácicas aflorantes en este sector. En el área de Lenguazaque se observan valores extremos de Ba, Fe, Mn, Sb, entre otros, asociados probablemente a la actividad minera del carbón; al suroeste (Zipaquirá) Ag, Ba, Ce, Cu, La, posiblemente por diapirismo de sal y al sureste (Machetá-Manta) Ce, Au, Hf, por los *shales* de la formación Chipaque.

### Calidad ambiental relacionada con los sedimentos activos.

El estudio de los elementos químicos potencialmente peligrosos en los sedimentos permite conocer y complementar el estudio de la contaminación de las aguas. Para su interpretación ambiental se tienen en cuenta los valores de referencia reportados por Turekian y Wedepohl (1961) y McLennan (2000) en *shales*. Los elementos químicos

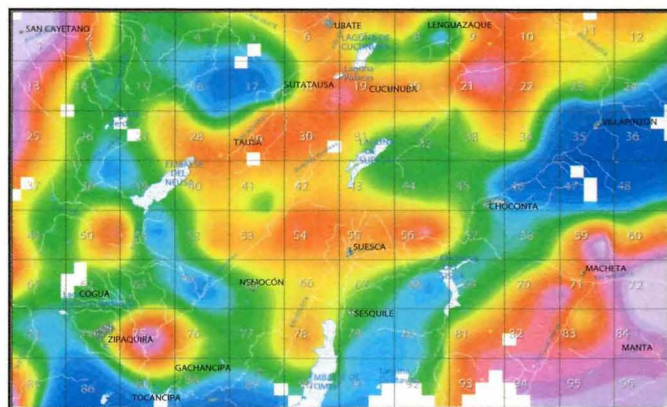


Figura 18.1. Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th

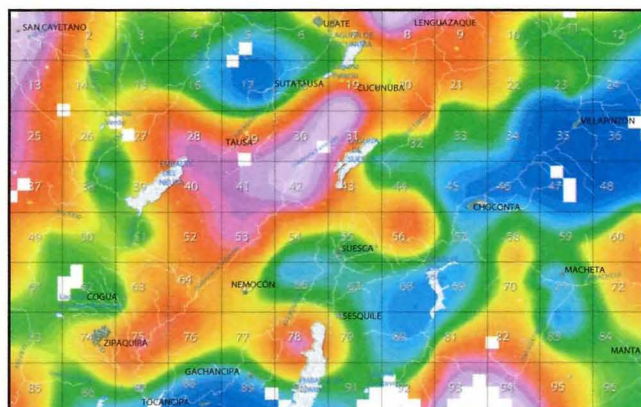


Figura 18.2. Cu, Ni, V, Sc

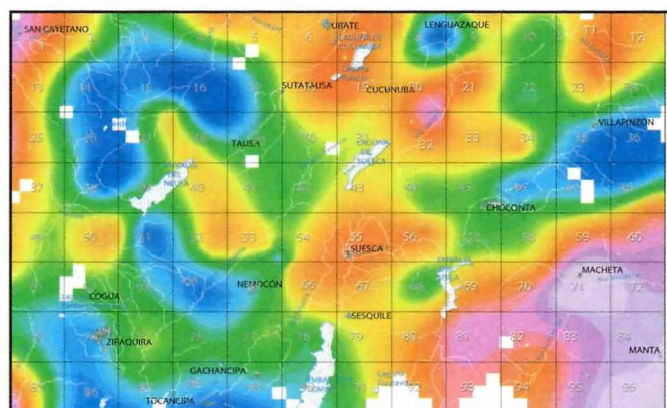


Figura 18.3. Lu, Yb

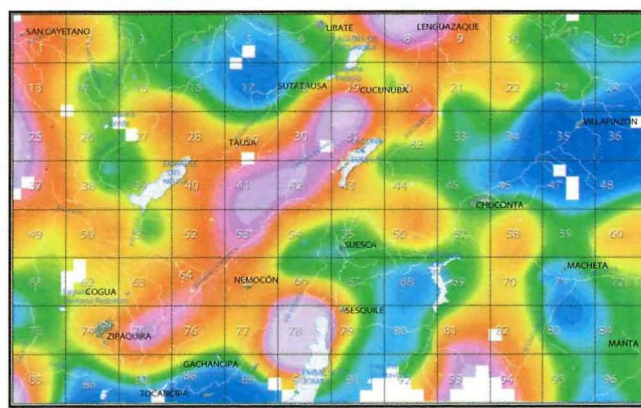


Figura 18.4. As, Sb

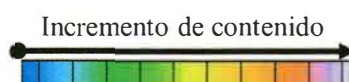


Figura 18. Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para sedimentos

que superan estos valores y la ubicación de estos sitios de muestreo se observan en el mapa de la Figura 20.

Los elementos potencialmente peligrosos que superan en mayor proporción las concentraciones sugeridas por Turekian y Wedepohl (1961), en las 95 cuencas muestreadas son: cadmio que supera el valor aproximadamente en el 95% de las cuencas, cinc en el 60%, plomo en el 45%, molibdeno en el 38% y vanadio en el 27%. De estos elementos calcó-

filos, cadmio, cinc y plomo son considerados como muy tóxicos y accesibles (Förstner y Wittman 1975).

Los sedimentos, que superan los valores recomendados para el mayor número de elementos químicos, corresponden a las cuencas de las quebradas Arenosa (celda 8), Taitiva, Zanja, Salinas y ríos Neusa y Las Juntas.

Los mayores factores de enriquecimiento, que resultan de comparar la concentración

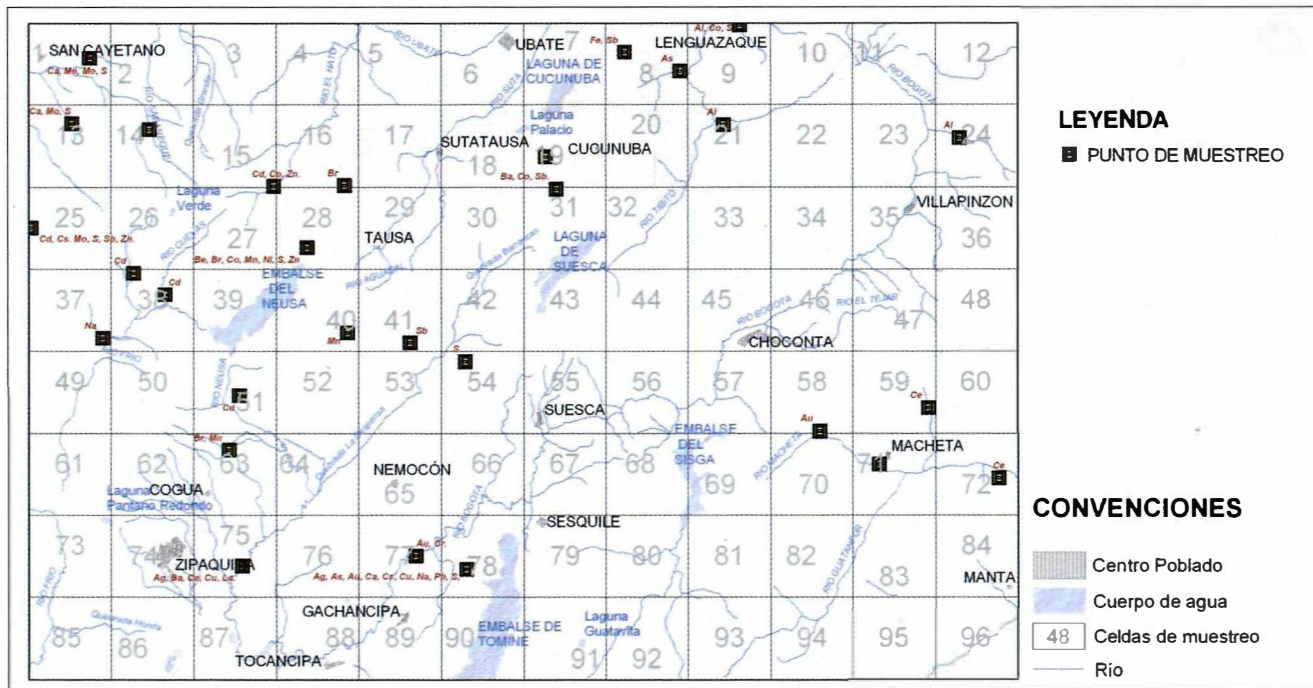


Figura 19. Valores extremos en sedimentos activos

0 10 km

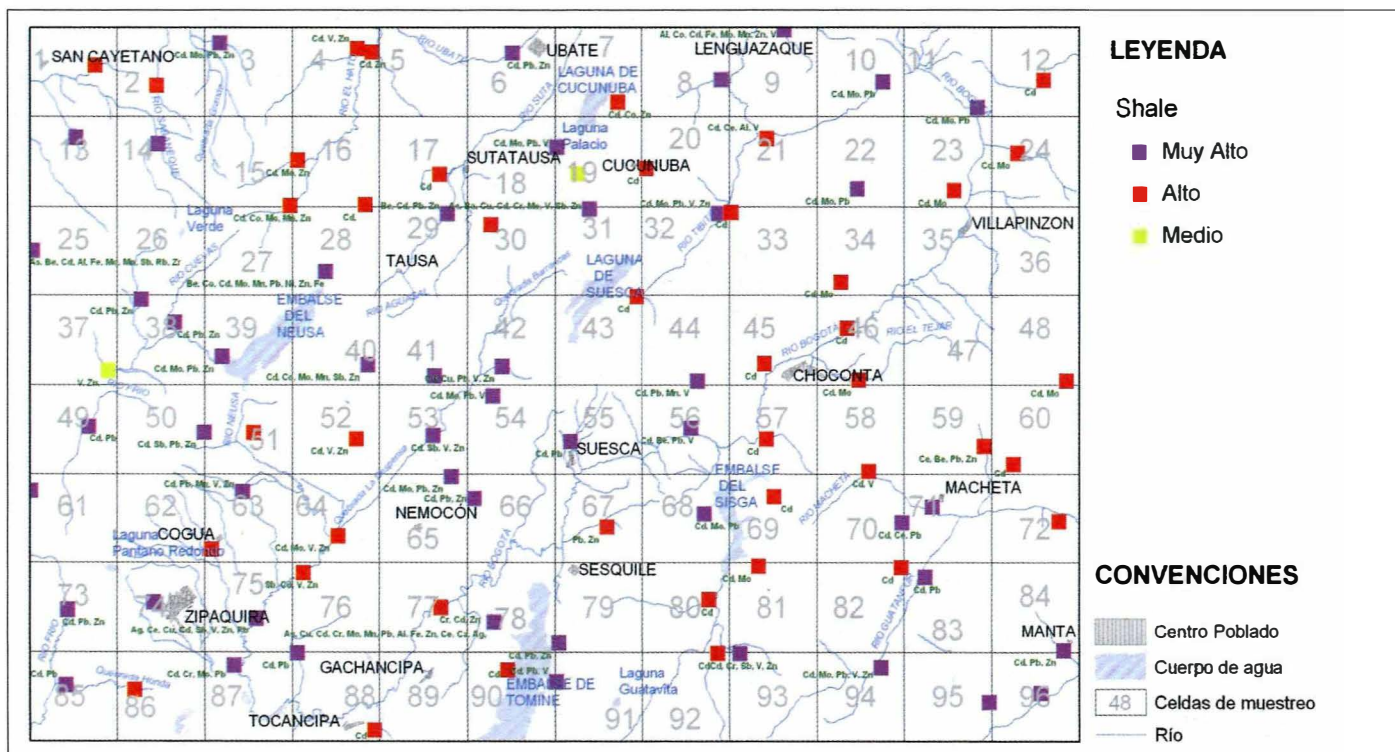


Figura 20. Elementos de sedimentos activos mayores al valor promedio en shale

0 10 km

del elemento en la celda con el valor tomado como referencia en shales, se presentaron para cadmio, en la cuenca del río Yayatá y en la cuenca del río Hato. El 15% de las muestras ubicadas en la parte occidental del anticlinal de Zipaquirá presentan factores de enriquecimiento iguales o superiores a 5. Estas muestras están ubicadas en las formaciones cretácicas de Chipaque y Guadalupe.

### **Perspectivas para exploración de recursos minerales**

Hasta el momento la interpretación de resultados se ha realizado con énfasis ambiental. A continuación se realiza la interpretación geoquímica para exploración de recursos minerales, mediante el análisis de los elementos de interés económico y la delimitación de zonas geoquímicas a partir de las asociaciones de elementos afines y valores extremos o anómalos.

### **Presencia y distribución de metales preciosos**

Debido a su importancia en recursos minerales, se hace especial énfasis en la distribución de los metales preciosos oro y plata, presentes en muestras de suelos y sedimentos (Tabla 1 y Figura 21).

Se encontraron contenidos para oro en muestras de sedimentos activos de 1 a 306 ppb y en suelos 1 a 222 ppb; para el caso de la plata el rango en los 2 tipos de muestras: 0,2 a 17.9 ppm en sedimentos y 0.2 a 9.1 en suelos.

Para sedimentos activos, el mayor valor de oro se ubica en la Quebrada Nápoles con 306 ppb, seguido de la Quebrada Salinas con 127 ppb y en el caso de la plata en el Río Neusa con 17.9 ppm. En otros sitios se presentan resultados más bajos: para oro, un Afluente del Río Machetá con 28 ppb, y un punto en el río Bogotá con 13 ppb; los demás valores

son menores a 7 ppb para oro y 3 ppm para plata.

En la Figura 21 se observa la presencia de oro y plata, tanto en suelos como en sedimentos, en los puntos que se mencionaron anteriormente. Se pueden plantear dos posibles zonas de interés en exploración de recursos metálicos usando como base los metales preciosos: al SW en el área de Zipaquirá –Sesquilé y al SW entre Manta-Machetá, en este sector cerca de la fuente termal de los Volcanes se observa el contenido más alto en oro en sedimentos activos.

os tipos de yacimientos minerales que se pueden encontrar en la plancha 209, relacionando las características geológicas del tipo de rocas sedimentarias, principalmente shales, con los resultados geoquímicos antes presentados, son los que se presentan en la Tabla 1.

### **Regiones geoquímicas**

Se identifican dos regiones geoquímicas, que pueden ser consideradas de interés para exploración de recursos en la región de San Cayetano al NW y Machetá-Manta al SE, las cuales se encuentran relacionadas con la litología cretácica de origen marino, que se refleja especialmente en los altos contenidos de tierras raras, comparativamente, en la zona de estudio. En la región de Lenguazaque, se presenta influencia de la actividad minera del carbón en la composición química de los diferentes medios de muestreo, causando incrementos en los contenidos de elementos traza, principalmente en muestras de sedimentos y suelos. La región de Zipaquirá, por su asociación a eventos geológicos de las unidades litológicas cretácicas y el diapirismo salino, presenta incrementos en los contenidos de elementos como As, Ba, Cu, Sb, entre otros. Finalmente, para la Cuenca Alta del Río Bogotá, se pueden definir dos orígenes para los elementos en aguas, uno geológico hacia el nacimiento del río y posteriormente en su

Tabla 1. Tipos de yacimientos minerales asociados a rocas sedimentarias.

YACIMIENTO MINERAL	UNIDAD DE ROCA	DESCRIPCIÓN	EDAD DE MINERALIZACIÓN	INDICACIONES GEOQUÍMICAS	REGIÓN
SHALE-HOSTED Ni-Zn-Mo-PGE	QUÍMICA SEDIMENTARIA	Delgados estratos de pirita, vaesita (NiS <sub>2</sub> ), jordisita (MoS <sub>2</sub> amorfa) y esfalerita en subcuencas de shales asociados a chert fosfáticos y rocas carbonatadas.	Post Archeano. Los depósitos conocidos son del Cámbrico Temprano y Devoniano, sin embargo, pueden ser potenciales para depósitos de otras edades.	Valores elevados de Ni, Mo, Au, PGE, C, P, Ba, Zn, Re, Se, As, U, V y S en rocas y en sedimentos de río. El contenido orgánico correlaciona con contenidos en metales como Ni, Mo y Zn.	San Cayetano Zipaquirá Macheta-Manta
SEDIMENTARY EXHALATIVE Zn-Pb-Ag	CLÁSTICAS SEDIMENTARIAS: SHALES, SILTSTONE ARCILLOLITAS	Capas y laminas de esfalerita, galena, pirita, pirrotita y vestigios de calcopirita con o dentro de barita, en estratos sedimentarios marinos euxínicos clásticos. Los depósitos son típicamente de forma tabular a lenticular y rango de espesor de centímetros a cientos de metros.	Los principales eventos metalógenicos son Proterozoico medio, Cámbrico temprano, principios del Silúrico y Devonico medio a tardío.	Los depósitos son típicamente zonados con Pb con facies ricas en Zn. Cu es usualmente asociado con eventos exhalativos así como la barita, formación hierro hematita-chert, si se presentan, están usualmente asociadas a facies distales. Los sedimentos como calizas pelágicas interestratificadas con la zona de mena puede ser enriquecida en Mn.	San Cayetano Lenguazaque Macheta-Manta
IRISH-TYPE CARBONATE-HOSTED Zn-Pb	CARBONATOS SIN ROCAS IGNEAS ASOCIADAS	Esfalerita masiva, galena, sulfuros de hierro y lentes de barita asociada con calcita, dolomita y ganga de cuarzo. Los depósitos están estructuralmente controlados.	Los depósitos conocidos están en el Paleozoico y rocas encajantes más jóvenes.	Metales base elevados, valores de Ag y Mn en muestras de lodos y suelos; también, alto contenido de carbonatos, y por lo tanto el alto pH puede reducir efectivamente los lodos de los ríos.	San Cayetano Macheta-Manta
CARBONATOS-HOSTED DISSEMINATED Au-Ag	CLÁSTICAS SEDIMENTARIAS: SHALES, ARCILLOLITAS	Grano muy fino, oro del tamaño de micron y sulfuros diseminado en zonas carbonatadas. El oro se presenta eventualmente distribuido a través de zonas concordantes y brechas.	Principalmente terciario, pero puede ser de otra edad.	2 asociaciones geoquímica importantes: Au+As+Hg+W o ? Mo y As+Hg+Sb+Tl o Fe. Es importante el NH <sub>3</sub> en algunos depósitos importantes. Au:Ag 10:1 o mayor. Valores anómalos en rocas: As (100-1000 ppm); Sb (10-50 ppm); Hg (1-30 ppm).	Lenguazaque Zipaquirá
BLACKBIRD SEDIMENT-HOSTED Cu-Co	CLÁSTICAS SEDIMENTARIAS: SHALES, ARCILLOLITAS, ARENISCAS.	Pirita y (menor) pirrotita, cobaltita, calcopirita, arsenopirita y magnetita, aparece como diseminaciones, pequeñas venas y tabular y lentes en rocas sedimentarias. Alteración clorítica y brechas de turmalina están localmente asociadas con la mineralización.	Sin definir.	Enriquecido en Fe, As, B, Co, Cu, Au, Ag y Mn; puede haber decrecimiento en Ca y Na.	San Cayetano Zipaquirá Macheta-Manta
SEDIMENT-HOSTED Cu+/-Ag+/-Co	CLÁSTICAS SEDIMENTARIAS: SHALES, ARCILLOLITAS, ARENISCAS.	Diseminaciones de cobre nativo, calcopirita, bornita y calcopirita en una variedad de rocas sedimentarias continentales incluyendo shale negro, areniscas y calizas.	Proterozoico o más joven; proterozoico medio, Permico y Mesozoico inferior.	Valores elevados de Cu, Ag, Pb, Zn y Cd están determinadas en rocas encajantes, algunas con incrementos de Hg, Mo, V, U, Co y Ge.	San Cayetano Zipaquirá Macheta-Manta



**Continuación Tabla 1. Tipos de yacimientos minerales asociados a rocas sedimentarias.**

YACIMIENTO MINERAL	UNIDAD DE ROCA	DESCRIPCIÓN	EDAD DE MINERALIZACIÓN	INDICACIONES GEOQUÍMICAS	REGIÓN
SEDIMENTARY-HOSTED, ESTRATIFORME BARITA	CLASTICAS SEDIMENTARIAS: SHALES, ARCILLOLITAS.	Sedimentary-hosted, cuerpos estratiformes o lentes de barita, que pueden ser ricos sobre decímetros en espesor y varios kilómetros de longitud. Las rocas ricas en barita (barititas) son comunmente en shale para depositos de Pb-Zn (SEDEX).	Los depósitos son hospedados por rocas del Arqueano, a Mesozoico pero son más comunes en rocas del fanerozoico, especialmente en el Paleozoico medio a tardío.	Bario enriquecido en la roca encajante de depositos Zn-Pb, altos contenidos de Zn, Pb, Mn, Cu y Sr, muestras de roca y sedimentos activos.	San Cayetano Zipaquirá Macheta-Manta
ARENISCAS-Pb	CLASTICAS SEDIMENTARIAS: ARENISCAS	Galena diseminada acompañada por esfalerita, en cuarcita basal transgresiva o areniscas cuarzo-feldespática limitadas a un basamentos sialico.	Edad de mineralización no ha sido establecida con certeza; sin embargo los depositos han sido encontrados desde el Proterozoico medio al Cretaceo.	Geoquímica de superficie, sedimentos de río y suelos; analisis para Pb y Zn.	San Cayetano Cuenca Alta de Bogotá
COLOMBIA-TIPO ESMERALDAS	CLASTICAS SEDIMENTARIAS	Las vetas esmeraldíferas y las brechas se presentan encajadas principalmente en shales negros piritosos y en shales carbonosos, así mismo, asociadas a arcillolitas, areniscas, calizas y evaporitas. Las esmeraldas se presentan en racimos en rellenos de estructuras compuestas por carbonato-pirita-albita-cuarzo en echelon conjugadas y en brechas cementadas.	Los depositos colombianos se encuentran en shales de edad Cretaceo. Se considera casi contemporaneas .	Los shales dentro de los bloques tectónicos en los distritos mineros se presentan lixiviados en tierras raras, Li, Mo, Ba, Zn, V y Cr. Los sedimentos activos finos asociados a shales alterados tienen una proporción baja de K/Na. En las zonas de influencia se detecta Be.	San Cayetano Zipaquirá Macheta-Manta

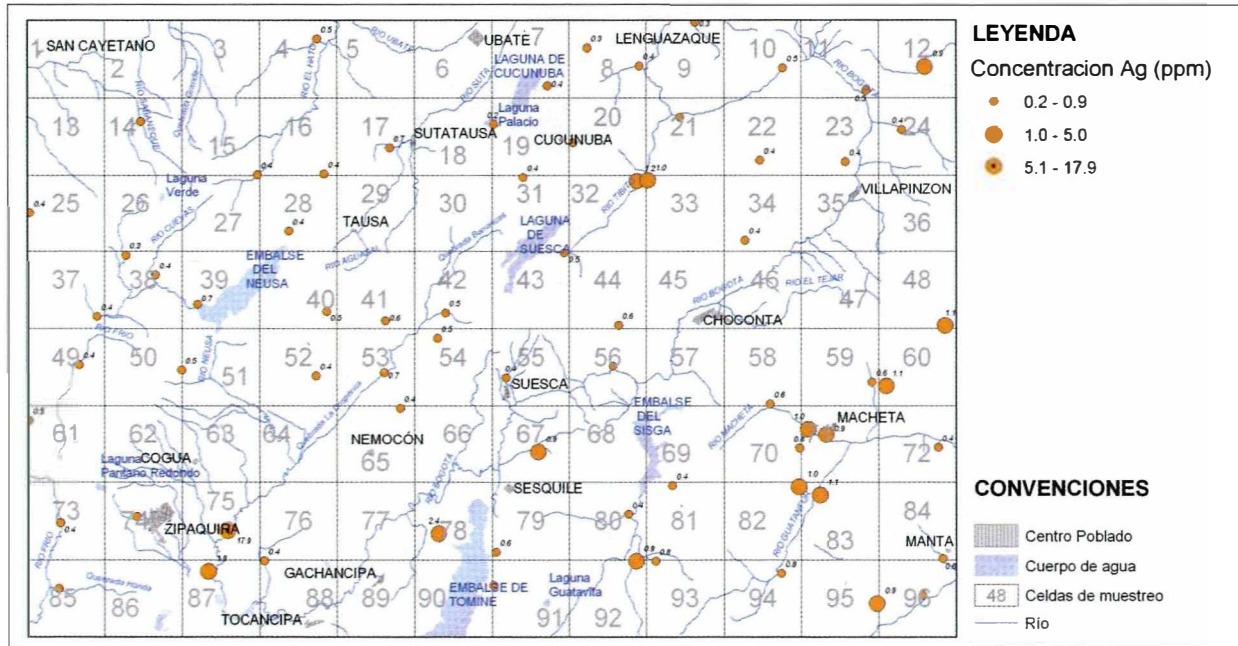


Figura 21.1. Sedimentos activos PLATA-Ag

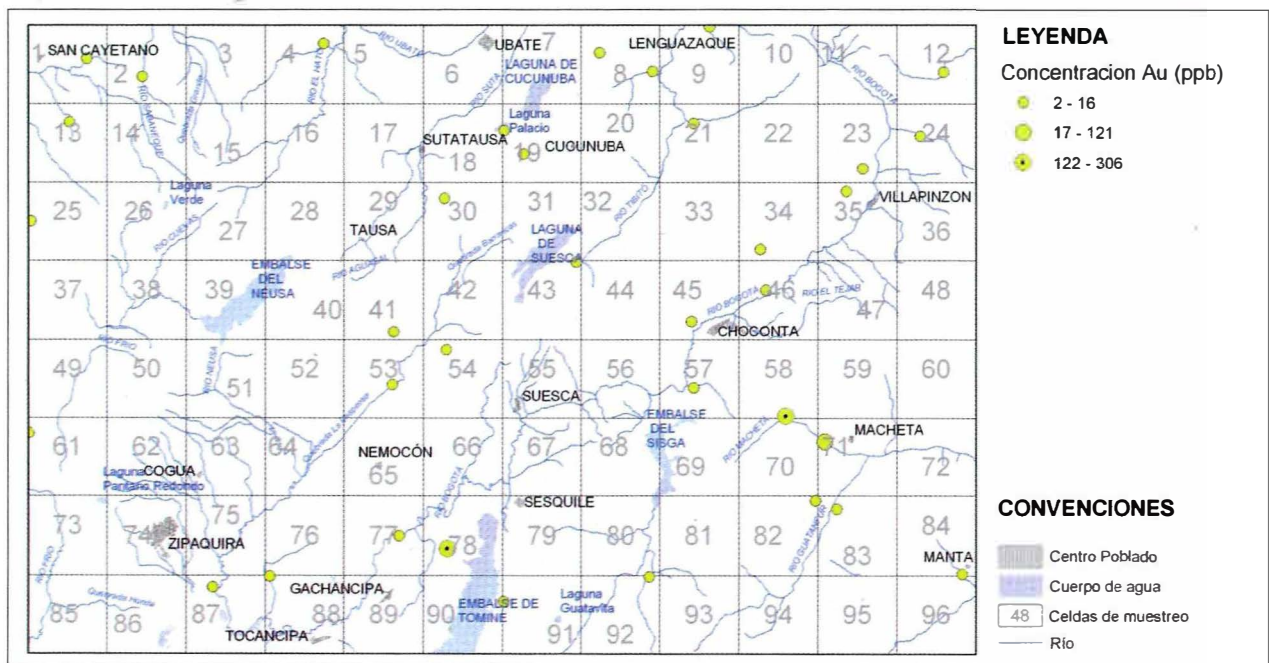
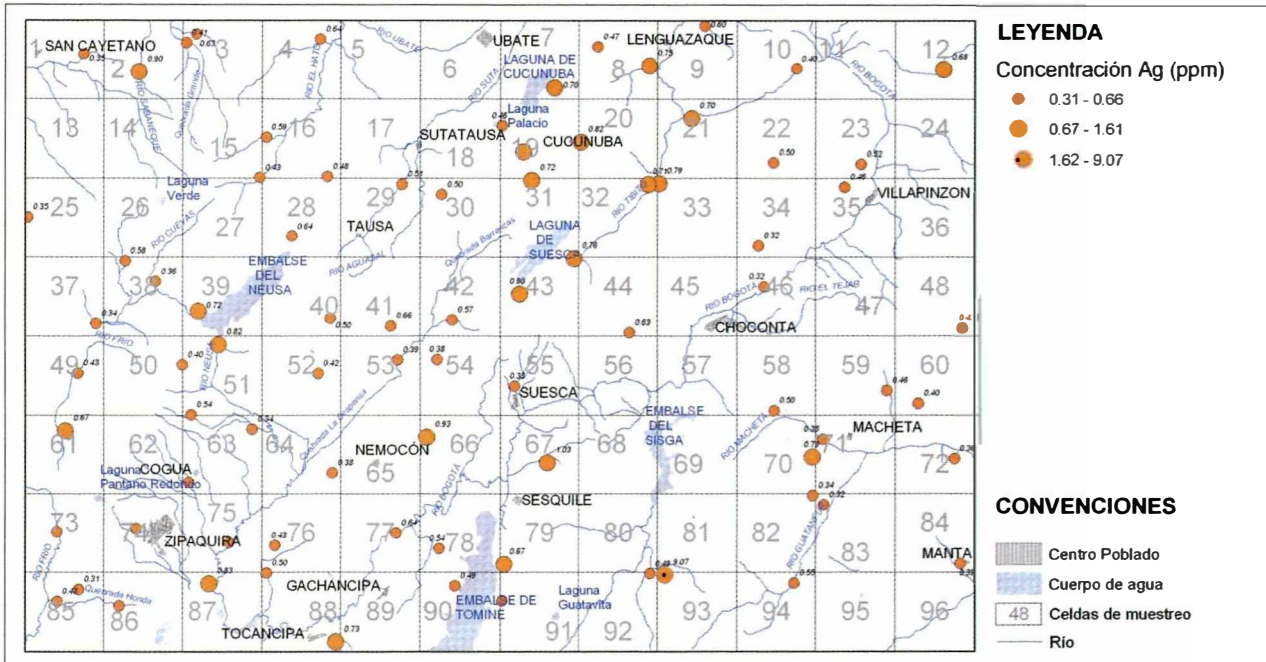


Figura 21.2. Sedimentos activos ORO-Au

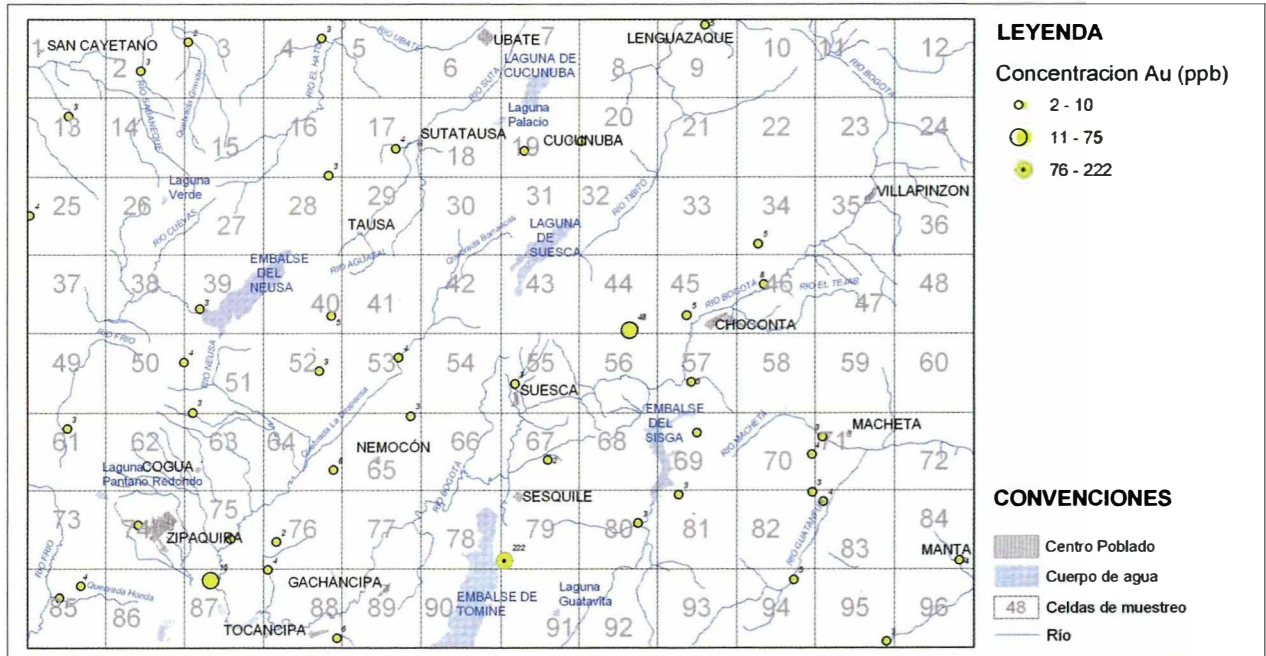
Figura 21. Concentración de metales preciosos en sedimentos activos y suelos



**LEYENDA**  
Concentración Ag (ppm)  
● 0.31 - 0.66  
● 0.67 - 1.61  
● 1.62 - 9.07

**CONVENCIONES**  
■ Centro Poblado  
■ Cuerpo de agua  
■ 48 Celdas de muestreo  
— Río

Figura 21.3.  
Suelos PLATA-Ag



**LEYENDA**  
Concentración Au (ppb)  
● 2 - 10  
● 11 - 75  
● 76 - 222

**CONVENCIONES**  
■ Centro Poblado  
■ Cuerpo de agua  
■ 48 Celdas de muestreo  
— Río

Figura 21.4.  
Suelos ORO-Au

Continuación Figura 21. Concentración de metales preciosos en sedimentos activos y suelos

recorrido, aporte antrópico, con incrementos en los contenidos de la mayoría de elementos químicos en las muestras de agua.

Se identificaron cinco regiones geoquímicas denominadas de oeste a este como: San Cayetano, Zipaquirá, Lenguazaque, Cuenca Alta

del Río Bogotá y Machetá-Manta, su ubicación se representa en el mapa de la Figura 22. Las características geoespaciales y geoquímicas se resumen en la Tabla 1.

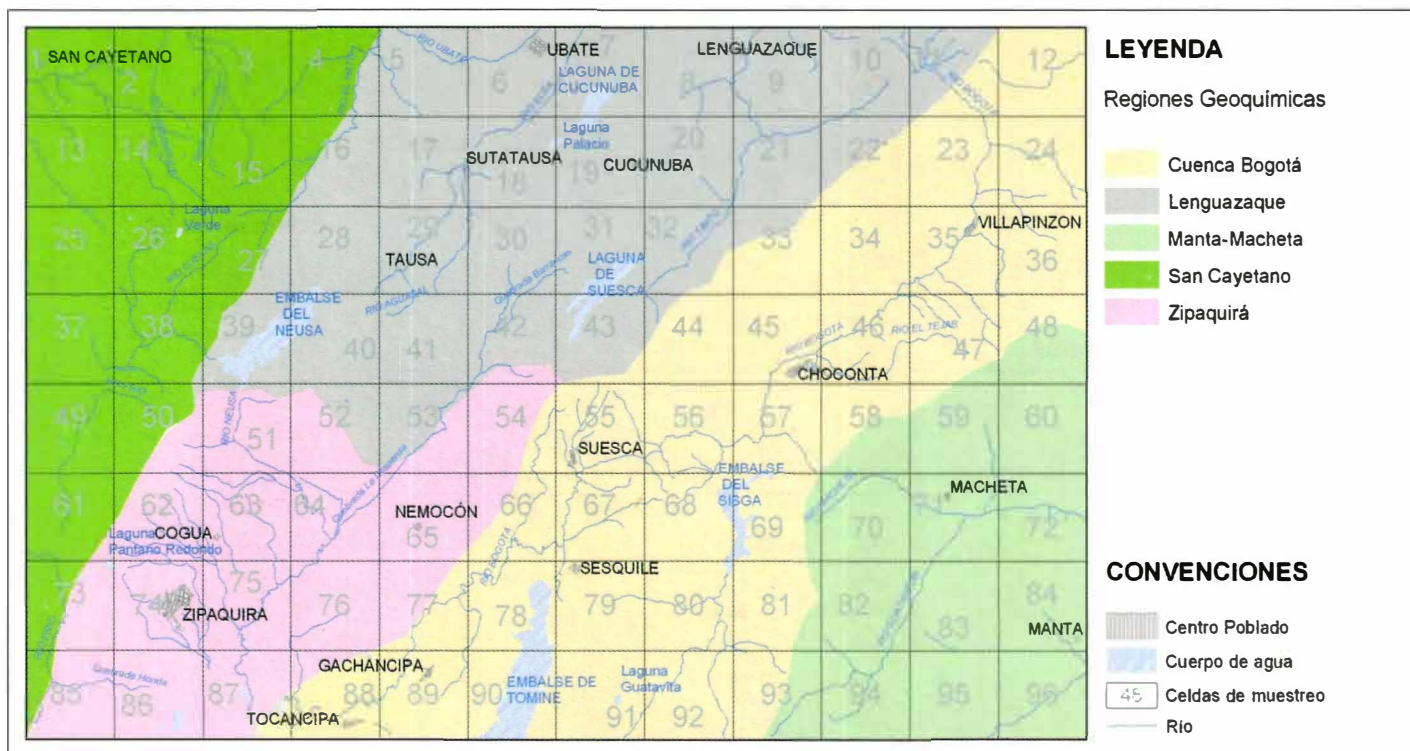


Figura 22. Mapa de regiones geoquímicas



TABLA 2. Características de las regiones geoquímicas.

REGIÓN	Características				Grupos de elementos			Valores extremos			Presencia de oro (Au) y plata (Ag)	
	Geología	Rasgo predominante	Geomorfología	Factores fisicoquímicos del agua	Agua	Sedimentos activo	Suelos	Agua	Sedimentos activo	Suelos	Sedimentos activo	Suelos
I. SAN CAVETANO	Formaciones del Cretácico Superior: Churumita, Simijaca, La Frontera, Conejo, Lidita Superior.	Shales	Paisaje montañoso, geoforras como: espinasos, crestas, escarpes, lomas y glacis coluvial.	pH neutro a levemente básico. Conductividad eléctrica entre 2 a 60.	As, Sb, V, Sc, Fe, S.	Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, Cu, Ni, V, Sc, Fe, S.	Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, As, Cr, V, Be, K, Rb.	Ca, Sr, Ta, Ti, U	Ca, Cd, Cs, Mn, Mo, S, Sb	Al, As, Br, Co, Fe, Pb	Au (3 a 6 ppb) y Ag (0.3 a 0.5 ppm)	Au (2 a 4 ppb) y Ag (0.3 a 0.9 ppm)
II. LENGUAZAQUE	Formaciones Guaduas, Labor y Tierra, Plaeners.	Carbón	Paisaje montañoso con geoforras como: cuestas, fillos, valles; paisaje de Planicie con geoforras como terrazas.	pH neutro a levemente ácido, con fuertes fluctuaciones ácidas y básicas. Conductividad eléctrica entre 2 a 60.	Tierras raras, Co, Mn, Ni, Zn, K, Na, Sr, As, Sb.	Cu, Ni, V, Sc, Sm, Th, Cu, Ni, As, Sb, Fe, S.	As, Cr, V, Co, Cu, Ni, Rb.	Ca, Mg, Fe, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Ti	Al, Ba, Co, Fe, Mg, Mn, S, Sb	Br, Cu, Ni, Sb	Au (2 a 5 ppb) y Ag (0.3 a 1.2 ppm)	Au (3 a 5 ppb) y Ag (0.4 a 0.8 ppm)
III. ZIPAQUIRA	Formaciones del Cretácico Superior como Guaduas, Labor y Tierra, Plaeners, Churumita, Conejo, Lidita Superior, Terrazas altas.	Sal	Paisaje montañoso con geoforras como: cuestas, fillos, glacis coluvial; paisaje de Planicie con geoforras como terrazas.	pH neutro a levemente ácido. Conductividad eléctrica entre 50 a 100.	As, Sb, Sm, Th, As, Sb.	Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, As, Sb.	As, Cr, V, Co, Cu, Ni, Be, K, Rb.	As, Br, Cs, Rb, Sb, Ti	Ag, Ba, Ce, Cu, La	As, Ba, K, Sb	Au (6 a 13 y valor anómalo de 127 ppb) y Ag (0.3 a 2.4 y valor anómalo de 17.9 ppm)	Au (2 a 15 ppb) y Ag (0.4 a 0.9 ppm)
IV. CUENCA ALTA DE BOGOTÁ	Formación Tilata, formaciones endógenas como Regadera, Bogotá, Cacho.	Contaminación antrópica.	Paisaje montañoso con geoforras como: lomas, cuestas, fillos, valles; paisaje de Planicie con geoforras como terrazas y planos de inundación.	pH neutro a levemente ácido. Conductividad eléctrica entre 2 a 60.	Tierras raras, K, Na, Sr, As, Sb.			Fe, Ca, Cu, Hf, U, Th, Ti, Zr		Bi, Yb	Au (2 a 7 ppb) y Ag (0.3 a 0.9 ppm)	Au (3 a 8 ppb) y Ag (0.3 a 0.8 ppm)
V. MACHETA-MANTA	Formaciones cretácicas del Interior al superior: Fomeque, Une, Chipaque y Arenisca Dura.	Shale	Paisaje montañoso, geoforras como: espinasos, crestas, escarpes, lomas y glacis coluvial.	pH neutro a levemente ácido. Conductividad eléctrica entre 50 a 100.	Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, Lu, Yb.	Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, Be, K, Rb.	Cs, Ti	Au, Ce, Hf		Ce, Eu, La, Nd, Th	Au (2 a 28 y valor anómalo de 306 ppb) y Ag (0.4 a 1.1 ppm)	Au (3 a 5 ppb) y Ag (0.3 a 0.8 y valor anómalo de 9.07 ppm)

## 4. CONCLUSIONES

En la zona de estudio se pueden considerar dos tipos de origen para los metales potencialmente peligrosos presentes en las aguas, uno antrópico asociado a las zonas con uso industrial entre Zipaquirá y Ubaté y la cuenca del Río Bogotá, después de Villapinzón. El otro origen es de tipo geológico, observándose al noroeste, en los alrededores de San Cayetano un incremento en los contenidos de elementos traza mientras que al oeste principalmente elementos mayores y algunos trazas asociados al hierro.

Desde el punto de vista de calidad de aguas en cuanto a contenido de elementos químicos, el 54% de las aguas estudiadas cumple con los valores recomendados por el Decreto 475/98 (calidad de agua potable), el 46 % no cumple por superar las concentraciones recomendadas, especialmente para hierro, calcio, aluminio y manganeso.

De acuerdo con el Decreto 475/98 el 72 % de las aguas de las cuencas estudiadas se podría usar como aguas seguras. El 28% no cumple con la norma, en esta clasificación, porque superan las concentraciones recomendadas especialmente para hierro.

De acuerdo con el Decreto 1594/85 (destinación del agua según el uso) desde el punto de vista de los elementos químicos, el 5% de las corrientes de agua no se pueden usar en actividades agrícolas por superar los valores recomendados, especialmente para hierro, manganeso y níquel. Para uso pecuario se pueden usar aguas de todas las cuencas estudiadas, con excepción del río Charco de Nutría que supera el valor recomendado para aluminio.

Se observan dos zonas de interés en la asociación de tierras raras: Ce, La, Nd, Sm (tanto en suelos como en sedimentos) al NW (Len-

guazaque) y al SE (Machetá-Manta), en este último sector se asocian además Lu e Yb.

Los sedimentos que presentan el mayor número de elementos químicos que supera los valores establecidos para los *shales*, se encuentran entre el anticlinal de Zipaquirá y el anticlinal de Suesca, constituido por las formaciones del Grupo Guadalupe, formaciones de Bogotá y Chipaque, y depósitos cuaternario.

Los mayores factores de enriquecimiento se presentan para cadmio en los sedimentos ubicados en las formaciones Chipaque y Guadalupe, hacia el occidente de la Plancha.

El 23 % de los suelos estudiados superan los valores recomendados para suelos agrícolas, con posibles problemas de toxicidad especialmente por cadmio, vanadio y zinc, que deben comprobarse mediante estudios de biodisponibilidad.

El 80 % de los suelos de las cuencas estudiadas pueden presentar deficiencias de potasio, calcio, manganeso y molibdeno.

Se identifican dos regiones geoquímicas, que pueden ser consideradas de interés para exploración de recursos en la región de San Cayetano al NW y Machetá-Manta al SE, las cuales se encuentran relacionadas con la litología cretácica de origen marino, que se refleja especialmente en los contenidos de tierras raras, comparativamente altos, en la zona de estudio.

En la región de Lenguazaque, se presenta influencia de la actividad minera del carbón en la composición geoquímica de los diferentes medios de muestreo, originando incrementos en los contenidos de elementos traza, principalmente en muestras de sedimentos y suelos.

En la región de Zipaquirá, se presentan incrementos en los contenidos de elementos como As, Ba, Cu, Sb, entre otros, posiblemente por

influencia de eventos geológicos en las unidades litológicas cretácicas y el diapirismo salino.

Por las características geológicas y geoquímicas el área de estudio existe potencial de otros recursos minerales diferentes a los mencionados, principalmente barita, metales básicos y esmeraldas. Sin embargo, se requiere de estudios más detallados, enfocados hacia a este fin y es necesario comparar estos resultados a nivel regional para ratificar o descartar la posibilidad de encontrar los yacimientos minerales descritos en la Tabla 2.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils. Second Edition. Blackie Academic & Professional. London.*
- Alfaro, C., AGUIRRE, A., BERNAL, N. & GOKCEN, G. 2003. Inventario de fuentes termales del departamento de Cundinamarca. INGEOMINAS. Informe inédito. 186p. Bogotá.
- Alfaro, C., 2005 b. Alteración Hidrotermal en el sistema geotérmico de Paipa. Informe Interno. INGEOMINAS. En preparación.
- Duran, R. & Mojica, P. 1981. Evaluación de reservas de carbón en siete zonas de Colombia. INGEOMINAS. Pub. Geol. Esp., 6:1-134. Bogotá.
- Forstner, V.; Wittman, G.T. 1979. *Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg, New York.*
- Foregs, 1998. *Geochemical Mapping Field Manual. Geological Survey of Finland, Guide 47, Espoo. Finland 36 pp.*
- Golterman, H.L., et al. 1983. *Study of the Relation Ship Between Water Quality and Sediment Transport.*
- Gonzalez L.M.; Vargas O. 1998. Parámetros reguladores de la retención de metales pesados en suelos de la Sabana de Bogotá. INGEOMINAS, Informe interno. Santa Fe de Bogotá.
- Güiza, s., espinosa, A. 2005. Cartografía geoquímica de la plancha 209-Zipaquirá. INGEOMINAS. Bogotá.
- IGAC. 1992. Cundinamarca, Características Geográficas. 189p. Santa Fe de Bogotá.
- IGAC, 2000. Mapa de suelos de Cundinamarca. Bogotá.
- INGEOMINAS. 1997 a. Inventario minero para materiales de construcción en la Sabana de Bogotá. INGEOMINAS, Informe 2254, 128 p. Santa Fe de Bogotá.
- INGEOMINAS. 1999 a. Inventario minero del Departamento de Cundinamarca. INGEOMINAS, Informe 2326, 377 p. Santa Fe de Bogotá.
- INGEOMINAS. 2000. Manual de Campo para el Atlas Geoquímico de Colombia. Informe Interno. Bogotá.
- Kabata, A.; Pendias, H., 1992. *Trace Elements in Soils and Plants.*
- McLennan, S. M. 2001. *Relationship between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. G3, 2. Paper 2000GC000109.*
- McLaughlin, D. & ARCE, M. 1972. Geología del Área Zipaquirá (Zona IV). Informe Preliminar 109. INGEOMINAS. 267p. Bogotá.
- Minsalud. 1984. Ministerio de Salud. Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984. "Usos del agua y residuos líquidos".
- Minsalud. 1998. Ministerio de Salud. Decreto Número 475 del 10 de marzo de 1998. "Por

- el cual se expiden normas técnicas de calidad de agua potable”.
- Montoya, D.M.; Reyes, G.A. 2005. Geología de la plancha 209. INGEOMINAS. Bogotá.
- Perez, F.; Valderrama, G.; Blanco, G.; Gonzalez, L. & Garcia, F. 1987. Caracterización de carbones colombianos zona Checua-Lenguazaque. INGEOMINAS. Bol. Geol., 28 (2): 1-218. Bogotá.
- Perilla, C.E., 2001C. Informe sobre la preparación y muestreo de parte de la plancha 209 Escala 1:100.000 Duitama. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá. (Informe interno).
- Reimann, C., et al. 1998. *Environmental geochemical atlas of the central Barents region. Geological Survey of Norway*. Trondheim.
- Renzoni, G 1965. Mapa Geológico de Colombia-Cuadrángulo L11. INGEOMINAS.
- Salminen, R., et al. 1998. *FOREGS Geochemical Mapping Field Manual. Geological Survey of Finland. Guide 47*. Espoo. 1998.
- Smirnov, V.I. 1982. Geología de Yacimientos Minerales. Moscu.
- Turekian K. K.; Wedepohl K. H. 1961. *Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Bull. Geol. Soc. Am., 72:175-192*.
- Ulloa, C. & Rodríguez, E. 1979. Geología del Cuadrángulo K-12 Guateque, Colombia. INGEOMINAS, Informe 1701, Bol. Geol., 22(1):3-56. Bogotá.
- US-EPA, 1999. *National Recommended Water Quality Criteria - Correction. USEPA, Office of Water. New York*.
- Vrom. 1983. 1991.1994 *Environmental Quality Standards for Soil and Water. Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. The Hage*.
- Who, 1996. *Guidelines for drinking - water quality. Vol 2 Health criteria and other supporting information (1996), and addendum to Vol. 2 (1998). 2nd ed. Geneva, World Health Organization*.
- Wiedmann, J. 1978. En: Huberk; Wiedmann, J. Sobre el límite Jurásico-Cretácico en los alrededores de Villa de Leiva, Departamento de Boyacá, Colombia. 2 Congr. Col. Geol., Mem. WOKITTEL, R. 1957. Situación del yeso en Colombia. Inst. Geol. Nal., Informe 1217, Boletín minero. Bogotá.
- Zambrano, F. & Mojica, P. 1991. Exploración de roca fosfática en los municipios de Nuevo Colon, Turmequé y Ventaquemada, Boyacá. INGEOMINAS, Informe 2135. 1-57p. Bogotá.