



Libertad y Orden

**SUBDIRECCIÓN GEOLOGÍA BÁSICA**

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

**INFORME FINAL  
CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA DE LA PLANCHA 209 ZIPAQUIRÁ**

**Bogotá, D.C., abril de 2005**

**República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
SERVICIO GEOLÓGICO**



**REPÚBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
INGEOMINAS**

## **ATLAS GEOQUÍMICO DE COLOMBIA**

### **CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA DE LA PLANCHA 209 ZIPAQUIRÁ**

**Por  
Sonia Güiza  
Álvaro Espinosa**

**Participación de  
Campo Elías Perilla  
Orlando Vargas Z.  
Timoleón Garzón**

**Bogotá, abril de 2005**



## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. GENERALIDADES .....	3
2.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	3
2.1.1. Localización.....	3
2.1.2. Cuencas hidrográficas.....	3
2.1.3. Geomorfología y suelos.....	3
2.1.4. Marco geológico .....	7
2.1.5. Recursos minerales .....	17
2.2.    METODOLOGÍA DE CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA.....	17
2.2.1. Trabajo de campo.....	22
2.2.2. Análisis de Laboratorio.....	22
2.2.3. Tratamiento y análisis de la información. ....	29
3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA .....	33
3.1. AGUAS.....	33
3.1.1. Datos de campo.....	33
3.1.2. Análisis Estadístico.....	37
3.1.3. Geoquímica ambiental .....	46
3.2. SUELOS.....	48
3.2.1. Análisis Estadístico.....	52
3.2.2. Interpretación geoquímica .....	54
3.3. SEDIMENTOS ACTIVOS .....	63
3.3.1. Análisis Estadístico.....	63
3.3.2. Interpretación geoquímica .....	72
3.4. REGIONES GEOQUÍMICAS.....	78
3.4.1. Presencia y distribución de metales preciosos .....	78
3.4.2. Regiones Geoquímicas .....	78
4. CONCLUSIONES .....	90
5. BIBLIOGRAFÍA.....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica .....	4
Figura 2. Cuencas hidrográficas.....	6
Figura 3. Geomorfología y suelos .....	12
Figura 4. Unidades litológicas.....	14
Figura 5. Principales rasgos estructurales .....	16
Figura 6. Mapa de recursos minerales.....	20
Figura 7. Subcuencas y puntos de muestreo .....	27
Figura 8. Tabla periódica. elementos analizados .....	28
Figura 9. Metodología para procesamiento e interpretación de resultados .....	30
Figura 10. Mapa de distribución puntual de pH.....	36
Figura 11.1 Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para aguas .....	40
Figura 11.2 .....	41
Figura 11.3 .....	42
Figura 11.4 .....	43
Figura 12. Valores extremos en el agua .....	45
Figura 13. Comparación entre los contenidos anómalos de agua y las aguas termales. ....	47
Figura 14. Elementos que superan los valores recomendados al decreto 475 (calidad de agua) .....	50
Figura 15.1 Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para suelos .....	55
Figura 15.2 .....	56
Figura 15.3 .....	57
Figura 15.4 .....	58
Figura 16. Valores extremos en suelos.....	60
Figura 17. Calidad ambiental de suelos .....	62
Figura 18.1 Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para sedimentos activos....	67
Figura 18.2 .....	68
Figura 18.3 .....	69
Figura 18.4 .....	70
Figura 18.5 .....	71
Figura 19. Valores extremos en sedimentos activos .....	74
Figura 20. Valores extremos en sedimentos activos.....	77
Figura 21.1 Concentración de metales preciosos en sedimentos activos y suelos.....	81
Figura 21.2 .....	82
Figura 21.3 .....	83
Figura 21.4 .....	84
Figura 22. Regiones geoquímicas.....	85



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de las cuencas hidrográficas .....	5
Tabla 2. Descripción de las unidades de suelo.....	8
Tabla 3. Descripción de las unidades litológicas .....	13
Tabla 4. descripción de las zonas estructurales.....	15
Tabla 5. Recursos minerales.....	18
Tabla 6. Características de las fuentes termales.....	21
Tabla 7. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.....	23
Tabla 8. Tipos de análisis estadístico .....	31
Tabla 9. Resultados fisicoquímicos en aguas.....	34
Tabla 10. Análisis estadístico multivariado en aguas .....	38
Tabla 11 Sitios de muestreo con valores extremos en aguas.....	44
Tabla 12. Elementos químicos que superan las concentraciones exigidas por el decreto 475/98.....	49
Tabla 13. Elementos de calidad organoléptica USEPA.....	51
Tabla 14. Análisis estadístico multivariado en suelos .....	53
Tabla 15. Sitios de muestreo con valores extremos en suelos.....	59
Tabla 16. Elementos químicos que superan el valor recomendado para suelos agrícolas desde el punto de vista de su toxicidad (por Vrom, 1994 - Kabata y Pendias,1992). .....	61
Tabla 17. Rango contenido de elementos para fertilidad (A partir del promedio de concentración de elementos químicos en el suelo dedicados a la agricultura, Connor y Shacklette, 1976).....	64
Tabla 18. Análisis estadístico multivariado .....	66
Tabla 19. Sitios de muestreo con valores extremos en sedimentos activos .....	73
Tabla 20. Elementos químicos que superan las concentraciones sugeridas por turekian y wedepohl (1961) en shales. ....	75
Tabla 21.Presencia de oro y plata en suelos y sedimentos activos.....	79
Tabla 22. características de las regiones geoquímicas.....	86
Tabla 23. Tipos de yacimientos minerales asociados a rocas sedimentarias .....	89



## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo 1.** Álbum fotográfico de campo

**Anexo 2.** Resultados Químicos para aguas, sedimentos y suelos

**Anexo 3.** Análisis Estadístico

**ATLAS GEOQUÍMICO DE MAPAS DE PUNTOS PARA:  
Cada medio de muestreo: Aguas, Suelos y Sedimentos Activos**

**ATLAS GEOQUÍMICO DE MAPAS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL  
Para cada elemento**

## RESUMEN

En este informe se presentan los resultados del estudio de cartografía geoquímica realizado en la plancha 209 Zipaquirá. Comprende una revisión acerca de las unidades geológicas, geomorfológicas y de suelos. A partir de los resultados de los 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. Se hace un análisis geoestadístico, mapas de distribución puntual y espacial para cada elemento químico, en los diferentes medios de muestreo (aguas, suelos y sedimentos activos), los cuales se presentan en un Atlas Geoquímico.

A partir de relaciones geoquímicas con temáticas como geología, suelos y cuencas, se determinan implicaciones ambientales, tanto de aguas como de sedimentos y suelos, y se proponen algunas posibles zonas de interés para exploración de recursos minerales.

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 de acuerdo con su concentración en aguas, suelos (horizonte A) y sedimentos activos. El estudio se complementa con la interpretación de algunos elementos considerados fundamentales desde el punto de vista agrícola en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los principales elementos que exceden los valores recomendados en aguas desde el punto de vista ambiental son el hierro, el manganeso y el aluminio; en los sedimentos activos cadmio, zinc, plomo y arsénico, y en los suelos el vanadio.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio Geoquímico de la plancha 209 Zipaquirá hace parte de las investigaciones que desarrolla INGEOMINAS dentro del Proyecto de Compilación y Levantamiento de Información Geoquímica, cuyo objetivo principal es obtener el Atlas Geoquímico de Colombia.

El Atlas permite obtener un conocimiento de los procesos geoquímicos que ocurren al nivel de las coberturas superficiales (suelos, sedimentos y aguas) superpuestas al sustrato geológico del país, además, establece líneas base que proporcionan información multipropósito la cual puede ser utilizada en exploración de recursos minerales, estudios ambientales y parámetros geológicos, entre otros.

El estudio fue realizado con metodologías de muestreo y análisis químicos estandarizados internacionalmente consignados en el documento: base de datos geoquímicos globales para el manejo de recursos y medio ambiente (Darnley et al., 1995) y el manual del Foro de Servicios Geológicos Europeos (FOREGS, 1997), adaptados y comprobados en el INGEOMINAS, a través de estudios efectuados en la celda piloto, en la Plancha 5-09 (Vargas et al., 2001), Plancha 171-Duitama (Espinosa, A; Güiza, S. 2004).

Esta plancha a escala 1:100.000, se seleccionó debido a que forma parte del Atlas Geoquímico de la Plancha 5-09, en la cual se presentan unas zonas con particulares atributos de terreno como la cuenca Alta del Río Bogotá, presencia de aguas termales y las unidades geológicas cretácicas han sufrido procesos de diapirismo de sal.

La información recolectada constituye un banco de datos importante para una variedad de aplicaciones que puede ser usado tanto por entes gubernamentales, como por organizaciones no gubernamentales la comunidad científica y la población de esta región en general.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1. ÁREA DE ESTUDIO

Se describen varias características generales de la zona de estudio, como son: localización, cuencas hidrográficas, geología, geomorfología y suelos, recursos minerales, temas que hacen parte del análisis de la información geoquímica obtenida en el presente trabajo.

#### 2.1.1. Localización

La plancha 209-Zipacuirá, 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>, se localizan los municipios de Zipacuirá, Ubaté, Suesca, Sesquilé, Chocontá, Mchetá, Manta, Villapinzón, Cucunubá, Lenguazaque, San Cayetano, Sutatausa, Tausa, Gachancipá, Tocancipá, Cogua y Nemocón.

Esta zona se encuentra atravesada por carreteras pavimentadas que conecta los municipios con Bogotá, siendo las principales Bogotá-Tunja y Bogotá-Zipacuirá-Chiquinquirá. Existen vías alternas sin pavimentar y diversos carretables que comunican las cabeceras municipales con las zonas rurales y solo en el sector sur oriental, presenta pocas vías que se restringe solo a la carretera El Sisga - Agua Clara que conduce hacia los Llanos Orientales. (**Figura 1**).

#### 2.1.2. 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 en la cual se encuentran ubicadas 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. En tamaño la cuenca del Río Suárez es la segunda en importancia, se encuentra ubicada 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 Ríonegro. La descripción y ubicación se presentan en la **Tabla 1** y **Figura 2**, respectivamente.

#### 2.1.3. 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 Zipacuirá se caracteriza principalmente por dos unidades de paisaje: Montaña y Planicie, la cual corresponde a la Sabana de Bogotá.

- **Suelos del paisaje de Montaña**

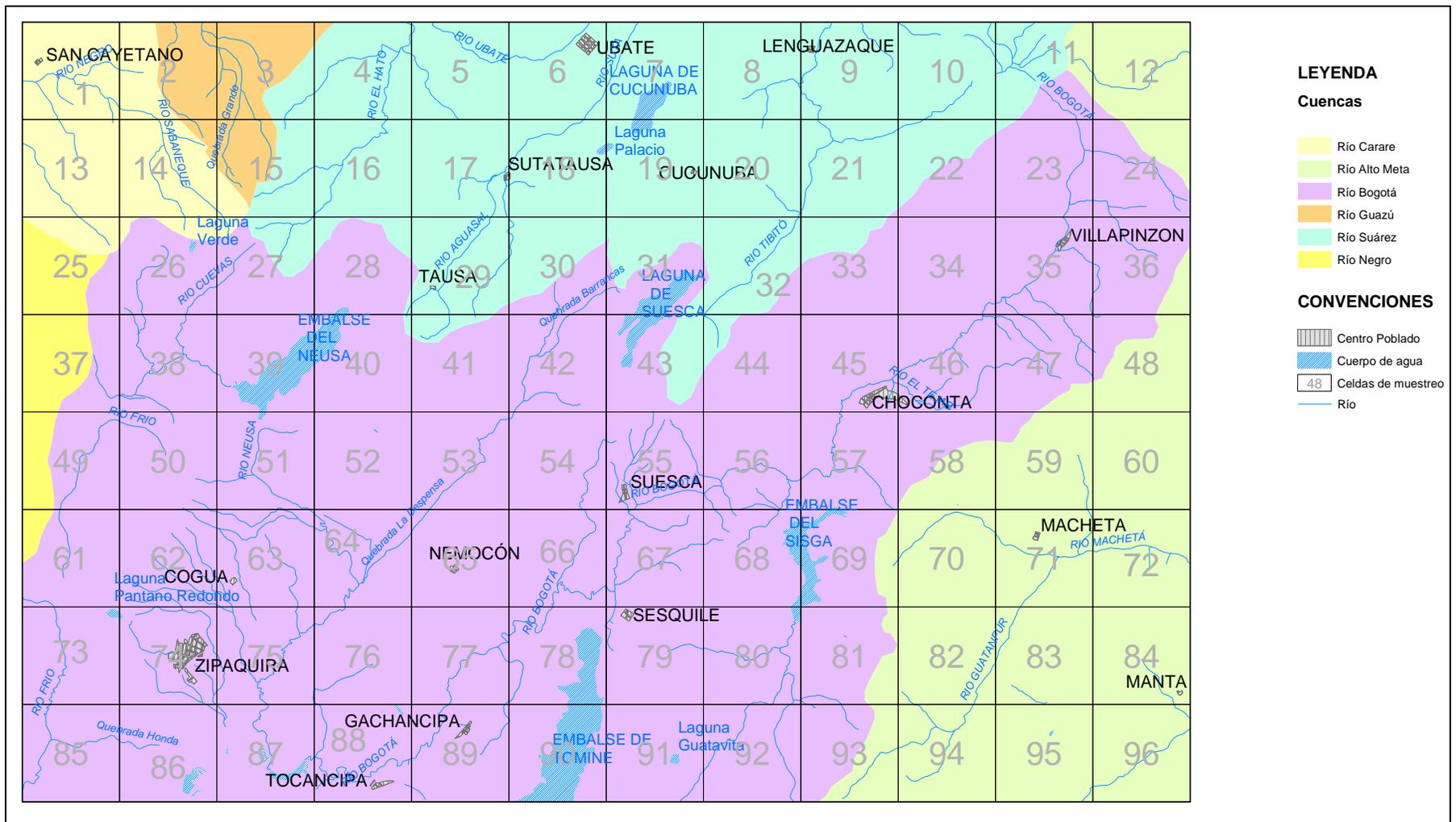
- Abarca los pisos térmicos desde muy frío hasta medio; los tipos de relieve formados por artesas, filas-vigas, crestas, crestones y espinazos, cuestras, lomas, glacis; en un relieve que varía de ligeramente ondulado a fuertemente escarpado y materiales sedimentarios.

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 3000 y 3600 msnm) donde se adelantan actividades pecuarias (ganadería de leche) y agrícolas, con cultivos principalmente de



Tabla 1. Características de las cuencas hidrográficas

Nombre cuenca	Área aprox.	Ubicación	Subcuencas	Celdas Puntos de muestreo
RIO BOGOTÁ	1376	Cuencas más grande, se encuentra a lo largo de la plancha.	De oriente a occidente: Ríos Sisga, Neusa, Susaguas, Frío Lagunas de Suesca, Verde, Laguna Pantano Redondo Embalses del Neusa, Sisga y Tomine. Represa de Tibito. Quebradas: El Mojón, El Rayo, Piedra Gorda, Chuscas, Quincha, San Pedro, El Gavilán, El Ratón, Arrayanes, Providencia, Fuente, San Jerónimo, La Turbia, Honda, Pajarito, Chorrillo, de Vargas, De las Juntas, El Salitre, Grande, Pedregal, Bolívar, La Maya, San Diego, Santa Librada, entre otras.	11, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93.
RIO SUAREZ	477	Se encuentra la norte de la plancha y colinda también con el norte de la cuenca del río Bogotá.	R. El Hato, R. Ubate, R. Suta, R. Lenguazaque, R. Tibito, R. Aguasal, R. Aguaclara, Q. El Molino, Q. El Juncal, Q. Muchila, Q. Sanja Grande, Q. El Arrayan, Q. Ovejeras, Q. El Colón, Q. Suaquirá, Q. Arenosa, Q. Aguafría, Q. de Palacio, Lag. de Cucunuba.	04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 27, 29, 30, 31, 32, 43.
RIO ALTO META	368	Se ubica al oriente de la plancha, colinda también con la cuenca del R. Bogotá.	R. Albarracil, R. Guatanfur, R. Aguacia, Lag. El Cerro, Q. La Joya, Q. De la Cana, Q. Cuchillas, Q. del Chorote, Q. Agua Blanca, Q. Tocola, Q. Las Lajas, Q. Los Arrayanes, Q. El Potrero, Q. El Palmar, Q. Los Medios, Q. El Morro, Q. El Salitre, Q. Las Quebraditas, Q. Las Esmeraldas, Q. Napoles.	48, 58, 59, 60, 70, 71, 72, 82, 83, 84, 94, 95, 96.
RIO CARARE RIONEGRO	98	Se ubica en la esquina noroccidental de la plancha y limita con la Cuenca del R. Bogotá, al occidente con el Río Guazu y al sur con la cuenca del Ríonegro.	Río Negro, Q. Los Robles, Q. La Chorrera, Q. Las Lajas, R. Sabaneque.	01, 13, 14.
RIO GUAZU	46	Al noroccidente de la plancha, se encuentra entre las cuencas de los ríos Ríonegro y Suárez.	Q. Grande, Q. de Guarqua, Q. Chimbita, Q. El Tablón.	02, 03
RIO NEGRO	41	Al occidente de la plancha, limita al norte con la Cuenca del Río Carare y al oriente con la Cuenca del Río Bogotá.	R. Yayatá	25



**Figura 2.** Cuencas hidrográficas

papá. En altitudes inferiores a los 3000 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.

En el paisaje de montaña la descripción de las unidades cartográficas de suelos, se encuentran en la **Tabla 2** y la distribución espacial en la **Figura 3**.

- **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 2000 y 3000 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.

El relieve dominante es ligeramente plano a ligeramente ondulado, con pendientes que oscilan entre 1 y 7%. La descripción de las unidades cartográficas de suelos, se encuentran en la **Tabla 2** y la distribución espacial en la **Figura 3**.

#### **2.1.4. 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.

- **Estratigrafía**

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. **Figura 4** y **Tabla 3**.

- **Estructural**

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. **Tabla 4** y **Figura 5**.

**Tabla 2. Descripción de las unidades de suelo**

Paisaje	Tipo de relieve	Material parental	Clima	Unidades cartograficas y sus componentes taxonómicos	Simbolo
MONTAÑA	Espinazos, crestas y escarpes mayores	Rocas clásticas arenosas y limoarcillosas	Extremadamente frío húmedo	<i>Complejo, Typic Dystrocrepts, Humic Dystrocrepts</i>	MEFf MEFg
	Artesas	Depósitos clástico glaciogénicos, con intercalaciones limoarcillosas y depósitos orgánicos localizados.	Extremadamente frío húmedo	<i>Asociación, Typic Dystrocrepts, Typic Cryaquents</i>	MEAc
	Glacis de acumulación y lomas	Depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clásticas arenosas, limoarcillosas. En sectores materiales orgánicos.	Muy frío muy húmedo	<i>Asociación Typic Hapludands Oachic Lithic Dystrudepts</i>	MGTc MGTd
	Espinazos	Rocas clásticas arenosas, limoarcillosas y depósitos de ceniza volcánica.	Frío húmedo	<i>Asociación, Humic Lithic Dystrudepts, Humic Dystrudepts.</i>	MLFf
	Crestas y escarpes mayores	Rocas clásticas limoarcillosas con depósitos de ceniza volcánica.	Muy frío muy húmedo	<i>Consociación, Typic Eutrudepts Typic Hapludands.</i>	MGSg
		Rocas clásticas limoarcillosas y arenosas.	Frío seco.	<i>Consociación, Humic Lithic Dystrudepts Andic Dystrudepts.</i>	MMSg
	Crestones	Rocas clásticas limoarcillosas y arenosas.	Muy frío muy húmedo	<i>Asociación, Humic Dystrudepts Andic Dystrudepts Humic Lithic Dystrudepts.</i>	MGFf MGFf
		Rocas clásticas limoarcillosas y arenosas con depósitos de ceniza volcánica.	Frío muy húmedo	<i>Grupo indiferenciado Andic Dystrudepts Typic Hapludands Typic Udorthents</i>	MKCe
		Rocas clásticas arenosas, limoarcillosas y químicas carbonatadas con algunos depósitos de ceniza volcánica.	Frío húmedo	<i>Asociación Humic Lithic Eutrudepts Typic Placudands Dystric Eutrudepts</i>	MLVe MLVf
		Rocas clásticas limoarcillosas y químicas carbonatadas con algunos depósitos de ceniza volcánica.	Frío seco.	<i>Asociación Typic Haplustepets Lithic Ystorthents</i>	MMVe MMVe3 MMVf2 MMVf3
		Rocas clásticas y limoarcillosas y químicas carbonatadas.	Medio Húmedo	<i>Asociación Typic Udorthents Lithic Haplustepets Humic Eutrudepts</i>	MQVe
	Cuestas	Depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clásticas arenosas, limoarcillosas.	Frío húmedo	<i>Asociación Typic Hapludands Andic Dystrudpts</i>	MMTd MMTd2
	Lomas	Rocas clásticas renosas y limoarcillosas y mantos de ceniza volcánica	Frío húmedo	<i>Complejo, Humic Dystrocrepts, Typic Hapludalfs</i>	MLCc MLCd MLCe
		Rocas clásticas arenosas y limoarcillosas.	Frío seco.	<i>Asociación Humic Dystrudepts Typic Hapludalfs</i>	MMCd MMCe MMCe2
		Rocas clásticas limoarcillosas y mantos de ceniza volcánica.	Medio húmedo	<i>Asociación Typic Udorthents Typic Melanudads</i>	MQcd MQCd Mqce
		Rocas clásticas limoarcillosas y dinomotermales de bajo grado.	Medio muy húmedo	<i>Asociación Humic Dystrudepts Typic Udorthents</i>	MPIf

Paisaje	Tipo de relieve	Material parental	Clima	Unidades cartograficas y sus componentes taxonómicos	Simbolo
PLANCIE	Filas y Vigas	Rocas clásicas dinamotermiales de bajo grado y clásicas arenosas.	Medio húmedo	<i>Asociación Lithic Udorthents Typic Dystrudepts Afloramientos rocosos</i>	MQIg
	Glacis coluvial	Mantos de ceniza volcánica sobre depósitos clásticos gravigénicos.	Frío húmedo	<i>Complejo Pachic Melanudands Typic Hapludands Andic Dystrudepts</i>	MLKc MLKd
		Depósitos clásticos hidrogravigénicos.	Frío seco.	<i>Asociación Typic Haplustalfs Ulitic Haplustalfs Typic Haplustepts</i>	MMKc MMKd
		Depósitos clásticos hidrogravigénicos, en sectores mantos de ceniza volcánica.	Medio muy húmedo	<i>Asociación Humic Dystrudepts Typic Hapludands</i>	MPKd
			Medio húmedo	<i>Complejo Humic Eutrudepts Typic Eutrudepts Typic Udipsamments</i>	MQKd
			Medio seco	<i>Asociación Dystric Haplutepts Lithic Haplutepts</i>	MRKd
	Abanicos aluviales	Depósitos clásticos hidrogravigénicos con mantos de ceniza volcánica.	Frío húmedo	<i>Asociación Typic Melanudands Pachic Melanudands</i>	MLJb MLJc
		Depósitos clásticos hidrogravigénicos.	Frío seco.	<i>Asociación Humic Dystrudepts Typic Haplustalfs Typic Dystrudepts.</i>	MMJb MMJc
	Vallecitos glacifluviales.	Depósitos clásticos hidrogravigénicos. En sectores ceniza volcánica.	Muy frío muy húmedo	<i>Asociación Typic Udorthents Lithic Typic Humaquepts</i>	MGNa MGNb
	Vallecitos coluvio-aluviales.	Depósitos clásticos hidrogénicos y gravigénicos.	Frío húmedo	<i>Consociación Humic Dystrudepts Fluvaquentic Humaquepts</i>	MLNa MLNb
	Planos de inundación.	Depósitos clásticos hidrogravigénicos. En sectores ceniza volcánica.	Frío húmedo transicional seco	<i>Asociación Typic Endoaquepts Aeric Endoaquepts Thaptic Hapludands</i>	RLOa
			Frío seco.	<i>Asociación Aeric Epiaquepts Fluvaquentic Endoaquepts</i>	RMOa
Terrazas		Mantos de ceniza volcánica sobre depósitos clásticos hidrogénicos.	Frío húmedo transicional seco.	<i>Complejo Pachic Melanudands Andic Dystrudepts Aeric Endoaquepts Aquic Hapludands</i>	RLQa RLQb
		Depósitos clásticos hidrogénicos.	Frío seco.	<i>Complejo Humic Dystrudepts Typic Haplustalfs Fluvaquentic Endoaquepts</i>	RMRa RMRb
		Depósitos orgánicos hidrogénicos.	Frío seco.	<i>Consociación Typic Haplofibrists Fluvaquentic Endoaquepts</i>	RMSa

**Tabla 2. Descripción de las unidades de suelo**

Paisaje	Tipo de relieve	Características del suelo						
		Espesor	Drenaje	Textura	Reacción	Saturación de aluminio	Fertilidad	Pedregosidad y/o erosión
MONTAÑA	Espinazos, crestas y escarpes mayores	Moderadamente profundos a muy superficiales.	Bien drenados.	Moderadamente finas a gruesas.	Extremadamente ácida.	Alta	Baja.	
	Artesas	Profundos a superficiales.	Bien y pobremente drenados.	Gruesas a finas.	Extremada a fuertemente ácida.	Media a alta	Baja a moderada.	
	Glacis de acumulación y lomas	Profundos a superficiales.	Bien drenados.	Moderadamente finas a gruesas.	Muy fuerte a fuertemente ácida.	Alta a moderada	Baja a moderada.	Afectado por sectores por erosión hídrica en grado ligero.
	Espinazos	Superficiales a profundos.	Bien drenados.	Finas a moderadamente finas.	Extremada a fuertemente ácida.	Media a alta	Baja	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero.
	Crestas y escarpes mayores	Superficiales a profundos.	Bien a excesivamente drenados.	Medias a moderadamente gruesas.	Extremada a muy fuertemente ácida.	Alta	Moderada a baja.	
		Profundos a superficiales.	Bien drenados.	Moderadamente finas.	Extremada a fuertemente ácida.	Media a alta.	Baja	
	Crestones	Profundos a superficiales.	Bien a excesivamente drenados.	Finas a moderadamente gruesas.	Extremada a muy fuertemente ácida.	Mediana	Moderada a baja.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero.
		Profundos a superficiales.	Bien a excesivamente drenados.	Finas a moderadamente gruesas.	Fuerte a medianamente ácida	Mediana	Baja a moderada.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero.
		Profundos a superficiales.	Bien a moderadamente bien drenados	Finas a moderadamente bien drenados.	Fuerte a medianamente ácida	Mediana	Moderada a alta	Afectado por sectores por erosión hídrica ligera y moderada.
		Profundos a superficiales.	Bien a excesivamente drenados.	Finas.	Fuerte a ligeramente ácida	Baja	Moderada a baja.	Afectado por sectores por erosión hídrica moderada y severa.
		Presencia sectorizada de afloramientos rocosos. Profundos a superficiales.	Bien drenados.	Finas a medias.	Extremadamente ácida a medianamente alcalina.	Baja	Moderada a alta.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero.
	Cuestas	Profundos.	Bien drenados.	Finas a medias.	Ligeramente ácida a neutra.	Baja	Baja	
	Lomas	Profundos a superficiales.	Bien drenados.	Finas a moderadamente gruesas.	Extremada a fuertemente ácida.	Media a alta	Moderada	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero.
		Profundos a moderadamente profundos.	Bien a moderadamente bien drenados.	Medias a finas.	Extremada a fuertemente ácida.	Media a alta	Baja	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero.
		Profundos a muy superficiales	Bien a moderadamente bien drenados	Medias a finas.	Muy fuertemente ácida a neutra.	Baja	Moderada	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero y frecuente pedregosidad superficial.
		Moderadamente profundos a superficiales.	Bien drenados.	Moderadamente finas a moderadamente gruesas.	Muy fuerte a medianamente ácida.	Media a alta	Baja	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligera.

Paisaje	Tipo de relieve	Características del suelo						
		Espesor	Drenaje	Textura	Reacción	Saturación de aluminio	Fertilidad	Pedregosidad y/o erosión
PLANCIE	Filas y Vigas	Moderadamente profundos a muy superficiales.	Bien a moderadamente bien drenados	Moderadamente finas a moderadamente gruesas.	Muy fuerte a medianamente ácida.	Media a baja.	Baja a moderada.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligera.
	Glacis coluvial	Superficiales.	Bien drenados.	Medias a moderadamente gruesas.	Muy fuerte.	Baja a media.	Baja a moderada.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero y frecuente pedregosidad superficial.
		Moderadamente profundos a muy superficiales.	Bien a moderadamente bien drenados.	Finas a moderadamente gruesas.	Muy fuerte a ligeramente ácida.	Baja.	Moderada a alta.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero y frecuente pedregosidad superficial.
		Profundos a moderadamente superficiales.	Bien a imperfectamente drenados.	Finas a medias.	Extremada a ligeramente ácida.	Alta.	Moderada a baja.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero y frecuente pedregosidad superficial.
		Profundos a moderadamente profundos.	Bien a excesivamente drenados.	Moderadamente finas a moderadamente gruesas.	Muy fuerte a ligeramente ácida.	Baja.	Moderada a alta.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero y frecuente pedregosidad superficial.
		Profundos a superficiales.	Bien drenados.	Moderadamente finas a finas.	Medianamente ácida a ligeramente alcalina.	Media.	Moderada.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero y frecuente pedregosidad superficial.
	Abanicos aluviales	Profundos a moderadamente profundos.	Bien a moderadamente bien drenados.	Finas a moderadamente gruesas.	Medianamente ácida.	Baja	Moderada.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar ligera.
		Profundos a moderadamente superficiales.	Bien a pobremente drenados.	Finas a gruesas.	Muy fuertemente ácida a neutra.	Media a baja.	Baja a moderada.	Afectado por sectores por erosión hídrica laminar en ligera y frecuente pedregosidad superficial.
	Vallecitos glacioluviales.	Profundos a muy superficiales.	Bien a pobremente drenados.	Medias a gruesas.	Muy fuerte a medianamente ácida.	Media a baja.	Moderada a baja.	
	Vallecitos coluvio-aluviales.	Profundos a superficiales.	Moderada a pobremente drenados.	Moderadamente finas a moderadamente gruesas.	Muy fuerte a fuertemente ácida.	Alta	Baja a alta.	
	Planos de inundación.	Profundos a superficiales.	Bien a pobremente drenados.	Finas a medias.	Extremada a medianamente ácida.	Media a baja.	Moderada a baja.	
Muy superficiales.		Pobre a muy pobremente drenados.	Finas.	Fuerte a medianamente ácida	Media a baja.	Moderada.		
Profundos a moderadamente profundos.		Bien a imperfectamente drenados.	Finas a moderadamente gruesas.	Extremada a medianamente ácida.	Baja	Moderada		
Terrazas	Profundos a superficiales.	Pobre a moderadamente bien drenados.	Finas a moderadamente gruesas.	Extremadamente ácida a neutra.	Media a baja.	Moderada		
	Profundos a superficiales.	Pobre a moderadamente bien drenados.	Con presencia de materiales orgánicos y en algunos sectores texturas moderadamente finas.	Extremada a muy fuertemente ácida.	Media a baja.	Baja		

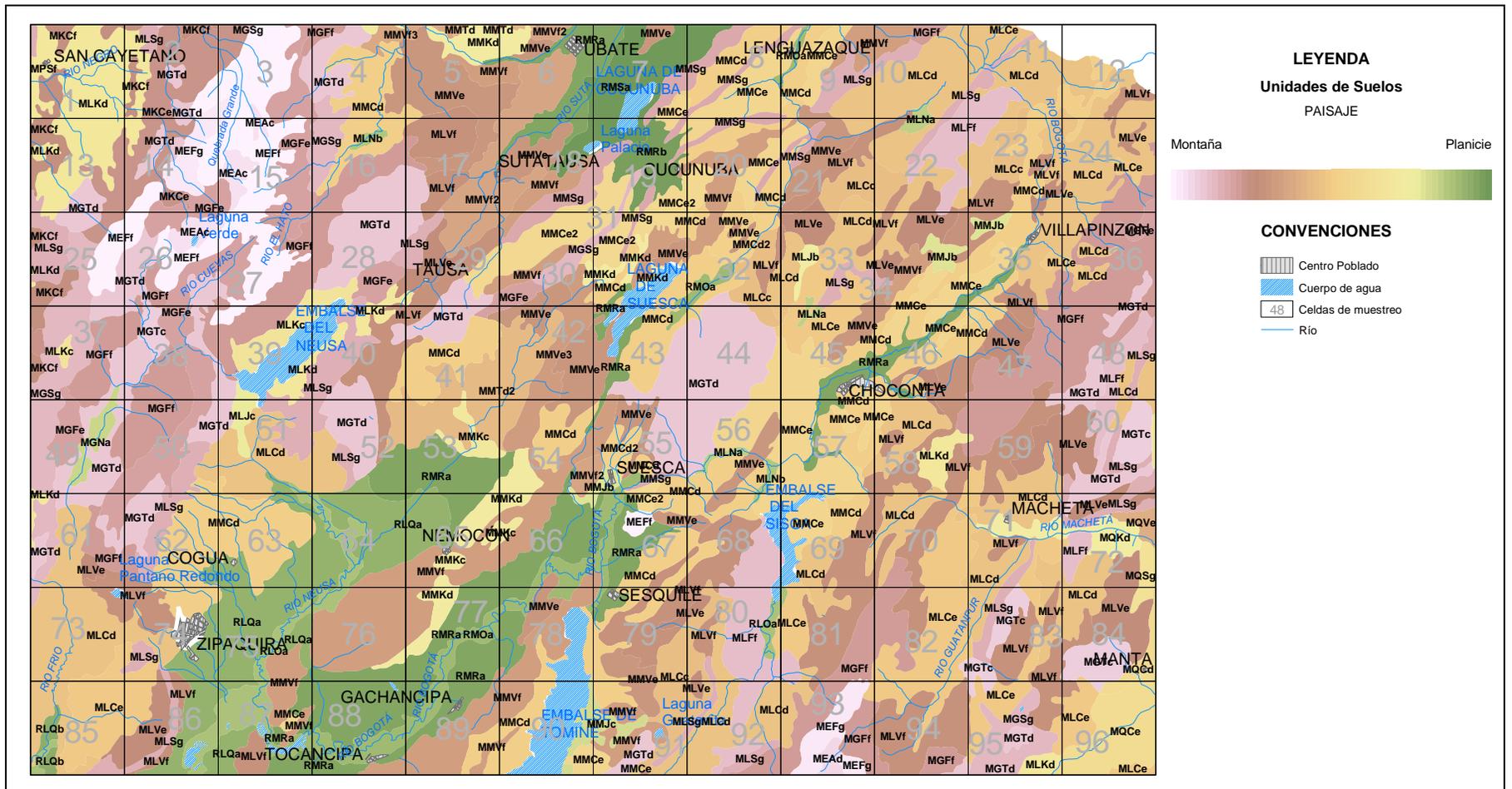


Figura 3. Geomorfología y suelos

**Tabla 3. Descripción de las unidades litológicas**

EDAD	Cod		Unidad	Descripción litológica
CUATERNARIO	Qal		Depósitos aluviales recientes	Arenas, gravas y arcillas.
	Q2t		Terrazas altas	Arcillas, arenas y gravas.
	Q2L		Depósitos lacustres	Capas medias de arenas, lodos y lentes de grava.
	Qc		Depósitos coluviales	Bloques y guijarros en matriz arenosa.
	Q1c		Gravas de Carupa	Intercalaciones de capas de guijarros y guijos con capas de arenas, con lentes de gravas
	Q1f	PLEISTOCENO	Depósitos Fluvioglaciares	Gravas y arenas de grano fino, no consolidadas, las gravas son granosoportadas
NEO-GENO	N2t	PLIOCENO	Formación Tilata	Capas gruesas de guijos-granulos con geometría cuneiforme y arenas de grano fino a grueso.
PALEOGENO	E2N1G	PALEOGENO ? NEOGENO ?	Conglomerado de Guandoque	Conglomerados y areniscas conglomeráticas con cantos calcareos, areniscas y lúditas.
	E2r	EOCENO	Formación Regadera	Intercalaciones de areniscas friables conglomeráticas rojizas y blancas, capas cuneiformes de lodolitas.
	E1b	PALEOCENO	Formación Bogotá	Intercalaciones de areniscas friables conglomeráticas rojizas y blancas, capas cuneiformes de lodolitas.
	E1c	PALEOCENO	Formación Cacho	Areniscas conglomeráticas en capas gruesas, tabulares y cuneiformes con estratificación cruzada.
CRETACEO	K2E1g	Maastrichtiano Superior-Paleoceno	Formación Guaduas	Intercalaciones de lodolitas y areniscas hacia la base, se reconoce un nivel arenoso (La Guía), con intercalaciones de lodolitas y niveles de carbón. Le siguen intercalaciones de lodolitas.
	K2t	Maastrichtiano Inferior	Formación Labor-Tierna	Intercalaciones de areniscas en capas medias y gruesas con lodolitas en capas delgadas y hacia la parte superior, bancos gruesos de areniscas de grano fino y medio. En ocasiones es posible observar un nivel arcilloso con foraminíferos bentónicos que separan la Formación Labor y Tierna.
	K2p	Campaniano Superior	Formación Plaeners	Intercalaciones de lodolitas silíceas y arcillolitas con gran abundancia de foraminíferos bentónicos en la parte inferior, en la parte media niveles lúditicos con partición romboidal y hacia la parte superior intercalaciones de lodolitas y areniscas.
	K2I	Campaniano Inferior	Formación Lúdit Superior	Intercalaciones de lodolitas silíceas y chert, con partición romboidal y ocasiones capas de areniscas con foraminíferos bentónicos.
	K2d	Campaniano Inferior	Formación Arénisca Dura	Intercalaciones de capas muy gruesas de areniscas con capas delgadas de lodolitas, en la parte inferior presenta intercalaciones de lodolitas, en la parte inferior se presentan intercalaciones de lodolitas silíceas.
	K2c	Coniaciano Santoniano	Formación Conejo	Capas de lodolitas grises (shales) en la base con un nivel de calizas un intervalo medio lodolítico, con concreciones y un nivel lúditico y al techo intercalaciones de areniscas y lodolitas con amonites en el nivel de caliza y lúditas.
	K2cp	Cenomaniano-Santoniano	Formación Chipaque	Capas de lodolitas grises (shales) con un nivel silíceo hacia la base; a medida que se sube en la secuencia presenta intercalaciones de lodolitas con areniscas.
	K2f	Turoniano	Formación La Frontera	Intercalaciones de capas delgadas de lodolitas, lodolitas silíceas y chert; y presencia de amonites.
	K2s	Cenomaniano-Turoniano	Formación Simijaca	Lodolitas fisiles negras a gris oscuras con niveles de nodulos.
	K2ch	Albiano Superior Cenomaniano	Formación Churuvita	Intercalaciones de areniscas y lodolitas con presencia de inoceramus y exogeras.
	K1K2U	Albiano-Cenomaniano.	Formación Une	Intercalaciones de areniscas con capas muy gruesas con lodolitas. La areniscas son de grano muy fino se puede dividir en tres segmentos: el inferior arenoso, el medio arcilloso y el tercero areno-arcilloso.
	K1f	Barremiano-Aptiano	Formación Fomeque	Intercalaciones de lodolitas dispuestas en capas muy gruesas y areniscas de grano fino. Las lodolitas con materia orgánica y concreciones-

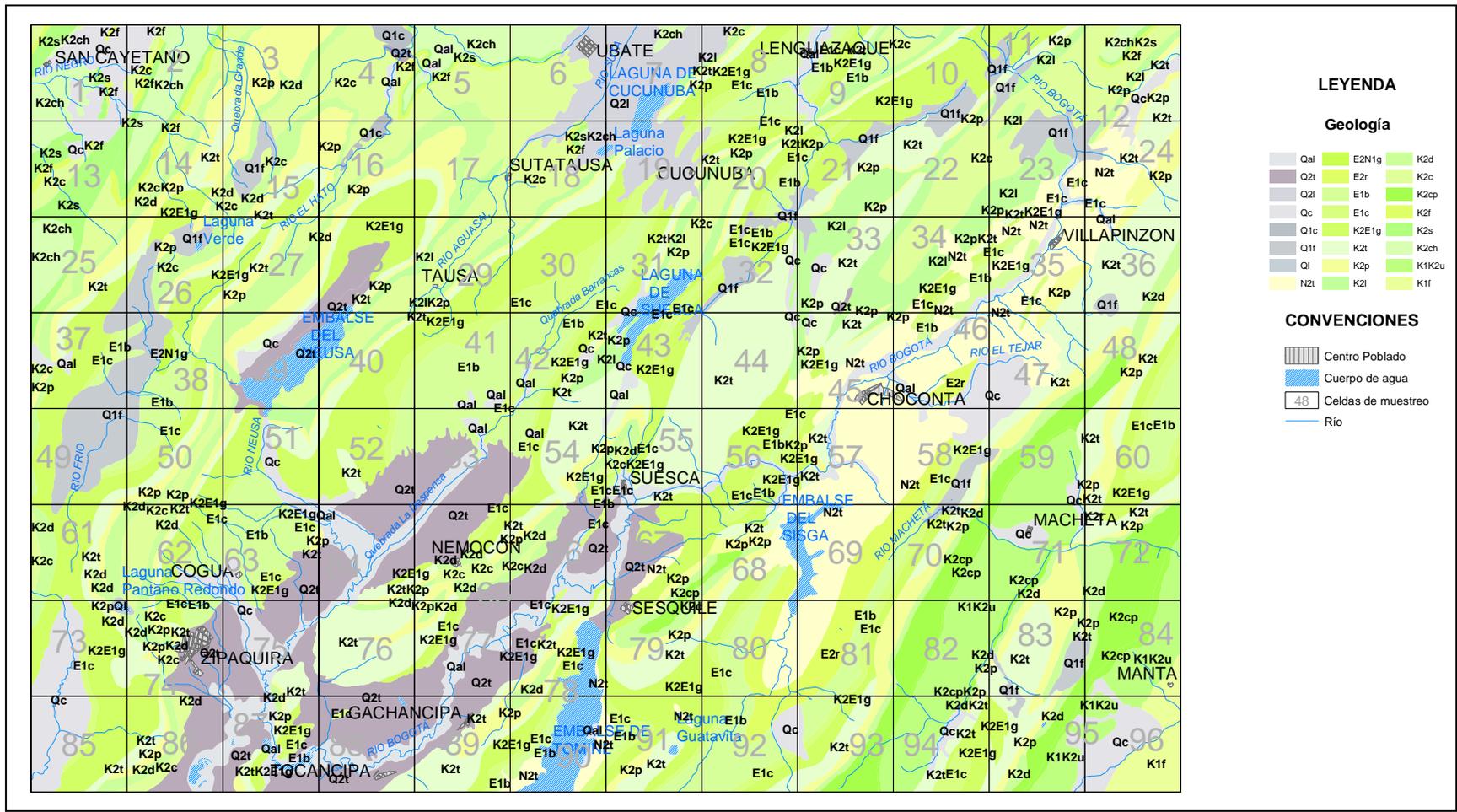


Figura 4. Unidades litológicas

**Tabla 4. Descripción de las zonas estructurales**

	<b>Localización</b>	<b>Características estructurales</b>	<b>Fallas</b>	<b>Pliegues</b>
<b>Zona Occidental</b>	Al occidente de la falla de Sutatausa, marca el inicio del flanco occidental de la Cordillera Oriental, ocupa aproximadamente el 35% de la plancha, está limitada al oriente por la falla de Sutatausa y hacia el sur por el valle de Zipaquirá	Son fallas de cabalgamiento con vergencia al occidente conformando un sistema imbricado y los pliegues son alternantes entre sinclinales y anticlinales, los cuales son angostos, asimétricos y terminan hacia el sur contra las fallas de cabalgamiento que caracterizan esta zona. El fallamiento en el sector norte, es de fallas de cabalgamiento con vergencia al occidente y los pliegues con dirección noreste tienen cierres estructurales hacia el norte (Veredas el Hato y Chipatín) y se prolongan hacia la plancha 190 Chiquinquirá (Ulloa & Rodríguez, 1991). Al sur del embalse del Neusa hay una deformación intensa representada en fallamiento de poca longitud en distintas direcciones con un predominio en N450W.	Falla Chital Oeste, Falla Chital, Falla del Neusa, Falla de Carupa, Falla de Sutatausa.	Anticlinal de San Cayetano, Anticlinal de Caldas, Anticlinal de Zipaquirá, Anticlinal de Soagá, Sinclinal de Río Frío, Sinclinal de Aposentos, Anticlinal de Carupa, Sinclinal de Neusa
<b>Zona Central</b>	La zona central se encuentra ubicada entre la Falla de Sutatausa y la Falla de Suralá, geográficamente corresponde al núcleo de la cordillera, ocupa aproximadamente el 50% de la plancha.	Se caracteriza por pliegues sinclinales amplios simétricos y anticlinales angostos, con flancos invertidos y controlados por las fallas longitudinales inversas, con dirección N400E, de vergencias tanto al oriente como al occidente y que presentan sinuosidad. Hacia el sur las estructuras sinclinales quedan fosilizadas dentro de depósitos cuaternarios y solo se observan los anticlinales. En los alrededores de Nemocón, el anticlinal del mismo nombre sufre un estrangulamiento provocado por fallas de poca longitud y sin rumbo predominante, lo anterior causado por el diapirismo de sal, situación similar se presenta en Zipaquirá.	Falla de Cucunubá, Falla de Nemocón, Falla de Suesca, Fallas de Farasía, Falla de Villapinzón, Falla de Chocontá.	Anticlinal de Tausa, Anticlinal de Guachaneca, Anticlinal de Nemocón, Anticlinal de Suesca, Anticlinal de Chocontá, Anticlinal de Ventaquemada, Anticlinal de San José, Anticlinal Sopó-Sesquilé, Sinclinal de Chécua, Sinclinal de Teusacá – Suesca, Sinclinal de Sesquilé, Sinclinal de Sisga.
<b>Zona Oriental</b>	Al oriente de la falla de Suralá, corresponde al flanco oriental de la Cordillera Oriental, ocupa el 15% del área y está situada al oriente de la plancha.	Presenta fallas inversas de ángulo alto con un importante componente transcurrente a las cuales se asocian fuentes termales. Se observan pliegues anticlinales y sinclinales discontinuos y oblicuos a estas fallas.	Falla de Suralá, Falla de Machetá, Falla de Salinero.	Anticlinal de Machetá Sinclinal de Sueva

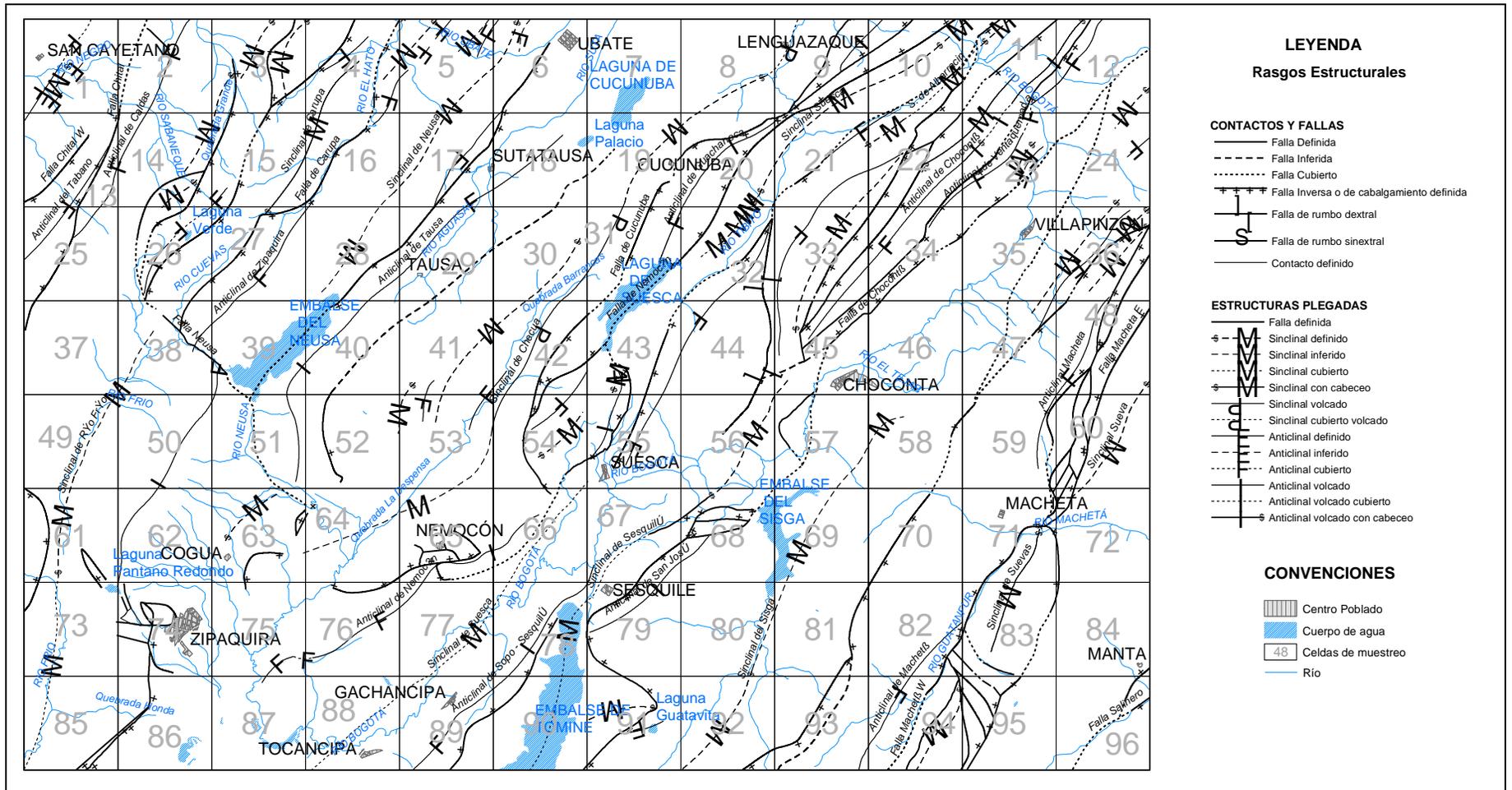


Figura 5. Principales rasgos estructurales

El rumbo regional estructural es N45-50<sup>0</sup>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.

### 2.1.5. 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.

En la **Tabla 5** se resumen las características de los recursos presentes en la zona de estudio y su ubicación en la **Figura 6**.

1. El recurso energético identificado en el área y que lleva varias décadas en explotación es el carbón; se menciona también el petróleo ya que se considera que puede haber dentro del área, están presente rocas y estructuras propicias para la generación, entrapamiento y acumulación de hidrocarburos.
2. Minerales industriales: Existe manifestación de arcillas, sal y fosfatos que han tenido gran tradición en su explotación.
3. 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.
4. 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.
5. Los recursos geotérmicos se encuentran representados en las fuentes termales conocidas en la plancha 209, en la **Tabla 6** se describen sus características generales y la descripción principalmente química. Las fuentes termales se encuentran principalmente asociadas a unidades litológicas del Cretácico Superior, se presentan en altitudes entre 2300 a 2700 msnm, 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 sodico-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.

## 2.2. METODOLOGÍA DE 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).

**Tabla 5. Recursos Minerales**

Grupo	Tipo	Caracterización geológica	Localización	Otras características
RECURSOS ENERGÉTICOS	Carbón	El carbón representa el recurso mineral más importante dentro del área de la plancha. La Formación Guaduas es la unidad litoestratigráfica que los contiene en tres sectores productivos (Sarmiento, 1994 a) dentro de los segmentos A, C y D (Montoya et.al, 2005), y se determinaron al menos 12 mantos con espesores entre 0,8 y 3 m.	Se estableció que el municipio que más minas de carbón tiene es Cucunubá (103), seguido por Lenguaque (47), Guachetá (42), Sutatausa (40) y Tausa (25). (INGEOMINAS, 1999 a). Actualmente hay explotaciones en los sinclinales de Río Frió, Checua, Suesca, Cogua y Sesquilé, siendo el de mayor actividad minera el de Checua.	Los carbones de todas las zonas carboníferas de la plancha se clasifican como bituminosos (Pérez <i>et al.</i> , 1987) y en el sinclinal de Checua existen los yacimientos más grandes de carbón coquizable (Durán y Mojica, 1981). Se calcula que existen 242 millones de toneladas de reservas medidas (Ministerio de Minas y Energía, 1998), cuya composición promedio (humedad 3,9%, cenizas 10,2%, materia volátil 28,4, azufre 0,84% poder calorífico 13.194 BTU), ubica a estos carbones como aptos para usos metalúrgicos (fabricación de coque) y térmicos (ECOCARBÓN, 1997).
	Petróleo	Existen litologías equivalentes roca generadora en las Formaciones La Frontera, Conejo, Lidita Superior y la parte inferior de la Formación Chipaque, las cuales podrían ser generadoras en la Sabana de Bogotá. Areniscas como posiblemente importantes reservorios equivalentes a las de las Formaciones Labor-Tierna y Dura, así mismo la Formación Une, se pueden considerar a las unidades mencionadas como posibles objetivos en una futura exploración de hidrocarburos.	Dentro de la plancha 209 se localizan los pozos Suesca-1 y Suesca Norte-1, realizados por la empresa Texas Petroleum Company en 1962, alcanzando a penetrar las areniscas de la Formación Une, en el cual se detectó presencia de gas metano (Corrigan, 1989).	El altiplano cundiboyacense ha sido objeto de estudios adelantados por varias compañías petroleras (Tropical Oil, Texas, ECOPETROL, Eurocan), para exploración de hidrocarburos, llegando a la perforación de pozos en Tunja, Suba, Suesca, Chitasugá (Tenjo) y Paz de Río.
MINERALES INDUSTRIALES	Sal	Se presentan cierres de estructuras anticlinales muy simétricas en forma de domo, como el observado en la parte sur del anticlinal de Nemocón, en el anticlinal de San José, que sugieren la posibilidad de que existan en el subsuelo depósitos de sal que hayan influido en la conformación estructural; así mismo hay geoformas concéntricas pero deprimidas que también sugieren esta posibilidad (sur del embalse del Neusa).	ha sido explotada desde la época de los indígenas, tanto en Zipaquirá como en Nemocón y se han reconocido manifestaciones pequeñas a través de afloramientos de rute (McLaughlin, 1970) o por fuentes de agua salobre	Las manifestaciones en afloramiento se han observado asociadas a "rute" que consiste en una mezcla negra de fragmentos de arcillolitas, lodolitas con pirita, como producto residual en estructuras diapíricas (McLaughlin, 1970), éstas manifestaciones están localizadas en Tausa, Sesquilé, Lenguaque, y Cógua y las fuentes salobres se conocen en Tausa y el Hato al occidente de Ubaté.
	Fosfatos	Grupo Guadalupe con capas de fosfatos en las Formaciones Arenisca Dura y Plaeners	El Sisga – Machtetá, al noreste de la plancha 209 en la región de Ventaquemada, carretera Zipaquirá Pacho	En la región de Ventaquemada en la plancha 191 Tunja (Renzoni, 1981), al noreste de la plancha 209, Zambrano & Mojica (1991) reportan tres niveles de fosfatos en el Grupo Guadalupe: el primer nivel es de mayor importancia económica, representado por capas de fosforitas y areniscas fosfáticas que alcanzan 2.45 m de espesor, intercaladas con limolitas y porcelanitas, está compuesto por <i>pellets</i> cilíndricos y fragmentos de huesos y alcanzan, en promedio, un contenido de P2O5 de 17 %.
	Arcillas	se explotan a gran escala de la Formación Bogotá y en menor escala de las Formaciones Conejo y Guaduas	Las explotaciones se concentran especialmente en los municipios de Tausa, Cógua, Nemocón y Zipaquirá, sitios donde se encuentran localizados numerosos chircales y algunas empresas industriales	De acuerdo con análisis químicos realizados por INGEOMINAS (Espitia, <i>et al.</i> , 2003) para muestras de arcillas recogidas en la Sabana de Bogotá, las arcillas del área de la plancha 209 ofrecen excelentes condiciones para uso en cerámica. En la Formación Guaduas, al menos la mitad de las arcillas y las 2/3 de la Formación Bogotá y las de las terrazas altas, son aptas para este uso. Para alfarería las arcillas de la parte superior de la Formación Bogotá y las de las terrazas altas son las que presentan condiciones óptimas, mientras que las de la Formaciones Guaduas y Bogotá inferior son deficientes y tendrían que ser mezcladas con otras arcillas que si cumplan con las especificaciones técnicas requeridas de acuerdo con su utilización

Grupo	Tipo	Caracterización geológica	Localización	Otras características
<b>MATERIALES DE CONSTRUCCION</b>	<b>Arenas</b>	Extraídas de las Formaciones Tierna, Cacho, Regadera y Tilatá.	Se pueden separar 3 zonas con gran aporte de arenas y relacionadas a unidades litoestratigráficas diferentes: La primera está en el flanco occidental del sinclinal de Checua, donde se explotan de la Formación Cacho, en al menos 9 canteras; la segunda en los alrededores de Chocontá y Villapinzón con 16 canteras en la Formación Tilatá y 3 en la Formación Regadera y la tercera, al oriente del municipio de Gachancipá sobre la Formación Arenisca Tierna, con explotaciones en 19 canteras. En el resto de la plancha existen canteras aisladas de menor producción (INGEOMINAS, 1999 a).	La Formación Cacho aflora en gran parte del área de la plancha y aunque a veces contiene óxidos de hierro que la hacen mas dura, podría considerarse una fuente de arenas en áreas donde hoy no se ha considerado; la Formación Arenisca Tierna, está distribuida por toda la plancha pero normalmente está endurecida lo que dificultaría su explotación y las Formaciones Tilatá y Regadera se restringen al Sinclinal del Sisga, que es donde están siendo explotadas actualmente.
	<b>Gravas</b>	Los depósitos fluvioglaciares y la Formación Tilatá contienen los mayores volúmenes de las gravas en la plancha 209.	Los fluvioglaciares afloran especialmente en el núcleo del sinclinal de Río Frío, al occidente del embalse del Neusa y al occidente de Ubaté, como la parte más sur de los depósitos de las Gravas de Carupa, donde se ha observado una secuencia de 140 m de espesor, de los cuales entre el 50 a 60% son gravas. Para la Formación Tilatá, se determinó al occidente de Chocontá un espesor de 80 m de los cuales las gravas ocupan un 60 %.	En la actualidad las explotaciones de gravas son de poca magnitud y están subordinadas a la explotación de arenas. Sin embargo, conocida la distribución areal y la composición de los depósitos fluvioglaciares y de la Formación Tilatá ya mencionadas, estaría asegurado el abastecimiento de gravas para la región.
	<b>Recebo</b>	Las unidades litoestratigráficas con mayor potencial de recebo son: Formación La Frontera, compuesta de chert y limolitas silíceas, la Formación Lidita Superior por liditas, chert y limolitas silíceas, la Formación Plaeners y el nivel lidítico de la Formación Conejo. Estas unidades, pero especialmente la Lidita Superior y los Plaeners.	Afloran ampliamente en toda la plancha, asegurándose de esta forma un abastecimiento tanto para el área de la plancha como para áreas vecinas.	La actividad recebera puede ser ocasional o intermitente de acuerdo con las necesidades de la región, aumentando la demanda, principalmente, después de la época de lluvias
<b>RECURSOS HIDRICOS</b>	<b>Aguas subte-rráneas</b>	En el área existen unidades litoestratigráficas de moderada a gran importancia para el abastecimiento de aguas subterráneas, siendo ésta, utilizada para el consumo humano y para riego.	De acuerdo con los cálculos de recarga y descarga de los acuíferos, de la Sabana de Bogotá, en general existe un balance favorable que permite pensar en incrementar el uso del agua subterránea sin causar descenso en los niveles de los acuíferos. En el área de la plancha 209 los acuíferos de mayor importancia (Areniscas de Labor-Tierna, Dura, y Formación Tilatá) están distribuidos ampliamente asegurando una buena disponibilidad de unidades acuíferas que pueden ser utilizadas para el aprovechamiento de aguas subterráneas para uso doméstico o riego.	Las Areniscas Labor y Tierna son las de mayor importancia y mayor potencial (Robles, 1993). Dentro de toda la sabana de Bogotá se han perforado más de 130 pozos con profundidades entre 60 y 600 m y caudales entre 1 y 18 LPS (litros por segundo). En la Formación Arenisca Dura, clasificada como de gran a moderada importancia (Robles, 1993), se han perforado más de 40 pozos, en la sabana de Bogotá, con profundidades entre 40 y 1000 m, que presentan caudales entre 2 y 35 LPS. En la Formación Tilatá que es también de gran a moderada importancia hidrogeológica (Robles, 1993), se han perforado más de 200 pozos dentro del área de la plancha 209, con profundidades entre 200 y 600 m y caudales entre 1 y 40 LPS. Los depósitos de terraza alta y la Formación Cacho son considerados de moderada a poca importancia hidrogeológica (Robles, 1993) y presentan caudales entre 1 y 10 LPS.
<b>RECURSOS GEOTERMICOS</b>	<b>Fuentes Térmales</b>	Se encuentran asociadas principalmente a unidades litológicas del Cretácico Superior.	La ocurrencia de fuentes termales en la plancha 209, fue definida como parte del Bloque Sabana de Bogotá y Anticlinorio Los Farallones (Alfaro et. al, 2005). Se encuentran ubicadas en cercanías a los municipios de: Choconta, Nemocón y Suesca.	Se presentan en altitudes entre 2300 a 2700 msnm, 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 sodico-potásica.

Modificado y adaptado de Montoya, et al. 2005.

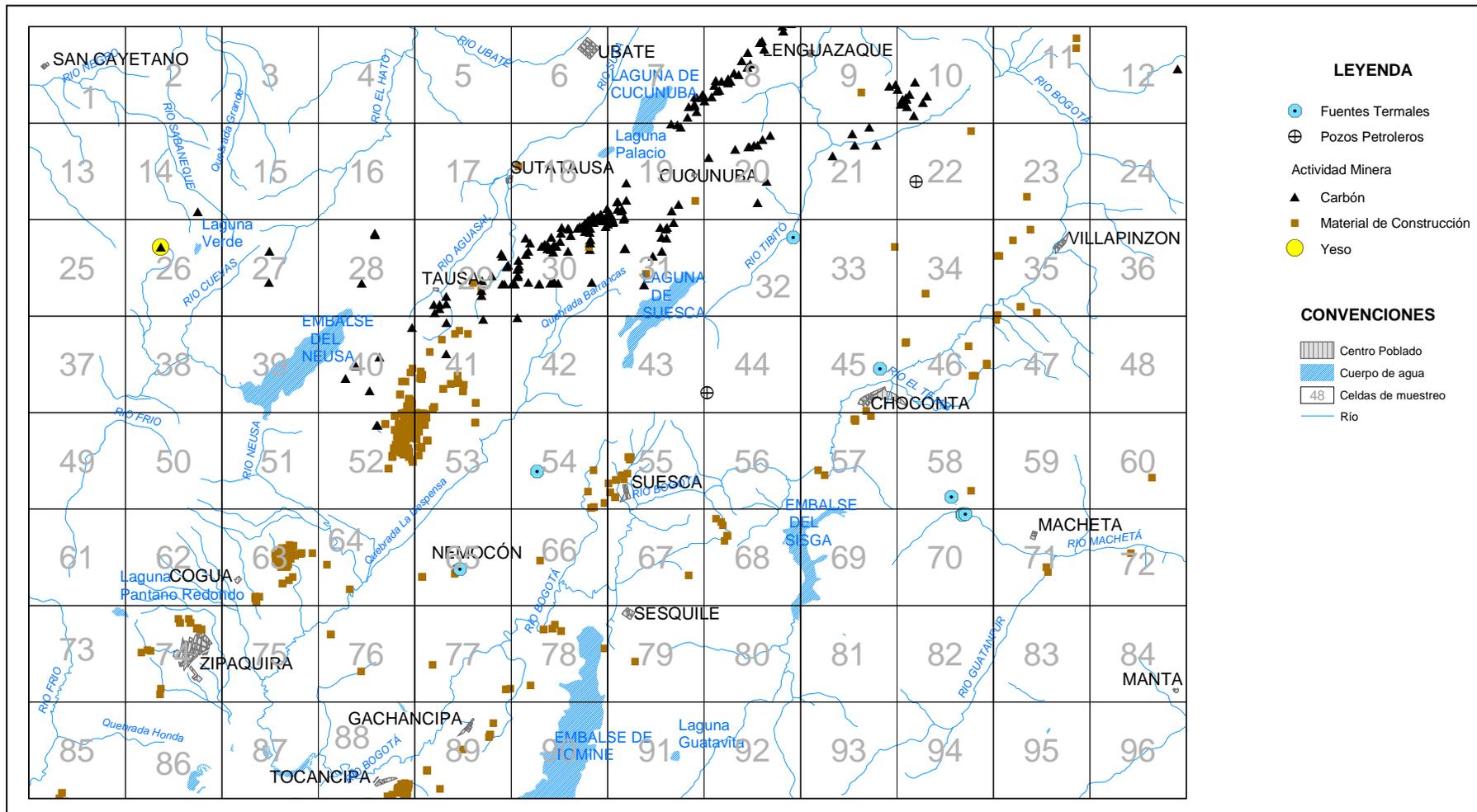


Figura 6. Recursos Minerales

**Tabla 6. Caracterización geoquímica de las aguas de fuentes termales**

Nombre	Nápoles	Los Volcanes	Hacienda Susatá	Piscina Municipal	Aguas Claras	Repetidora Telecom	Los Volcanes	Los Volcanes
Municipio	Chocontá	Chocontá	Nemocón	Nemocón	Suesca	Chocontá	Chocontá	Chocontá
Este	1047830	1048422	1026365	1022353	1039638	1044131	1048415	1048549
Norte	1055651	1054758	1056953	1051907	1069082	1062300	1054715	1054752
Altitud	2483	2337	2679	2627	2723	2612	2327	2345
Unidad geológica	Formación Cacho	Grupo Guadalupe	Formación Guaduas	Formación Chipaque	Depósitos Aluviales	Grupo Guadalupe	Grupo Guadalupe	Grupo Guadalupe
No. IGM	209-01	209-02	209-03	209-04	209-05	209-06	209-10	209-11
T°C del manantial	46,7	53,7	33,1	33,7	33,2	22,2	53,2	58,3
T° Ambiente promedio del municipio	13	13	14	14	14	13	13	13
pH Lab	7,26	7,73	7,52	7,06	6,82	6,56	7,4	7,43
CLASIFICACIÓN POR TEMPERATURA	Tibia	Caliente	Tibia	Tibia	Tibia	Tibia	Caliente	Caliente
CLASIFICACIÓN POR ANIONES	Bicarbonatadas	Bicarbonatadas	Bicarbonatadas	Bicarbonatadas	Bicarbonatadas	Bicarbonatadas	Bicarbonatadas	Bicarbonatadas
CLASIFICACIÓN POR CATIONES	Sódica/potásica	Cálcica	Cálcica-Sódica/potásica	Sódica/potásica-cálcica	Cálcica	Sódica/ potásica	Cálcica	Cálcica
Na	10,1	5,9	14,5	6,1	2,7	2,2	4,5	6,7
K	4,38	2,12	1,33	1,09	0,866	1,07	1,64	2,85
Ca	6,98	30,5	14,1	5,44	3,94	1,9	34,6	33,9
Mg	2,07	4,43	3,26	0,867	0,411	0,266	4,42	3,33
Li	0,017	<0.010	0,056	0,014	0,038	0,011	0,016	0,025
Sr	0,061	0,104	0,069	<0.100	<0.050	<0.050	<0.100	0,113
Ba	0,128	0,093	0,087	0,043	0,0033	0,0036	0,089	0,153
Fe	1,84	0,054	0,089	0,44	0,016	0,032	<0.101	<0.101
B	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150
SiO <sub>2</sub>	24,20	37,9	22,3	19,4	18,4	13,3	31,5	34,2
Al	0,017	<0.010	0,056	<0.0051	0,038	0,011	<0.0051	0,0073
Sb	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0025	<0.0001	<0.0001	<0.0025	<0.0025
As	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Cd	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.0005	0,0011	0,0001	<0.0005	<0.0005
Cs	<0.100	<0.100	<0.100	<0.050	<0.100	<0.100	<0.050	<0.050
Cr	0,0044	0,0024	0,0025	<0.0002	0,0026	0,0052	<0.0002	<0.0002
Cu	<0.00007	0,0003	0,0008	<0.0025	0,0022	<0.00007	<0.0025	<0.0025
Pb	0,0001	0,00007	0,00006	0,0016	0,00006	0,00004	<0.0005	<0.0005
Mn	0,314	0,066	0,036	0,033	0,002	0,0032	0,072	0,059
Hg	<0.0007	<0.0007	<0.0007	0,0003	<0.0007	<0.0007	<0.0003	<0.0003
Rb	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100
Se	<0.0019	<0.0019	<0.0019	<0.0019	<0.0019	<0.0019	<0.0019	<0.0019
Cl	0,609	1,62	2,97	3,48	0,251	0,32	1,12	2,91
F	0,12	0,303	0,205	0,183	0,265	0,131	0,219	0,306
Br	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100
SO <sub>4</sub>	6,01	3,22	<0.100	3,27	2,16	2,27	3,16	2,53
HCO <sub>3</sub>	64,3	135	107	29,2	18,1	11,8	131	133
NH <sub>4</sub>	0,52	0,063	2,38	<2.00	<0.010	<0.010	0,267	0,236
NO <sub>3</sub>	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	0,659	2,7	<0.100	<0.100
I	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Ptotal	0,055	<0.050	<0.050	<0.150	0,618	0,443	<0.150	<0.150
CN	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
Balance Iónico	-0,34	-3,10	-1,91	-1,17	1,61	-2,71	1,92	0,41
S especies disueltas (mg/l)	121	221	168	70	47	33	212	220
%Cl	0,86	1,16	2,70	9,68	1,22	2,22	0,83	2,10
%SO <sub>4</sub>	8,47	2,30	0,00	9,10	10,53	15,77	2,34	1,83
%HCO <sub>3</sub>	90,67	96,54	97,30	81,22	88,25	82,00	96,84	96,07
%Na+K	51,40	14,10	40,49	46,07	37,50	51,58	10,11	15,56
Na/K	1,06	0,12	0,16	0,34	0,37	0,95	0,08	0,14
%Ca	32,53	69,16	42,96	42,61	53,25	39,26	74,11	72,56
%Mg	16,08	16,74	16,55	11,32	9,26	9,16	15,78	11,88

### 2.2.1. 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 estandarizadas como las propuestas por el FOREGS (*Forum of European Geological Surveys*) (Salminen, 1998), y por el proyecto internacional, Base de datos geoquímicos Globales Cartografía Geoquímica Global IGCP 259, 360, (Darnley et al., 1995), se hizo un diseño de muestreo aleatorio, estratificado, balanceado, basado en una red de muestreo bidimensional.

La plancha de 60 X 40 Km. se dividió en subceldas de 5 X 5 Km, para un total de 96. Para cada una de las cuales se seleccionaron cuencas de drenaje en lo posible menores de 25 Km<sup>2</sup> usando como base de la selección de los puntos de muestreo planchas topográficas a escala 1:25.000.

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 el Manual de Campo para el Atlas Geoquímico de Colombia (INGEOMINAS, 2000). Los formatos de campo se encuentran en los centros de documentación de INGEOMINAS.

En la **Tabla 7** se encuentra el listado correspondiente a la ubicación de los sitios de muestreo con sus respectivas coordenadas, subcuencas, municipio y en lo posible vereda. En la **Figura 7** se encuentran ubicadas las 96 estaciones o sitios de muestreo, con su correspondiente cuenca hidrográfica o área de influencia. Como el muestreo e identificación del punto de muestreo se realizó con base en celdas de 5 x 5 Km. se muestra su distribución, cuyos números servirán de referencia al lector para algunas características geoquímicas en las mismas. En general en el mismo punto de muestreo coincide la toma de muestras de aguas (AG) y sedimentos activos (SA), pero las de suelo horizonte A (SUA) en muchos casos no coinciden con el anterior sitio, por lo tanto tienen otras coordenadas geográficas.

### 2.2.2. Análisis de Laboratorio

Las muestras recibidas en los laboratorios del INGEOMINAS se almacenaron de la forma siguiente: las de aguas a baja temperatura en nevera y los suelos y sedimentos se sometieron a secado a temperatura ambiente (25 °C), posteriormente se realizó su preparación para efectuar los análisis químicos.

En el caso de las muestras de aguas, se utilizó una técnica de muy alta sensibilidad, Plasma - ICP - Masas, para la determinación de 66 elementos con muy bajos límites de detección para la mayoría de ellos.

Para 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 muestra en las tablas periódicas, los elementos químicos analizados en 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.

**Tabla 7. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo**

No. de Celda	Este	Norte	Altitud (msnm)	Muestras	Quebrada	Municipio	Vereda
1	1003737	1077846	2580	AG, SUA, SA	Q. Canutillal	San Cayetano	Canutillal
2	1010877	1079118	3140	AG, SUA, SA	Q. Seca	San Cayetano	
2DC	1010244	1078554	3040	AG, SUA, SA	Q. Grande	San Cayetano	Quebradas
3	1007221	1076698	3060	AG, SUA, SA	Q. El Espejo	Ubate	
4	1018707	1078791	2810	AG, SUA, SA	Q. El Molino	Carmen de Garupa	
5	1019535	1078583		AG, SUA	Q. El Juncal	Carmen de Garupa	
6	1027586	1078536	2590	AG, SA	Q. Negra	Ubate	
	1026408	1074456		Suelo A			
7	1033600	1075770	2550	AG, SA	Q. Media Luna	Cucunuba	Medialuna
	1033450	1075700		Suelo A			
8	1039550	1077050	2560	AG, SA	Q. Arenosa	Lenguazaque	El Frantoque
	1039480	1077100		Suelo A			
8DC	1036150	1078200	2555	AG, SA	Q. Palcaguita	Ubate	
	1036200	1078300		Suelo A			
9	1043150	1079850	2650	AG, SA	Q. Taitiva	Lenguazaque	Hatico
	1043000	1079650		Suelo A			
10	1048803	1076901	2810	AG, SUA, SA	Afluente R. Tibita	Lenguazaque	Tibito
11	1054198	1075471	2820	AG, SUA, SA	Q. Mojón	Villapinzón	San Pablo
12	1057980	1077000	2460	AG, SA	Q. La Joya	Villapinzón	Chinquira
	1058015	1076850		Suelo A			
13	1002646	1073833	2650	AG, SUA, SA	Q. La Chorrera	San Cayetano	
14	1007328	1073463	3220	AG, SUA, SA	Q. Sabaneque	San Cayetano	El Marino
15	1015300	1072550	2930	AG, SUA, SA	Q. El Cajón	Tausa	El Cajón
16	1019159	1070069	3080	AG, SUA, SA	Q. El Zarzal	Tausa	Lagunita
17	1023404	1071770	2650	AG, SUA, SA	Q. Aguaclara	Sutatausa	Naval
18	1030118	1073285	2600	AG, SUA, SA	Q. Palacio	Sutatausa	Patacón
19	1031350	1071800	2560	AG, SA	Q. El Volcán	Cucunuba	Chapala
	1031500	1071650		Suelo A			
20	1035250	1072100	2625	AG, SA	Q. La Toma	Cucunuba	La Toma
	1035150	1072250		Suelo A			
21	1042150	1073750	2635	AG, SUA, SA	Q. Farasia	Lenguazaque	Farasia
22	1047336	1070963	2950	AG, SUA, SA	Q. Negra	Villapinzón	Guanguita Alto
23	1052860	1070860	2750	AG, SUA, SA	Q. Sonsa	Villapinzón	Sonsa
24	1056486	1072944	2850	AG, SUA, SA	Q. Piedra Gorda	Villapinzón	Chasquis
25	1000159	1067520	2650	AG, SUA, SA	R. Yayatá	Pacho	Yayatá
26	1006349	1064761	3260	AG, SUA, SA	Q. Guandoque	Tausa	San Antonio
27	1014867	1070010	3110	AG, SUA, SA	R. El Hato	Carmen de Garupa	La Salina

No. de Celda	Este	Norte	Altitud (msnm)	Muestras	Quebrada	Municipio	Vereda
28	1016892	1066326	2990	AG, SUA, SA	R. Las Juntas	Tausa	Neusa
29	1023880	1069601	2700	AG, SUA, SA	R. Aguasal	Tausa	
30	1026359	1068945	2820	AG, SUA, SA	Q. El Cajón	Tausa	El Cajón
31	1032000	1069850	2615	AG, SUA, SA	Q. Zanja	Cucunuba	Carrizal
32	1039400	1069600	2770	AG, SUA, SA	R. Ovejero	Cucunuba	Hoja Ancha
33	1040100	1069650	2760	AG, SUA, SA	Q. Blanca	Choconta	Hato Grande
34	1046380	1065726	2740	AG, SUA, SA	Q. Hato Frío	Choconta	La Mochila
35	1051827	1069403	2790	AG, SUA, SA	Q. Chigualá	Villapinzón	Chigualá
36	1055816	1070410	3150	AG, SA	R. Bogotá	Villapinzón	Quincha
	1056513	1065516		Suelo A			
37	1004511	1060773	3240	AG, SUA, SA	Q. El Pantano	Cogua	
38	1008292	1063446	3095	AG, SUA, SA	Q. La Viuda	Tausa	Salitre
39	1010985	1061546	2980	AG, SUA, SA	R. El Chochal	Tausa	Llano Grande
40	1019324	1061091	2900	AG, SUA, SA	Q. Hornillo	Tausa	Pajarito
41	1023136	1060488	2700	AG, SA	Q. Rasgatá	Nemocon	Checua
	1023168	1060615		Suelo A			
42	1027001	1061013	2730	AG, SUA, SA	Q. La Alberca	Suesca	Barrancas
43	1034700	1064900	2825	AG, SUA, SA	Q. Zuaquirá	Suesca	El Hatillo
43DC	1031250	1062650	2850	AG, SUA, SA	Laguna de Suesca	Suesca	El Hatillo
44	1038200	1060200	2690	AG, SUA, SA	Q. de June	Choconta	Las Cruces
45	1042010	1061154	2650	AG, SA	Q. El Ratón	Choconta	Las Cruces
	1041867	1061148		Suelo A			
46	1046735	1063133	2660	AG, SUA	Q. Aposentos	Choconta	Aposentos
47	1047414	1060243	2660	AG, SA	R. Tejar	Choconta	Retiro de Blancas
	1047485	1060395		Suelo A			
48	1059300	1060180	2580	AG, SA	Q. Tocola	Choconta	Soatama
	1059250	1060500		Suelo A			
49	1003375	1057642	3262	AG, SUA, SA	Q. de Guerrero	Zipaquira	Páramo de Guerrero
50	1009971	1057301	3020	AG, SA	Q. Honda	Cogua	Honda
	1009984	1058174		Suelo A			
51	1012775	1057277	2918	AG, SA	Q. Arboloco	Cogua	Cardona
	1012265	1059433		Suelo A			
52	1018652	1056930	2957	AG, SA	Q. Chorrillo	Tausa	Casablanca
	1018561	1057612		Suelo A			
53	1023050	1057117	2650	AG, SA	Río Checua	Tausa	Checua
	1023592	1058474		Suelo A			
54	1026488	1059362	2777	AG, SA	R. Charco de Nutria	Suesca	Loma de Piedra
	1026078	1058482		Suelo A			
55	1030910	1056785	2650	AG, SUA, SA	Q. La Florida	Suesca	La Florida
56	1037821	1057547	2650	AG, SA	Q. June	Choconta	Chinatá
	1037746	1057614		Suelo A			

No. de Celda	Este	Norte	Altitud (msnm)	Muestras	Quebrada	Municipio	Vereda
57	1042131	1056912	2680	AG, SUA, SA	Q. Saucio	Choconta	
58	1048000	1055100	2330	AG, SA	Q. Napoles	Macheta	El Tejar
	1047350	1055250		Suelo A			
59	1054580	1056520	2320	AG, SA	Q. Don Alonso	Macheta	Resguardo Arriba
	1054480	1056520		Suelo A			
60	1056250	1055500	2140	AG, SA	Q. Aguablanca	Macheta	Guina
	1056450	1055700		Suelo A			
61	1000049	1054020	3080	AG, SA	Río Negro	Zipaquira	El Empalizado
	1002556	1053991		Suelo A			
62	1010394	1050726		AG, SUA, SA	R. Susagua	Cogua	La Chapa
63	1012155	1053945	2700	AG, SA	Q. Ojo de Agua	Cogua	Barroblanco
	1014387	1054095	2770	Suelo A			
63DC	1010538	1055007	3340	AG, SUA, SA	Q. El Chuscal	Cogua	Honda
64	1017603	1051460	2700	AG, SA	Q. Aposentos	Nemocon	Neusa
	1019463	1051312		Suelo A			
65	1024088	1054808	2657	AG, SA	Q. Perico	Nemocon	Perico
	1024352	1054780		Suelo A			
66	1025413	1053587	2926	AG, SUA, SA	Q. Penita	Sesquilé	Ojo de Agua
67	1033000	1051950	2570	AG, SUA, SA	Q. Providencia	SUAesca	Nescuata
68	1038596	1052704	2700	AG, SUA, SA	Q. La Fuente	Choconta	Arizona
69	1042562	1053668	2680	AG, SA	Q. San Jerónimo	Choconta	Arizona
	1042486	1053699		Suelo A			
70	1049880	1052210	2230	AG, SA	Q. Yoya	Macheta	El Boquerón
	1049780	1052300		Suelo A			
71	1051620	1053100	2020	AG, SA	Afluente R. Macheta	Macheta	Centro
	1051750	1052610		Suelo A			
71DC	1050450	1053450	2050	AG, SUA, SA	Afluente R. Macheta	Macheta	Centro
72	1058850	1052250	1725	AG, SA	Q. Carbonera	Manta	Gazuca
	1058700	1052200		Suelo A			
73	1002142	1047362	2770	AG, SA	Río Frio	Zipaquira	
	1002035	1047560		Suelo A			
74	1007077	1047765	2800	AG, SUA, SA	Río Negro	Zipaquira	
75	1012954	1046898	2648	AG, SUA, SA	Río Neusa	Zipaquira	Barandita
76	1015640	1049407	2668	AG, SA	Río Neusa (Vallao)	Zipaquira	Aguas Claras
	1015848	1046706		Suelo A			
77	1023484	1047504	2640	AG, SUA, SA	Río Bogotá	Gachancipa	San Martín
78	1026563	1046674	2750	AG, SA	Q. Salinas	Gachancipa	Salinas
	1026198	1046501		Suelo A			
79	1030250	1045500	2600	AG, SUA, SA	Q. Turbia - Q. Clara	Sesquilé	San José

No. de Celda	Este	Norte	Altitud (msnm)	Muestras	Quebrada	Municipio	Vereda
80	1038838	1047928	2700	AG, SA	Q. El Cajón	El Sisga	
	1038748	1047908		Suelo A			
81	1041682	1049779	2685	AG, SA	Q. Las Tapias	Choconta	Arizona
	1041358	1049722		Suelo A			
82	1049850	1049700	2200	AG, SA	Q. El Chirma	Macheta	Casadillas
	1049810	1049890		Suelo A			
83	1051200	1049159	2100	AG, SA	Q. Corradillas	Macheta	San Isidro
	1050500	1049300		Suelo A			
84	1059150	1045100	1850	AG, SA	Q. Las Quebraditas	Manta	Centro
	1059100	1045550		Suelo A			
85	1002042	1043147	2725	AG, SUA, SA	Q. Honda	Zipaquira	Barroblanco
85DC	1003417	1043894	2849	AG, SUA, SA	Q. Puente	Zipaquira	Barroblanco
86	1005977	1042850	2915	AG, SUA, SA	Q. El Hueco	Zipaquira	San Jorge
87	1011677	1044260	2660	AG, SUA, SA	Río Bogotá	Zipaquira	Tibito
88	1015310	1044935	2638	AG, SUA, SA	Vallao La Fuente	Tocancipa	
89	1019686	1040592	2648	AG, SUA, SA	Q. Esmeralda	Tocancipa	Esmeralda
90	1027310	1043970	2720	AG, SA	Q. La Guaca	Tocancipa	Cerro La Cabrera
	1027187	1044122		Suelo A			
91	1030100	1043350	2600	AG, SA	Q. Chalоче	Sesquilé	Chaleche
	1030125	1043200		Suelo A			
92	1039350	1044900	2740	AG, SA	Afluente R. Sisga	Sesquilé	Capilla de Bélen
	1039520	1044900		Suelo A			
93	1040610	1044900	2785	AG, SA	Q. La Granadilla	Sesquilé	Capilla de Bélen
	1040500	1044800		Suelo A			
94	1048700	1044115	2435	AG, SA	Afluente R. Guatanfur	Macheta	La Carpintera
	1048650	1044315		Suelo A			
95	1054890	1042175	2165	AG, SA	Q. El Palmar	Manta	El Palmar
	1054490	1040400		Suelo A			
96	1057815	1042700	1670	AG, SA	Q. La Centella-Q. El Golpe	Manta	El Palmar
	1057875	1042830		Suelo A			

AG Aguas

SUA Suelo horizonte A

SA

Sedimentos activos

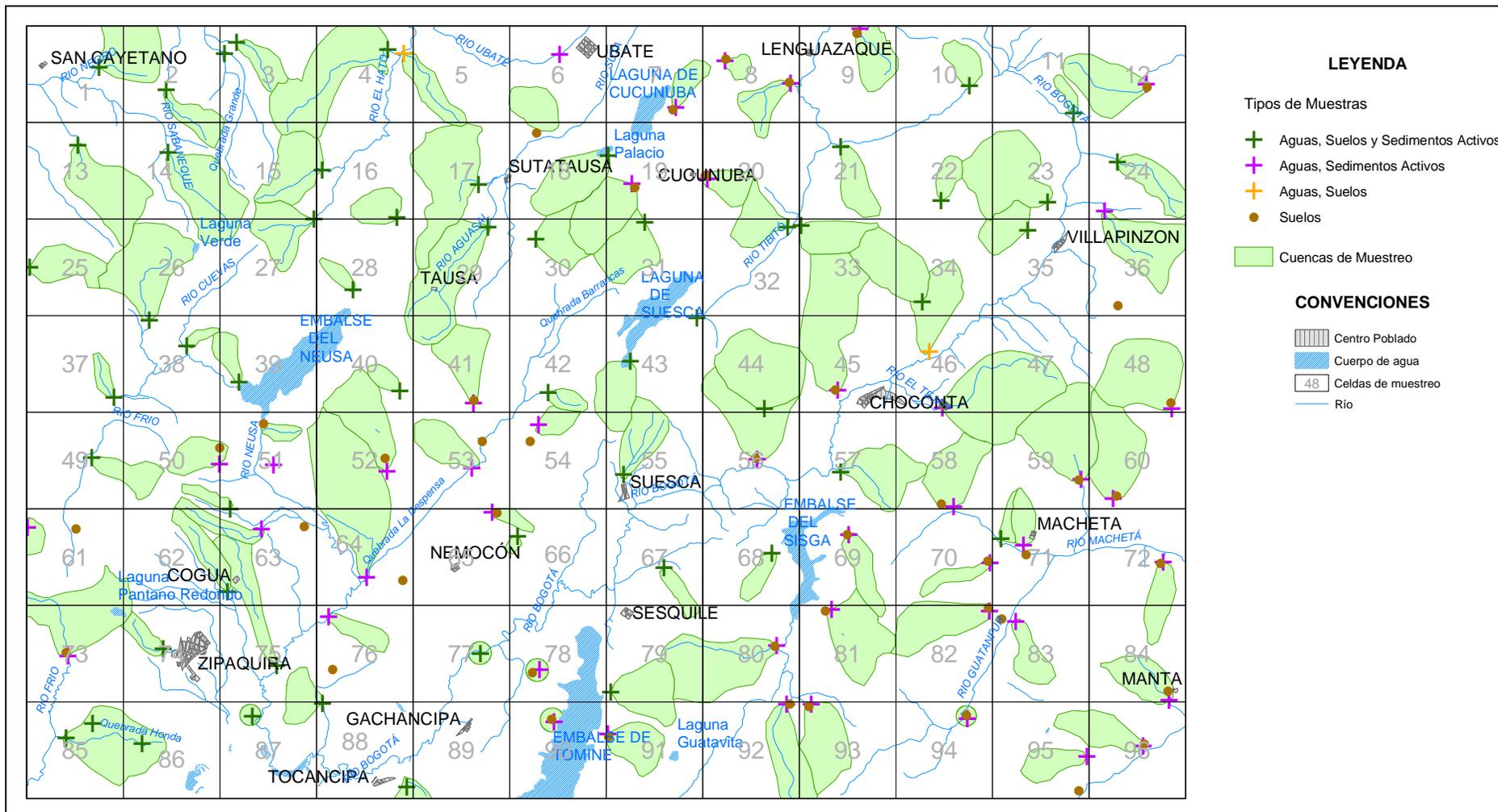


Figura 7. Subcuencas y sitios de muestreo

<b>AGUAS</b>																		<b>CONVENCIONES</b>							He
H																		B	C	N	O	F	Ne		
Li <sub>1</sub>	Be <sub>0.1</sub>																Al <sub>2</sub>	Si <sub>50</sub>	P	S	Cl	Ar			
Na <sub>5</sub>	Mg <sub>1</sub>																Ga	Ge	As	Se	Br <sub>3</sub>	Kr			
K <sub>10</sub>	Ca <sub>50</sub>	Sc <sub>1</sub>	Ti	V <sub>0.05</sub>	Cr <sub>0.5</sub>	Mn <sub>0.1</sub>	Fe <sub>5</sub>	Co <sub>0.005</sub>	Ni <sub>0.3</sub>	Cu <sub>0.2</sub>	Zn <sub>0.5</sub>	In	Sn	Sb	Te	I <sub>1</sub>	Xe								
Rb <sub>0.005</sub>	Sr <sub>0.04</sub>	Y <sub>0.003</sub>	Zr <sub>0.01</sub>	Nb	Mo <sub>0.1</sub>	Tc	Ru <sub>0.01</sub>	Rh	Pd	Ag	Cd <sub>0.01</sub>	As	Sb	Te	I <sub>1</sub>	Xe									
Cs <sub>0.002</sub>	Ba <sub>0.1</sub>	La <sub>0.001</sub>	Hf <sub>0.002</sub>	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb <sub>0.1</sub>	Bi	Po	At	Rn								
Fr	Ra	Ac	Ku	Ha																					
																		<b>CONVENCIONES</b>							
																		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #e0f7fa; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <span>Aguas, ICP-Masas Límite de detección en ppb</span> </div>							
La	Ce <sub>0.002</sub>	Pr <sub>0.001</sub>	Nd <sub>0.004</sub>	Pm	Sm <sub>0.002</sub>	Eu <sub>0.001</sub>	Gd <sub>0.002</sub>	Tb <sub>0.001</sub>	Dy <sub>0.002</sub>	Ho <sub>0.001</sub>	Er <sub>0.001</sub>	Tm <sub>0.001</sub>	Yb <sub>0.001</sub>	Lu <sub>0.001</sub>											
Ac	Th <sub>0.001</sub>	Pa	U <sub>0.001</sub>	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw											

<b>SUELOS</b>																		<b>CONVENCIONES</b>							<b>SEDIMENTOS ACTIVOS</b>						He						
H																		B	C	N	O	F	Ne														
Li	Be <sub>1</sub>																Al <sub>100</sub>	Si	P <sub>10</sub>	S <sub>100</sub>	Cl	Ar															
Na <sub>100</sub>	Mg <sub>1</sub>																Ga	Ge	As <sub>0.5</sub>	Se	Br <sub>0.5</sub>	Kr															
K <sub>100</sub>	Ca <sub>100</sub>	Sc <sub>0.1</sub>	Ti <sub>100</sub>	V <sub>2</sub>	Cr <sub>5</sub>	Mn <sub>1</sub>	Fe <sub>100</sub>	Co <sub>1</sub>	Ni <sub>1</sub>	Cu <sub>1</sub>	Zn <sub>1</sub>	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																				
Rb <sub>15</sub>	Sr <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Zr <sub>0.01</sub>	Nb	Mo <sub>1</sub>	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag <sub>0.3</sub>	Cd <sub>0.3</sub>	As	Sb	Te	I	Xe																					
Cs <sub>1</sub>	Ba <sub>50</sub>	La <sub>0.5</sub>	Hf <sub>1</sub>	Ta <sub>0.5</sub>	W	Re	Os	Ir	Pt	Au <sub>0.002</sub>	Hg	Tl	Pb <sub>3</sub>	Bi	Po	At	Rn																				
Fr	Ra	Ac	Ku	Ha																																	
																		<b>CONVENCIONES</b>							<b>CONVENCIONES</b>												
																		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #fce4ec; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <span>Suelos y sedimentos, ICP-óptico</span> </div>							<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #ffe0b2; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <span>Límite de detección ppm</span> </div>						<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #ffe0b2; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <span>Suelos y sedimentos, Act. Neut.</span> </div>						
La	Ce <sub>3</sub>	Pr	Nd <sub>5</sub>	Pm	Sm	Eu <sub>0.2</sub>	Gd	Tb <sub>0.5</sub>	Dy	Ho	Er	Tm	Yb <sub>0.2</sub>	Lu <sub>0.05</sub>																							
Ac	Th <sub>0.2</sub>	Pa	U <sub>0.5</sub>	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw																							

**Figura 8.** Tabla periódica de elementos analizados

### 2.2.3. Tratamiento y análisis de la información.

La metodología general se presenta en el diagrama de flujo (**Figura 6**) que sintetiza la metodología de análisis aplicada al procesamiento de datos e interpretación de los resultados químicos obtenidos en la Plancha 209-Zipacquirá.

El tratamiento de los resultados para aquellos menores al límite de detección (<LD o número negativo), se divide en 2 dicho número y se trata como positivo. En algunos casos se obtuvieron resultados de duplicado de muestra para lo cual se realizó los respectivos promedios y se trataron como un solo dato.

Inicialmente se realiza un procesamiento principalmente estadístico de los datos utilizando los programas SPSS 8.0 (SPSS, 1993) y STATGRAPHICS 3.8, los cuales sirven para obtener los análisis estadísticos univariado y multivariado. A partir de los parámetros estadísticos encontrados se utilizó el programa *Arc Gis* para obtener los mapas de puntos. Para los análisis geoestadísticos y de grupos de elementos se utilizó el módulo CHIMERA de GEOSOFT - OASIS MONTAJ, con el cual se obtienen también los mapas de distribución espacial para elementos y factores (grupos de elementos).

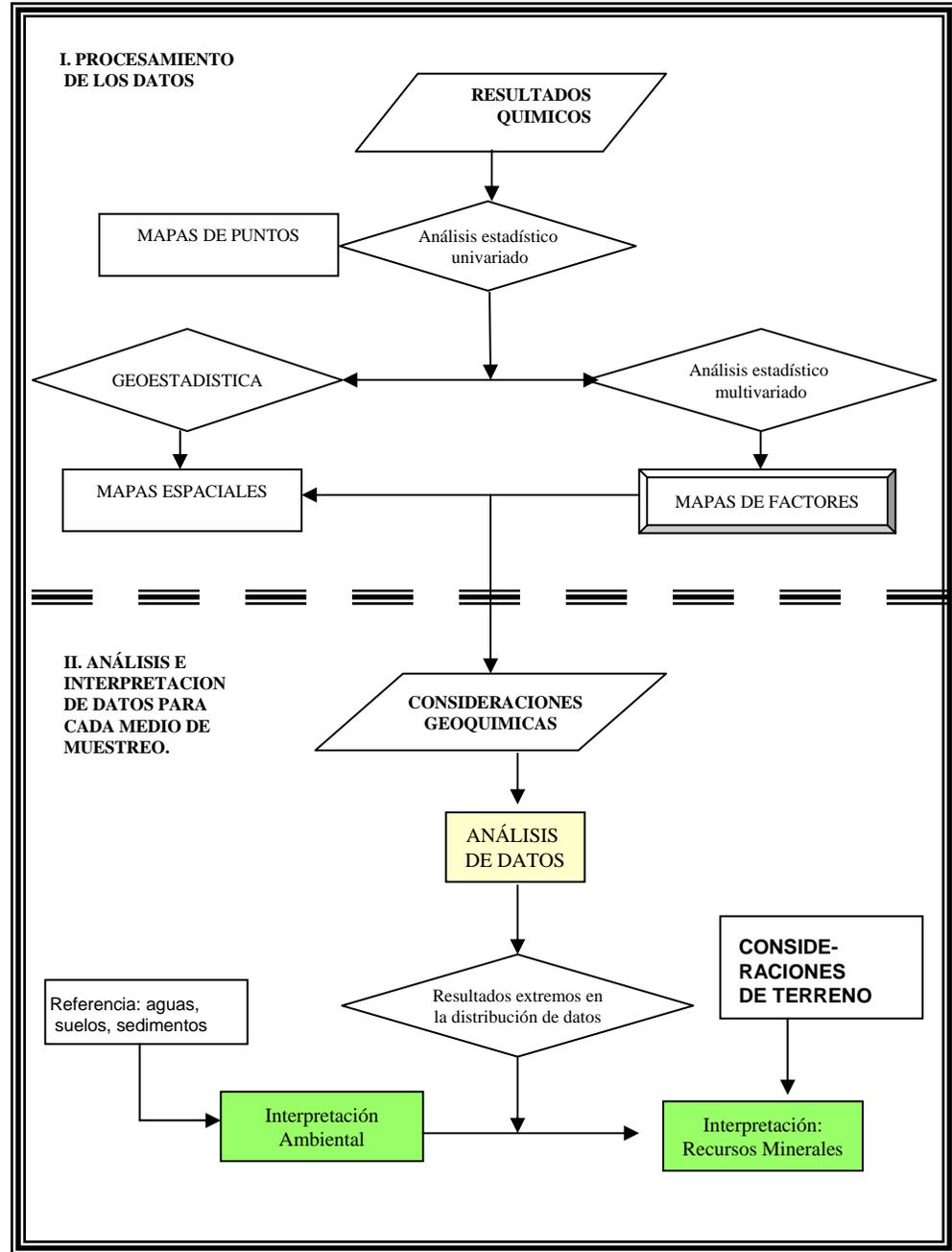
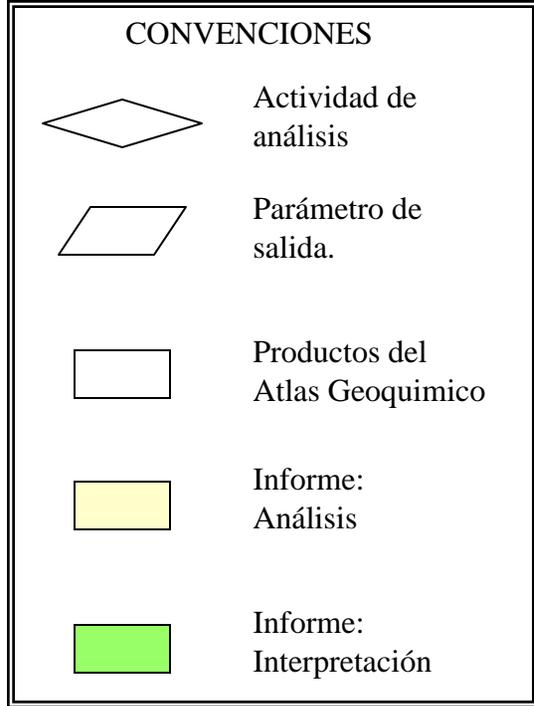
Se realizaron dos tipos de análisis estadísticos, cada uno para un determinado objetivo, que se resumen en la **Tabla 8**.

Para cada medio de muestreo (aguas, suelos y sedimentos activos, respectivamente) se presenta una breve descripción de los parámetros estadísticos: número de datos, rango, medidas centrales, tendencia, dispersión y valores extremos. Se resumen las asociaciones de elementos químicos obtenidos a partir del análisis multivariado: correlación paramétrica de Pearson, análisis de componentes y análisis de factores, con el cual se agrupan los elementos con coeficientes de correlación superiores a 0.75 y un nivel de explicación mayor del 75% para poder ser considerados en la representación geoespacial del grupo de elementos para cada medio muestreado. Finalmente, se presentan en mapas los sitios de muestreo con elementos por encima de su valor extremo, lo cual se realiza utilizando como base los diagramas de caja.

A partir de los datos y mapas del Atlas Geoquímico se efectúa el proceso de interpretación, se compara la distribución espacial de los elementos con otras variables espaciales a escala regional como geología y suelos, para establecer los dominios geoquímicos, con los elementos químicos que las caracterizan. Se seleccionan los elementos para la respectiva interpretación desde los puntos de vista de geoquímica ambiental y exploración de yacimientos minerales.

Para la interpretación de los resultados geoquímicas 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, elementos potencialmente peligrosos debido a su poder de contaminación (E.P.P.), tipo de análisis químico y factores de enriquecimiento. De acuerdo a Appleton et al. 1992, los elementos potencialmente peligrosos son los siguientes: Al, Ag, As, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Fe, Mg, Ca, Zn, Co, Tl, V, B y U.

Se utiliza para las muestras de aguas el Decreto 475/98 de la legislación colombiana para calidad del agua; como para suelos ni sedimentos no existe normatividad colombiana, en el caso de suelos se utiliza la base del VROM (1991,1994) y para sedimentos se compara con el contenido normal en *shales*, por ser común este material geológico en la zona de estudio y presentar contenidos altos en varios elementos químicos. Finalmente se muestra en los mapas un rango de peligrosidad teniendo en cuenta el tipo y contenido de elemento: para el Cd, Pb, Hg, As se considera alto, bajo para elementos mayores y medio la combinación de elementos mayores con otros traza (Co, Cr, V, etc).



**Figura 9.**  
Metodología para procesamiento e interpretación geoquímica

**Tabla 8. Tipos de análisis estadístico**

<b>Tipo de análisis</b>	<b>Univariado</b>	<b>Multivariado</b>	<b>Valores extremos</b>	<b>Geostatística</b>
Descripción	Comportamiento estadístico de cada variable	Reducir el número de variables		Distribución espacial de una variable determinada.
Parametros de análisis	Número de datos, rango (mínimo-máximo), medidas centrales (promedio, mediana y moda), dispersión (desviación estándar), tendencia (kurtosis y asimetría) y valores extremos (pércenil 95 y valor umbral).	Correlación paramétrica de Pearson, análisis de componentes, análisis de factores.	Diagramas de caja ( <i>Box plot</i> ). Puntos por encima del percentil 95.	Metodo de interpolación mínima curvatura, datos en forma logarítmica, alcance del punto de dato 5 Km. Comparación estadística del elemento en los 3 medios de muestreo.
Software	Spss	Spss, Chimera (Oasis - Montaj)	Statgraphics	Chimera (Oasis - Montaj), Statgraphics.
INFORME		Mapas por grupos de elementos para cada medio de muestreo.	Mapas de puntos por medio de muestreo de los elementos con contenido (extremo) anómalo.	
ATLAS GEOQUIMICO	Mapas puntuales por elemento. Atlas Geoquímico.			Mapas geoespaciales en los 3 medios de muestreo.



Para exploración de recursos, se tienen en cuenta los valores extremos y los mapas de grupos de elementos, relacionándolo con las unidades geológicas y recursos minerales, descartando aquellos sitios ubicados en zonas de conocida contaminación antrópica como en algunos sitios de la Sabana de Bogotá, los cuales pueden ser considerados como zonas de interés para estudios de mayor detalle.

### 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

En este capítulo se presentan los análisis estadísticos de los resultados de los análisis químicos. En la metodología se describió el tratamiento estadístico realizado a los datos cuantitativos o de laboratorio, enseguida se presenta lo relacionado con los análisis para los datos de campo, que son en su mayoría de tipo descriptivo. En los Anexos se encuentra consignado los aspectos en detalle que se han tenido en cuenta para la elaboración del presente capítulo.

- Anexo 1: Álbum fotográfico de campo
- Anexo 2: Resultados químicos
- Anexo 3: Análisis estadístico

#### 3.1. AGUAS

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

Dependiendo el sitio de la toma de la muestra de agua, así mismo es la calidad de la misma; en los paramos el agua es limpia, transparente, mientras que hacia la Sabana es turbia y con mal olor; es en este ultimo tipo de aguas donde presenta mayor variabilidad en sus propiedades fisicoquímicas.

Estas características del agua se refleja en la composición química de las mismas en 2 grupos, las provenientes de la Sabana de Bogotá (con incremento en lo contenidos de la mayoría de elementos químicos) y las de las laderas de las montañas (dependiendo de la caracterización geológica de la zona: presencia de carbón, shales, sal, etc.), como a continuación se analizará.

##### 3.1.1. Datos de campo

Los datos de campo para los 96 puntos muestreados de agua corresponden a: factores fisicoquímicos como pH, conductividad eléctrica y temperatura (**Tabla 9**); tipo de cuerpo de agua, olor, turbidez y clase de muestra tomada.

El rango de pH varía desde muy ácido hasta muy básico, sin embargo el rango general entre 5.5 a 7.5, es relativamente neutro. Los puntos correspondientes a pH muy ácidos (<5) desde 2.98 a 5, corresponden en su orden a: Q. Palacio (celda 18), Río Charco de Nutria (54), Q. Perico (65), Q. Chorrillo (52) y Q. Palcaguita (8DC) y las celdas de pH >8 corresponden a: Q. Media Luna con pH de 12.6 (celda 7), Q. Zanja (31), Q. La Chorrera (13) y Q. El Vocán (19); estos puntos con alto contraste de pH se encuentran en la zona industrial entre Zipaquirá y Ubaté (**Figura 10**).

Valores de conductividad eléctrica mayores que 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se encuentran al sureste entre las poblaciones de Tocancipa, Gachancipa y Zipaquirá, y corresponden a los siguientes sitios: Vallao La Fuente (celda 88), Q. Salinas (78), Río Negro (74), Río Charco de Nutría (54) y Q. Perico (65).

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

**Tabla 9. Resultados fisicoquímicos en aguas**

No. de Celda	Quebrada	pH	Cond.(µS)	Temp.(°C)
1	Q. Canutillal	7,97	0,43	18,2
2	Q. Seca	6,09	0,01	20
2DC	Q. Grande	6,64	0,02	20
3	Q. El Espejo	6,94	0,02	13,1
4	Q. El Molino	7,05	0,05	15
5	Q. El Juncal	7,07	0,25	15
7	Q. Media Luna	12,6	460	7,5
8	Q. Arenosa	5,92	169	18,1
8DC	Q. Palcaguita	3,75	855	12,9
9	Q. Taitiva	6,41	146	15,6
10	Afluente R. Tibita	6,37	92,5	14,3
11	Q. La Joya	6,52	90	12,7
11	Q. Mojón	6,7	104,6	14,2
13	Q. La Chorrera	8,21	0,51	15,9
14	Q. Sabaneque	7,52	0,04	15
15	Q. El Cajón	7,76	0,05	15
16	Q. El Zarzal	6,47	0,04	15
17	Q. Aguaclara	7,69	0,07	16
18	Q. Palacio	2,98	4	15
19	Q. El Volcán	8,2	920	20,9
20	Q. La Toma	6,03	111	18,5
21	Q. Farasia	7,28	132	10,7
22	Q. Negra	5,99	230	12,3
23	Q. Sonsa	6,22	118,5	12,8
24	Q. Piedra Gorda	6,9	61	14,2
25	R. Yayatá	7,78	0,32	15
26	Q. Guandoque	7,34	0,06	15
27	R. El Hato	7,48	0,03	15
28	R. Las Juntas	6,7	0,22	18
29	R. Aguasal	6,71	1,46	25
30	Q. El Cajón	7,78	0,7	15
31	Q. Zanja	10,2	820	7,2
32	R. Ovejero	6,25	248	16,1
33	Q. Blanca	6,87	80	12,3
34	Q. Hato Frío	6,9	232	13,8
35	Q. Chigualá	6,21	294	15,4
36	R. Bogotá	5,18	19,4	9,5
37	Q. El Pantano	7,02	0,05	15
38	Q. La Viuda	7,31	0,05	15
39	R. El Chochal	7,2	0,13	15
40	Q. Hornillo	6,72	0,12	17,6
41	Q. Rasgatá	7,24	0,14	25
42	Q. La Alberca	7,13	1,67	15
43	Q. Zuaquirá	6,1	28	27,5
43DC	Laguna de Suesca	6,1	184	20,1
44	Q. de June	5,58	60	15,2
45	Q. El Ratón	6,1	117	11
46	Q. Aposentos	7,08	160	11
47	R. Tejar	5	13	11,7

No. de Celda	Quebrada	pH	Cond.(µS)	Temp.(°C)
48	Q. Tocola	6,48	20	16,3
49	Q. de Guerrero	5,95	27,7	17,4
50	Q. Honda	6,34	24,4	11,5
51	Q. Arboloco	5,99	19,6	19,7
52	Q. Chorrillo	3,47	552	14,1
53	Río Checua	6,39	166	19,2
54	R. Charco de Nutria	2,98	2470	24,8
55	Q. La Florida	6,4	109	15
56	Q. June	7,7	164	11,6
57	Q. Saucio	5,83	37,8	11
58	Q. Napoles	6,2	22	14
59	Q. Don Alonso	5,65	11	16
60	Q. Aguablanca	6,7	58	17
61	Río Negro	6,47	39,9	14,6
62	R. Susagua	6,3	158	19,4
63	Q. Ojo de Agua	5,89	66	16,3
63-DC	Q. El Chuscal	6,03	23	19
64	Q. Aposentos	6,83	150	20,4
65	Q. Perico	3,2	1867	15,9
66	Q. Penita	5,49	25	24
67	Q. Providencia	6,2	94	14,1
68	Q. La Fuente	6,78	28,3	14,7
69	Q. San Jerónimo	5,1	12,5	13,4
70	Q. Yoya	6,53	183	16,2
71	Afluente R. Macheta	6,49	68	18,6
71DC	Afluente R. Macheta	6,91	36	18,4
72	Q. Carbonera	6,77	87	17,8
73	Río Frio	6,2	46,8	18,1
74	Río Negro	7,31	2830	17,4
75	Río Neusa	6,6	118	17
76	Río Neusa (Vallao)	6,55	81,6	19,2
77	Río Bogotá	5,98	54	18
78	Q. Salinas	7,59	71300	13
79	Q. Turbia - Q.Clara	5,9	28	15,5
80	Q. El Cajón	6,05	42,3	12,2
81	Q. Las Tapias	5,54	9,8	14,7
82	Q. El Chirma	6,35	25	14,9
83	Q. Corradillas	6,79	49	16,7
84	Q. Las Quebraditas	6,3	46	19,3
85	Q. Honda	5,6	106	14,2
85-DC	Q. Puente	5,58	126	19
86	Q. El Hueco	5,12	64	20,7
87	Río Bogotá	6,71	97,5	17,7
88	Vallao La Fuente	6,29	629000	11,7
89	Q. Esmeralda	5,96	47	21,2
90	Q. La Guaca	6,26	52	20
91	Q. Chalоче	5,91	30	13,1
92	Afluente R. Sisca	6,56	36	19,6
93	Q. La Granadilla	5,72	12	19,6
94	Afluente R. Guatanfur	6,46	25	15
95	Q. El Palmar	6,6	33	15
96	Q. La Centella-Q. El Golf	6,36	46	26

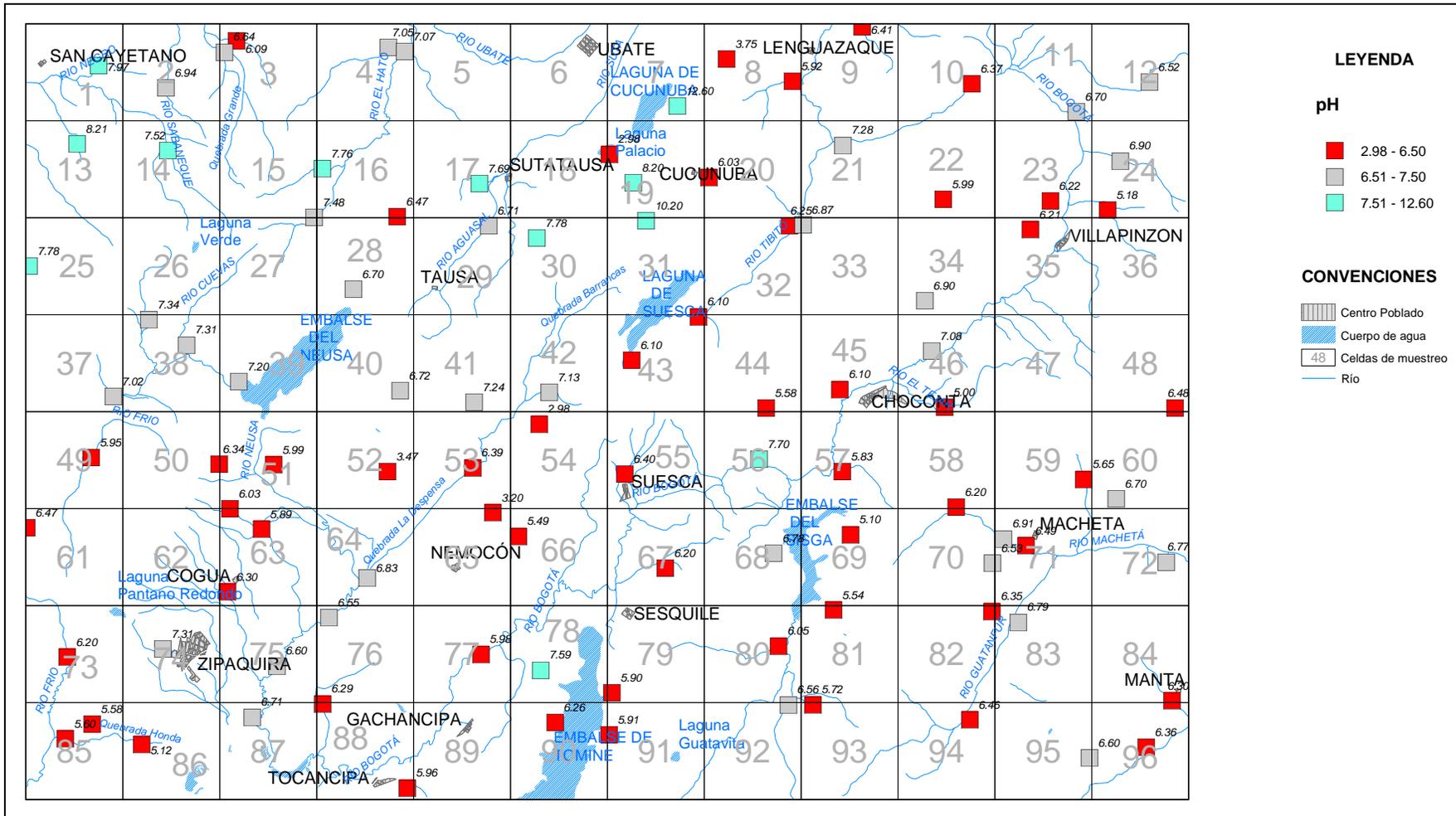


Figura 10. Distribución de pH en muestras de agua

### 3.1.2. Análisis Estadístico

El resumen del análisis estadístico univariado para aguas se presenta a continuación:

1. El número de datos es de 96, para un cubrimiento total de la plancha sin incluir duplicados de celda. En los casos con resultados para duplicado de muestra se realizaron los respectivos promedios y se trataron como un solo dato.
2. Presentaron valores mínimos, menores que el límite de detección los siguientes elementos: As, Al, Br, Ce, Cu, Gd, Hf, I, Sm, Tl, V e Y.
3. Las medidas centrales: se encontraron valores para la moda (el valor que más se repite), menores que el límite de detección (<L.D.) para los siguientes elementos: As, Al, Ce, Cu, Gd, Hf, Sm, Tl, V e Y. Los elementos con promedio muy superior a la mediana son: Fe, Mg, Mn, Na, K, Si y Al; los elementos con promedio mayor a la mediana son Sr, Zn, Ni, Br, Co, Ba. La mediana mayor a la moda corresponde a los elementos de: Si, Fe, Sr, Ba, Mn, Br y Zn; para el caso de la moda mayor a la mediana se presenta para los elementos de: K, Ca, Na, Mg.
4. Con respecto a la dispersión de los datos, la desviación estándar menor a uno, se presenta para los siguientes elementos: Cd, Er, Eu, Pb, U, Yb, As, Zr, Ho, Th, Sb, Hf y Tl. Los elementos de muy alta desviación estándar corresponden a elementos mayores con límite de detección en unidad de porcentaje.
5. La tendencia en la distribución de datos, en general la distribución de los datos no es normal, es asimétrica a la izquierda con una curva leptocúrtica. Los elementos con menor asimetría y curtosis son: Na, Ba, I y Sb.
6. Los valores extremos, en general el valor umbral (promedio más 2 veces la desviación estándar) es mayor al percentil 95, excepto para los siguientes elementos: Br, Ba, Mg, Ca, Na, en algunos casos son aproximadamente iguales, como para As, Hf, Tl, Sb, V, Zr.

Para el **análisis estadístico multivariado** se determinaron las correlaciones paramétricas de Pearson para parejas de elementos y mediante análisis de factores por componente principal se obtuvo tres componentes, o grupos de elementos en aguas, que explican el 77% de la variabilidad. El resumen de las asociaciones o grupos de elementos obtenidos en el proceso del análisis multivariado se presenta en la **Tabla 10**.

A continuación se presenta la interpretación del análisis de cada componente y los grupos de elementos representados en los mapas de la **Figura 11** aplicando análisis de factores para obtener los grupos más representativos (coeficiente de correlación >0.75 y explicación >75%) y presentarlos en mapas geoespaciales.

**COMPONENTE 1:** Al realizar el análisis de factores a los elementos que conforman esta componente se obtienen tres grupos, los elementos del factor 1 (F1) que es un grupo de elementos con un alto coeficiente de correlación, mientras que los elementos de los factores 2 y 3 presentan coeficientes bajo y aproximadamente iguales entre sí, por tanto, se puede continuar el análisis combinando los elementos que conforman estos dos factores.

 F1: Al, Ce, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ho, La, Nd, Pr, Sm, Tb, Th, Y, Yb

En este grupo, el Fe es el único elemento de los de menor coeficiente de correlación que se encuentra representado en el factor 1 (F1) de este grupo junto a las tierras raras, sin embargo su porcentaje de explicación de la variable es menor al 75 % al igual que el Al y Th, por lo tanto se consideran afines entre sí, pero se descartan en la elaboración de mapa, el cual representara a este grupo.

**Tabla 10. Análisis estadístico multivariado en aguas**

COMPONENTE	COEFICIENTE	ELEMENTOS	FACTOR	GRUPO-MAPA	Figura 11
1	0.75 a 0.99	Al, Ce, Co, Cu, Dy, Er, Eu, Gd, Hf, Ho, La, Mn, Nd, Ni, Sm, Tb, Th, Y, Yb, Zn.	F1: Al, Ce, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ho, La, Nd, Pr, Sm, Tb, Th, Y, Yb	Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Nd, Pr, Sm, Tb, Y, Yb	11,1
			F2: -(Cu, Hf, Mg, Mn, Ni, Tl, U)	Co, Mn, Ni, Zn	11,2
	0.50 a 0.74	Cd, Fe, Mg, Si, Tl, U, Zr.	F3: -(Cd, Co, Mn, Tl, Zn).		
2	0.75 a 0.99	K	F1: K, I, Na, Rb,	K, Na, Sr	11,3
	0.50 a 0.74	I, Na, Rb, Sb, Si, Sr,	Sb, Si, Sr		
3	0.75 a 0.99	V	F1: As, Sb, V,	As, Sb	11,4
	0.50 a 0.74	As, Sb, Zr.	Zr.		
Otras		Ba, Cs, Ti			

En la **Figura 11.1** se presenta el mapa de distribución espacial del grupo Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Nd, Pr, Sm, Tb, Y, Yb. 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, Choconta, Lenguazaque y Nemocón, probablemente relacionadas con las fuentes termales y domos salinos.

 F2: Cu, Hf, Mg, Mn, Ni, Tl, U y F3: Cd, Co, Mn, Tl, Zn.

Los elementos que conforman estos factores, presentaron coeficientes bajos, pero como eran similares se analizaron en conjunto es decir los elementos del factor 2 (F2) junto con los del factor 3 (F3), obteniéndose el mapa de la **Figura 11.2** conformado por los elementos Co, Mn, Ni, Zn compuesto por la asociación de los elementos con mejores correlaciones y explicación, los cuales cumplen con coeficiente mayor a 0.75 y un factor de calidad de 75 % de explicación. En la **Figura 11.2** se presenta la distribución espacial para el grupo Co, Mn, Ni, Zn. Se observa alto contenido en los elementos de este grupo hacia el centro del área de estudio, con máximos en la región entre Nemocón, Suesca y Ubaté, en la cual se encuentran la actividad minera del carbón.

#### **COMPONENTE 2.** K, I, Na, Rb, Sb, Si, Sr.

Se define un solo factor conformado por estos mismos elementos, solo que para el I, Sb, y Si los coeficientes son inferiores a 0.7 y el nivel de explicación no alcanza el 40% por lo tanto se descartan como integrantes del grupo que representa el mapa (**Figura 11.3**) K, Na, Rb y Sr, que son elementos geoquímicamente relacionados, en este caso posiblemente a dilución de rocas calcáreas.

En el mapa de este grupo (**Figura 11.3**) 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.

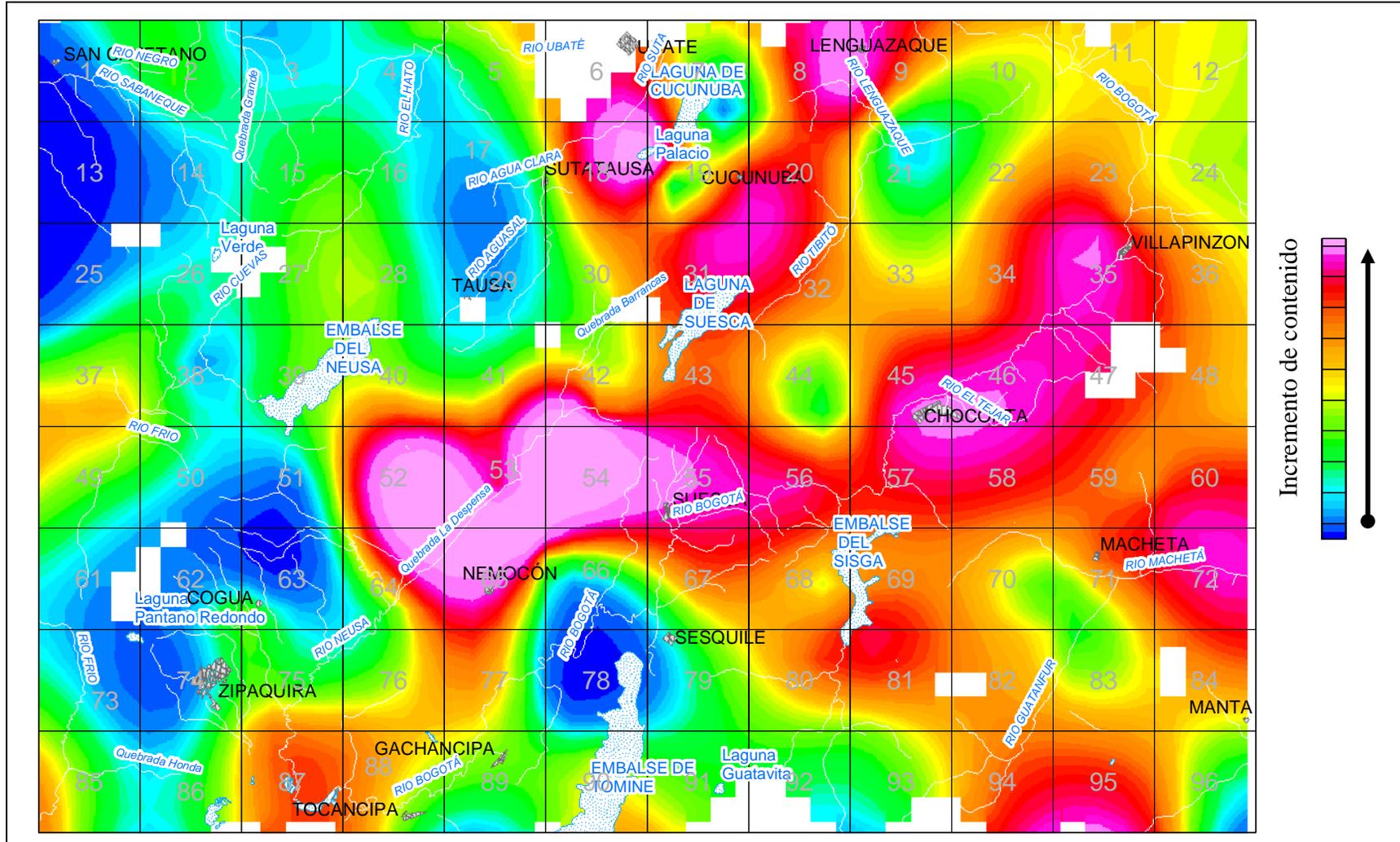
#### **COMPONENTE 3.** As, Sb, V, Zr.

Se define un solo factor, pero los coeficientes de correlación entre sí son bajos, aunque geoquímicamente están relacionados, se descarta el V y Zr, definiendo como grupo para representar su distribución espacial, el par As-Sb con un alto coeficiente de correlación (0.92) y un porcentaje de explicación del 85%. El mapa del grupo representado en la **Figura 11.3** para As y Sb, muestra una clara relación con la Sabana de Bogotá y las zonas industriales presentes en la plancha, lo cual indica un incremento de estos elementos por efectos antrópicos, esta situación no parece ser la explicación del incremento al este de la plancha, al sur del municipio de San Cayetano, lo cual se puede deber a presencia de sulfuros, en la Formación Churuvita.

Al comparar estadísticamente los contenidos de elementos en los diferentes puntos de muestreo de agua, se encuentran sitios con **contenidos extremos** o altos estadísticamente, los cuales se presentan en la **Tabla 11** y su distribución puntual en el mapa de la **Figura 12**.

Se destacan los sitios de muestreo en las quebradas Palacio (Celda 18), Chorrillo (52) y Perico (65) y el Río Charco de Nutría (54), por su cercanía a fuentes de aguas termales de Suesca y Nemocón (Celdas 52, 54 y 65), se podría considerar como fuente de altos incrementos el aporte de tales aguas. Para corroborar esta explicación se realizó una comparación estadística entre los contenidos de algunos elementos traza (Ba, Cu, Mn, Pb, Sr) de aguas superficiales y fuentes termales, aplicando como análisis estadístico comparativo el de valores de la media con intervalos de confianza al 95% (*Fisher's least significant difference (LSD) procedure*) y por cluster para observar la semejanza o no de la composición de las diferentes fuentes termales.

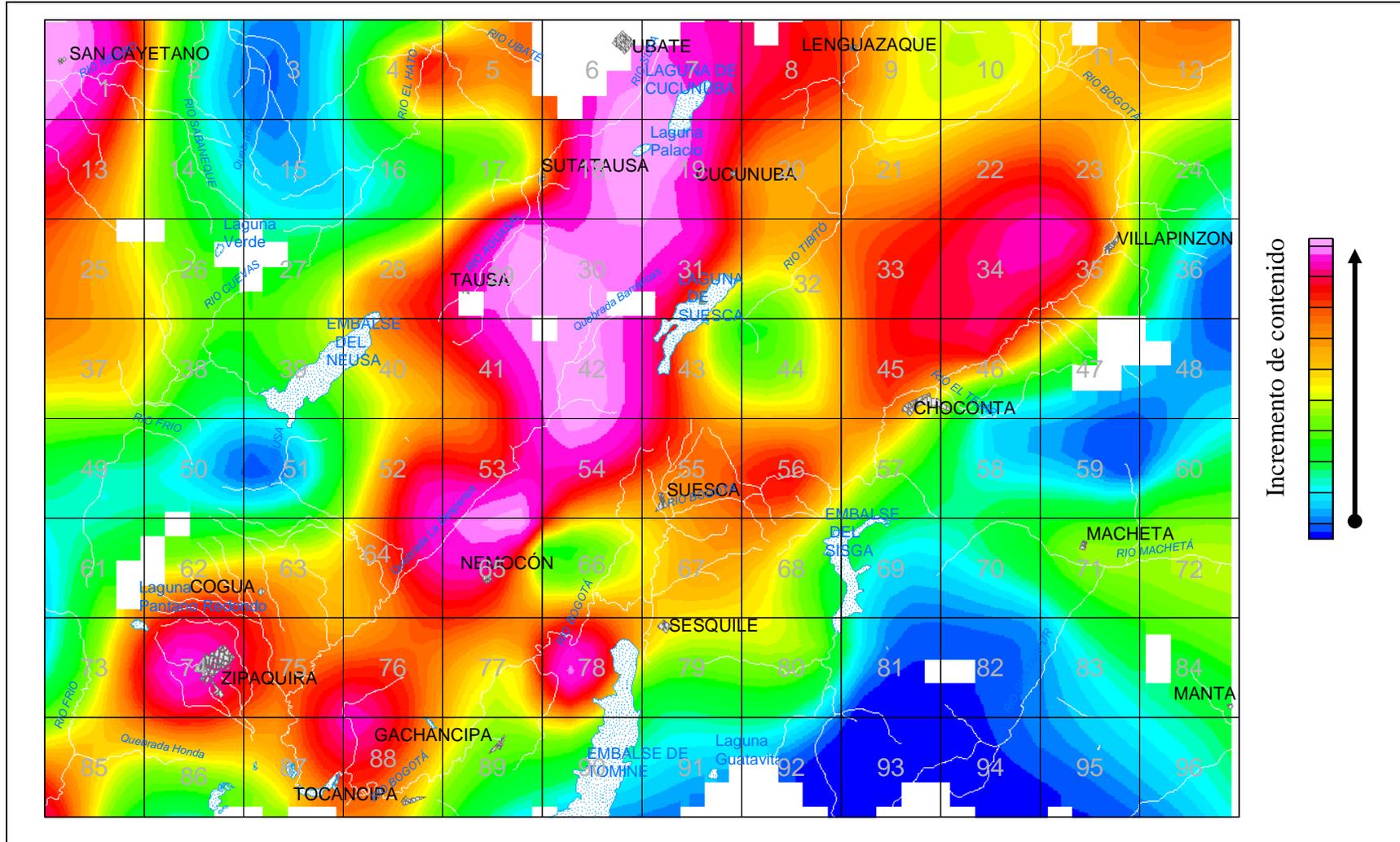
## Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para aguas



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



### Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para aguas



**Figura 11.3. K, Na, Sr**

## Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para aguas

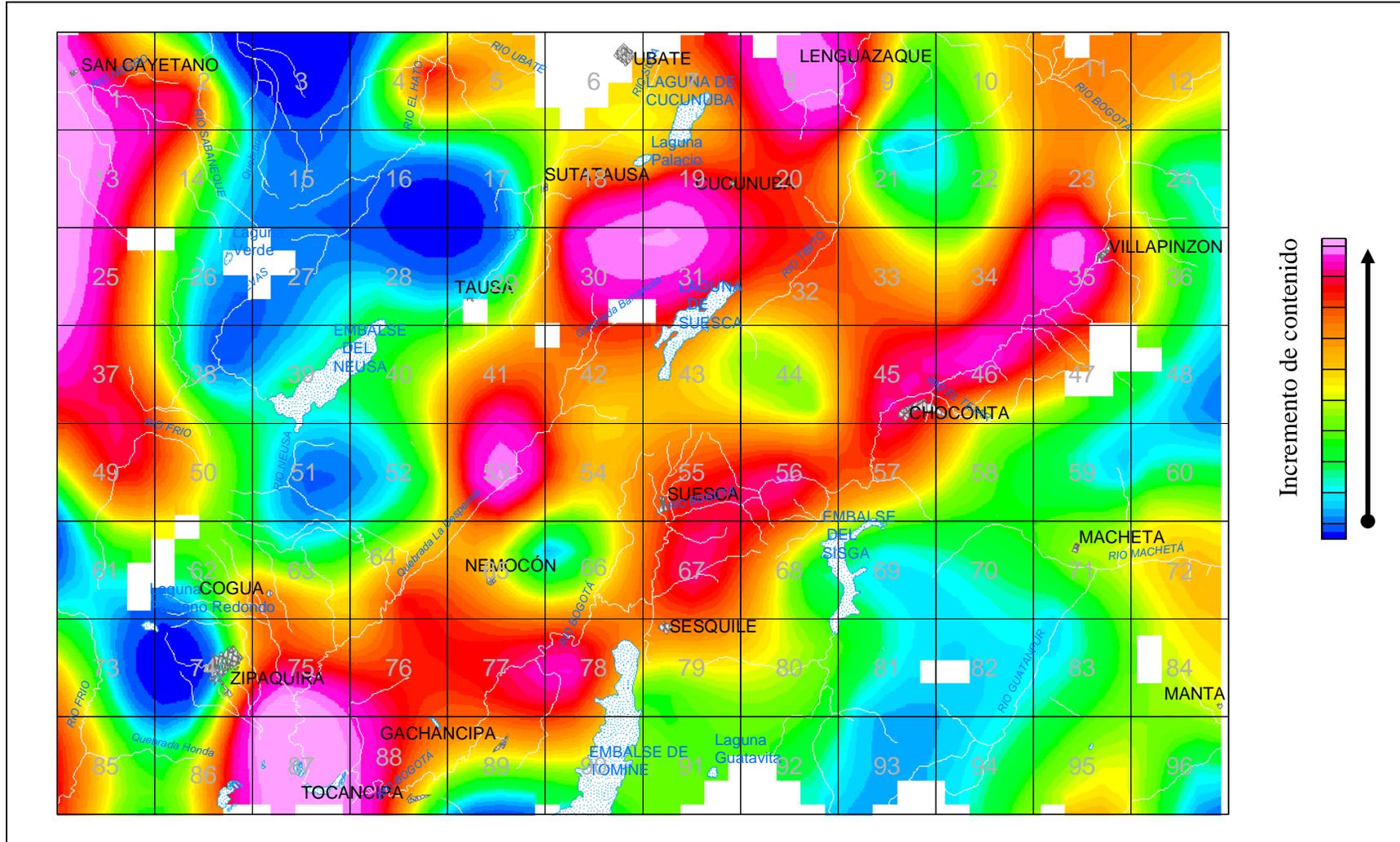


Figura 11.4. As, Sb

**Tabla 11. Sitios de muestreo con valores extremos en aguas**

No. de Celda	Quebrada	AGUAS
1	Q. Canutillal	Ca, Sr, Ta, U
5	Q. El Juncal	I
7	Q. Media Luna	Mg, Mn, U
8	Q. Arenosa	Ce
13	Q. La Chorrera	Ca, Mg, Sb, Sr, Tl, U
18	Q. Palacio	Al, Br, Ca, Cd, Ce, Co, Cu, Fe, Ho, K, La, Mg, Mn, Ni, Pr, Si, Sr, Tb, Th, Ti, Y, Zn.
19	Q. El Volcán	Ca, Mg, U.
20	Q. La Toma	Th
23	Q. Sonsa	Ti
25	R. Yayatá	Ca, U.
28	R. Las Juntas	Zn, Cd
29	R. Aguasal	Mg
30	Q. El Cajón	Mg, Pb, U.
31	Q. Zanja	Ca, Sr, Ti, U.
32	R. Ovejero	Fe, I, Mn
35	Q. Chigualá	Fe, Hf, I, Th, Ti, Zr.
36	R. Bogotá	Cs
41	Q. Rasgatá	Ba
42	Q. La Alberca	Ca, Mg, Mn, Ni, Rb, Sr.
45	Q. El Ratón	Hf, Th, Ti, Zr.
52	Q. Chorrillo	Al, Cd, Ce, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ho, La, Mg, Mn, Nd, Ni, Pr, Sm, Tb, U, Y, Yb, Zn.
53	Río Checua	Cs
54	R. Charco de Nutria	Al, Br, Ca, Cd, Ce, Co, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Hf, Ho, Nd, Ni, Pb, Pr, Si, Sm, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, U, Y, Yb, Zn.
55	Q. La Florida	Th, Zr
56	Q. June	Th, Ti, Zr
65	Q. Perico	Al, Ca, Ce, Co, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ho, K, La, Mn, Na, Nd, Ni, Pr, Rb, Si, Sm, Sr, Tb, Ti, Y, Yb, Zn.
67	Q. Providencia	Cu, Fe.
70	Q. Yoya	Cs
72	Q. Carbonera	Ti
74	Río Negro	Br, Sr.
78	Q. Salinas	Br, Ca, Cu, Mg, Ti, U.
87	Río Bogotá	As, Cs, Cu, Pb, Sb.
88	Vallao La Fuente	Cs, K, Rb, Ti, V.

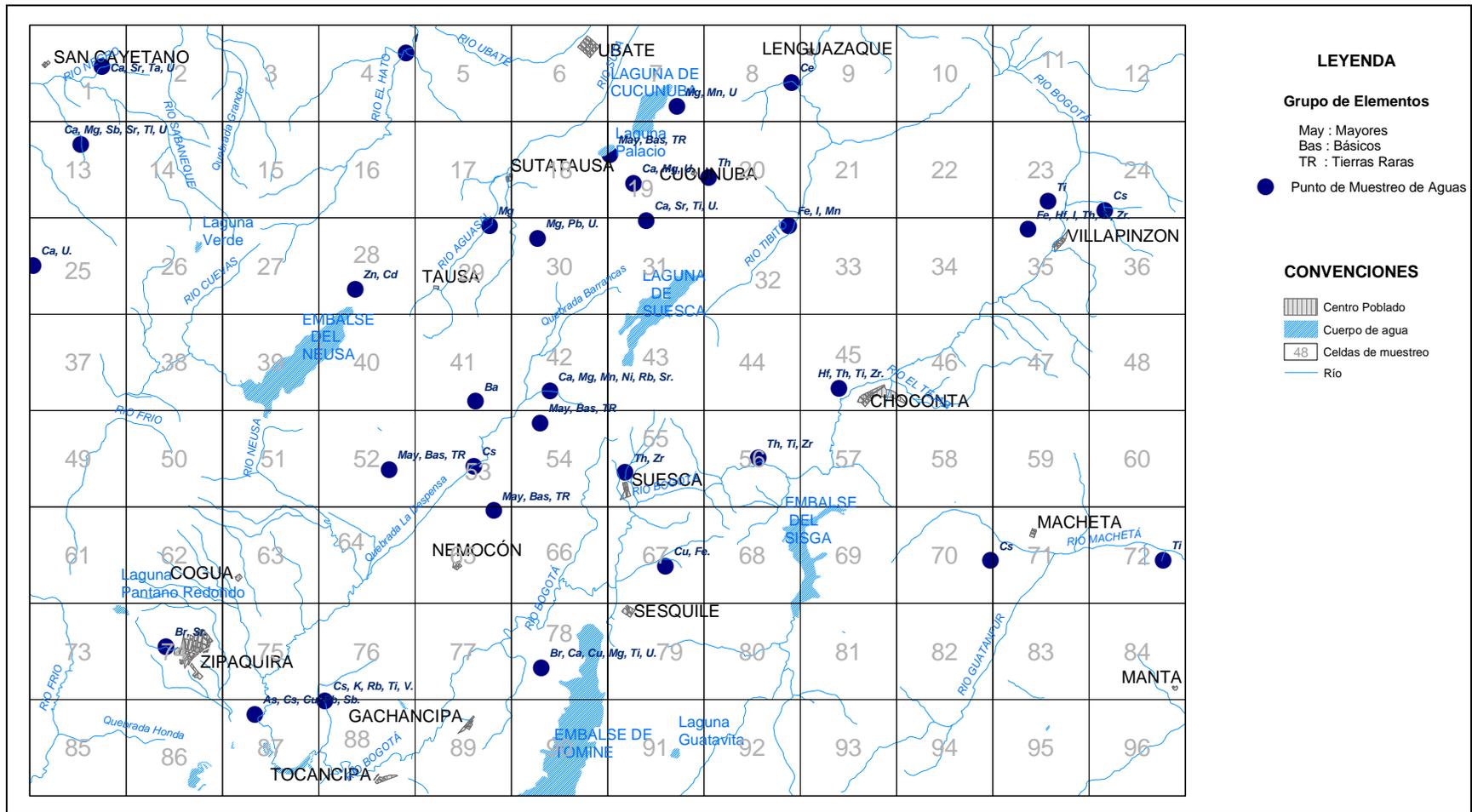


Figura 12. Valores extremos en aguas

Del análisis comparativo de la composición se observa que son relativamente similares, pero distintos 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, así 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), su alto contenido no se debe a fuentes termales.

Retornando a la **Tabla 11** y **Figura 12**, en el área de San Cayetano se identifican altos valores en Ca, Mg, Sr, Ta, Sb, U, lo cual ratificaría la relación con los shales de la Formación Churuvita, en cuanto a niveles calcáreos y presencia de sulfuros. La zona entre Sutatausa, Ubate y Lenguaque, presenta altos contenidos en aguas de Mg, Mn, Ca, Sr, etc., puede ser ocasionada por la alta 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 diapirismo de sal.

### 3.1.3. Geoquímica ambiental

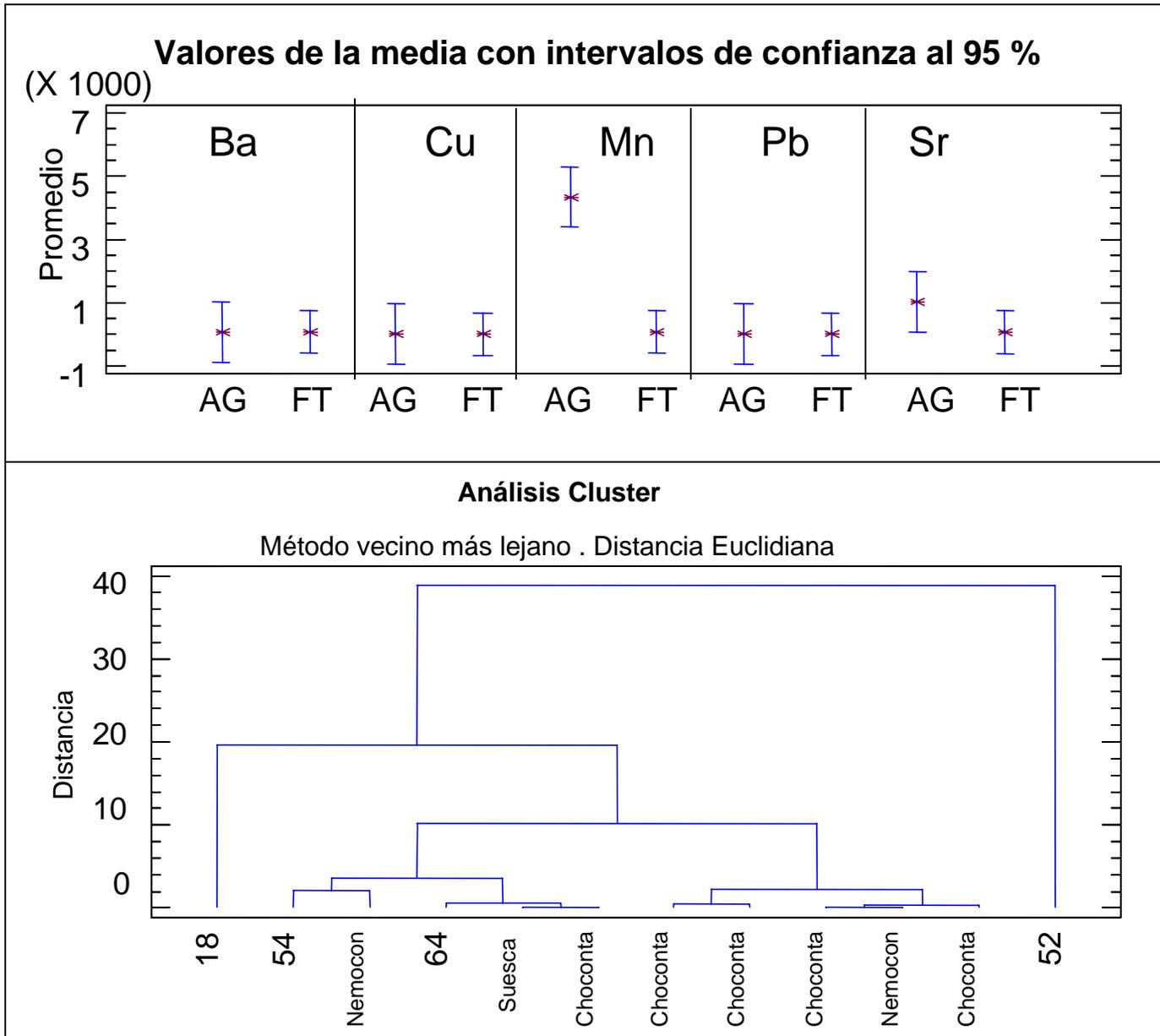
El decreto 475 de 1998 por el cual se expiden normas técnicas de “calidad de agua potable”, se toma como referencia para comparar los resultados obtenidos porque exige concentraciones muy parecidas a las normas internacionales, considera el mayor número de elementos potencialmente peligrosos y es la 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 en los siguientes numerales:

 *Comparación de concentraciones máximas de elementos químicos permisibles en aguas de consumo humano según el decreto 475 de 1998*

De las muestras analizadas para agua en la plancha 209 (Zipaquirá), el 54% de ellas desde el punto de vista de contenido de los elementos químicos, cumplen con las concentraciones recomendadas por el decreto. El 24% de las muestras no cumplen porque superan los valores recomendados para hierro y el 16% porque superan las concentraciones de Ca, Al o Mn.

Las cuencas más contaminadas (6%) 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 arenas, gravas y arcillas de depósitos aluviales recientes, del Grupo Guadalupe, que superan la norma especialmente para Al, Ni, Ca, Fe, Mg, Mn y Cd. La quebrada el Zarzal no cumple con la norma porque supera el valor recomendado para mercurio.

Los mayores factores de enriquecimiento 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 algunas 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.



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

Los nombres de las cuencas y de los elementos químicos que superan las concentraciones exigidas por el Decreto 475 de 1998 aparecen en la **Tabla 12** y en la **Figura 14** se observan los puntos de muestreo de agua, con concentraciones de elementos mayores que los valores recomendados por este Decreto.

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, 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 percepción visual del agua. Además pueden presentar problemas de corrosión y desteñido en el caso de que se usen para actividades industriales (USEPA, 1999). Las concentraciones máximas de los elementos químicos indicadas por la EPA, por tener incidencia organoléptica, se presentan en la **Tabla 13**, con los sitios de muestreo de la Plancha en que se superan los correspondientes valores recomendados.

Las cuencas mencionadas en la **Tabla 12** 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 vallao 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.

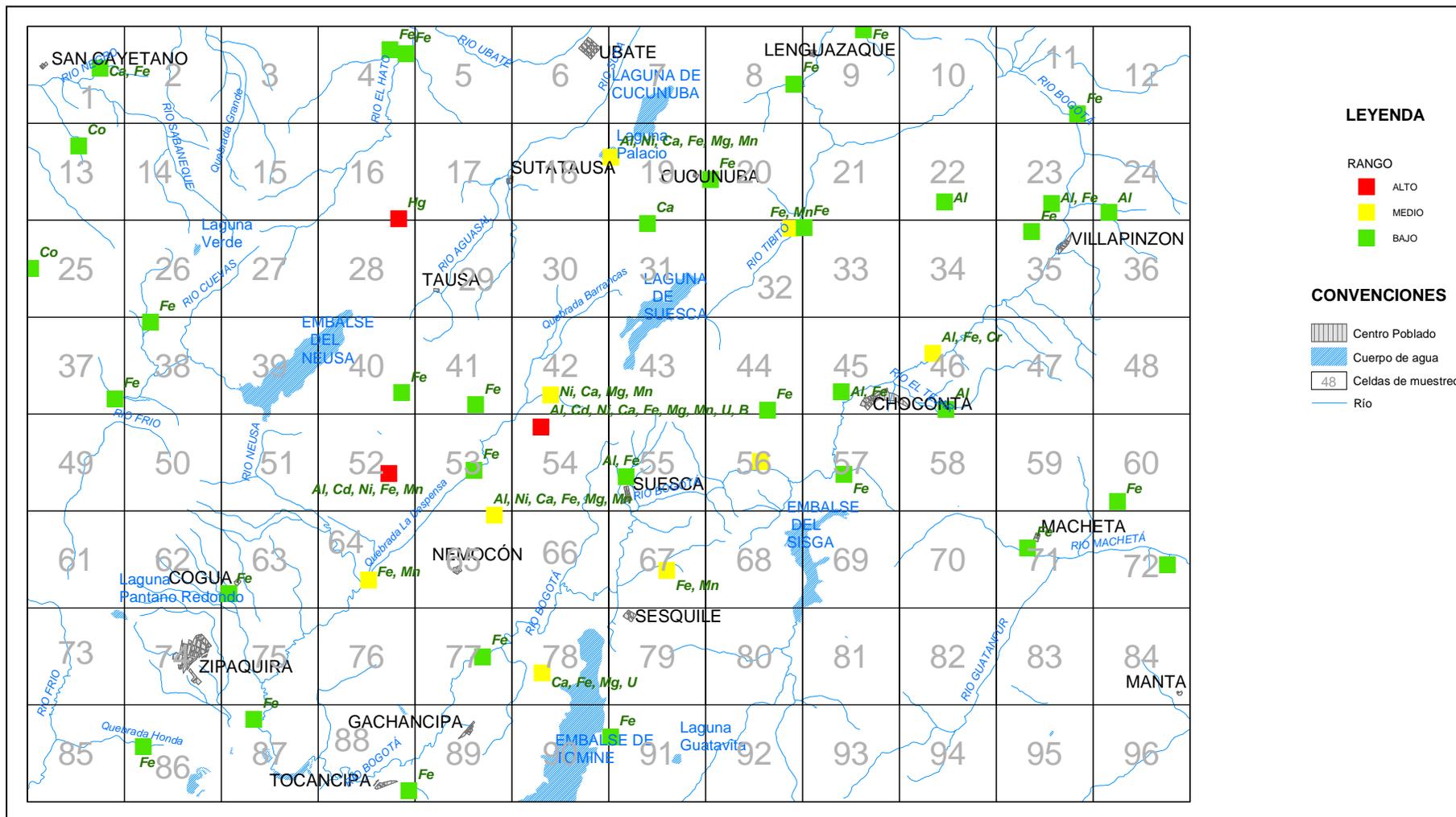
El potencial de hidrógeno debe estar entre 4.5 y 9.0 unidades. Los sitios de muestreo con pH menor a 4.5 son: Q. Palacio, Q. Charco de Nutria, Q. Perico, Q. Chorrillo, Q. Palasaguita y con pH superior a 9.0 Q. Zanja y Q. Media Luna.

### 3.2. 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 suelo son muy variables y sus propiedades se describen en la tabla 2 y se observa su distribución espacial en el mapa de la figura 3.

**Tabla 12. Elementos químicos que superan las concentraciones exigidas por el decreto 475/98**

No. de Celda	Quebrada	Municipio	>VR decreto 475
1	Q. Canutillal	San Cayetano	Ca, Fe
4	Q. El Molino	Carmen de Garupa	Fe
5	Q. El Juncal	Carmen de Garupa	Fe
8	Q. Arenosa	Lenguazaque	Fe
9	Q. Taitiva	Lenguazaque	Fe
11	Q. Mojón	Villapinzón	Fe
13	Q. La Chorrera	San Cayetano	Co
16	Q. El Zarzal	Tausa	Hg
18	Q. Palacio	Sutatausa	Al, Ni, Ca, Fe, Mg, Mn
20	Q. La Toma	Cucunuba	Fe
22	Q. Negra	Villapinzón	Al
23	Q. Sonsa	Villapinzón	Al, Fe
25	R. Yayatá	Pacho	Co
26	Q. Guandoque	Tausa	Fe
31	Q. Zanja	Cucunuba	Ca
32	R. Ovejero	Cucunuba	Fe, Mn
33	Q. Blanca	Choconta	Fe
35	Q. Chigualá	Villapinzón	Fe
36	R. Bogotá	Villapinzón	Al
37	Q. El Pantano	Cogua	Fe
40	Q. Hornillo	Tausa	Fe
41	Q. Rasgatá	Nemocon	Fe
42	Q. La Alberca	Suesca	Ni, Ca, Mg, Mn
44	Q. de June	Choconta	Fe
45	Q. El Ratón	Choconta	Al, Fe
46	Q. Aposentos	Choconta	Al, Fe, Cr
47	R. Tejar	Choconta	Al
52	Q. Chorrillo	Tausa	Al, Cd, Ni, Fe, Mn
53	Río Checua	Tausa	Fe
54	R. Charco de Nutria	Suesca	Al, Cd, Ni, Ca, Fe, Mg, Mn, U, Be
55	Q. La Florida	Suesca	Al, Fe
56	Q. June	Choconta	Al, Fe, Mn
57	Q. Saucio	Choconta	Fe
60	Q. Aguablanca	Macheta	Fe
62	R. Susagua	Cogua	Fe
64	Q. Aposentos	Nemocon	Fe, Mn
65	Q. Perico	Nemocon	Al, Ni, Ca, Fe, Mg, Mn
67	Q. Providencia	Suesca	Fe, Mn
71	Afluente R. Macheta	Macheta	Fe
72	Q. Carbonera	Manta	Al, Fe
77	Río Bogotá	Gachancipa	Fe
78	Q. Salinas	Gachancipa	Ca, Fe, Mg, U
86	Q. El Hueco	Zipaquirá	Fe
87	Río Bogotá	Zipaquirá	Fe
89	Q. Esmeralda	Tocancipa	Fe
91	Q. Chaloche	Sesquilé	Fe



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

**Tabla 13. Elementos de calidad organoléptica USEPA**

<b>Elemento</b>	<b>Concentración microgramos/litro</b>	<b>Muestras por encima de los valores recomendados</b>
Aluminio	200	54, 52, 65, 18, 72, 46, 55, 47, 36, 23, 22, 56.
Calcio	100000	18, 78, 42, 54, 65, 13.
Cobre	1000	
Hierro	300	65, 54, 18, 20, 52, 35, 67, 8, 32, 56, 12, 62, 71, 44, 9, 37, 72, 33, 23, 55, 89, 45, 41, 40, 53, 87, 77, 88, 46, 86, 01, 60, 11, 64, 43, 78, 05, 30, 91, 04, 26, 57, 58, 39, 28, 21, 90, 76, 31, 14, 30, 42, 75, 66, 47, 80, 84, 38, 29, 34, 81.
Manganeso	100	54, 65, 18, 52, 32, 42, 29, 28, 08, 05, 30, 09.
Magnesio	50000	54, 65, 42, 18, 78, 19, 07, 52, 30, 13, 19, 29, 31, 32.
Sodio	200000	
Potasio	10000	28, 65, 88, 42.
Zinc	3000	54

Los diferentes tipos de suelos presentan diversas características las cuales se observan en las muestras en cuanto a color, textura, estructura, humedad, etc., estas propiedades se describen en los formatos de campo y se pueden observar en el anexo fotográfico (1). 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.

### 3.2.1. Análisis Estadístico

El resumen del análisis estadístico univariado para suelos horizonte A se presenta a continuación:

1. El número de datos es de 100 para un cubrimiento total de la plancha con 5 duplicados de celda (2, 8, 43, 63 y 71).
2. El valor mínimo fue menor que el límite de detección para los siguientes elementos: Ag, Au, Ba, Be, Bi, Br, Cs, Cu, Mo, Nd, Ta, Tb. Los elementos con un mínimo superior al límite de detección fueron: Sr, V, Ce, Mn, Zn, La y Cr.
3. Las medidas centrales: el promedio, la mediana y la moda son aproximadamente iguales entre sí para los elementos de Be, Ce, Cr, Cs, Eu, Lu. En los demás elementos en general el promedio es mayor con relación a las otras medidas centrales (mediana y moda), aunque se presentaron varios casos en que el promedio es aproximadamente igual a la mediana. Presentaron mediana similar a la moda (pero las dos menor al promedio) Au, Bi, Hf y Tb.
4. En lo referente a la dispersión de los datos, se toma como referencia la desviación estándar. Los elementos con desviación menor a uno, son: S, P, Ti, Mg, Lu, Na, Ca, Tb, Eu, K, Be, Ta, Ag, U y Fe. Los elementos de muy alta desviación estándar por encima de 50 corresponden a V, Ba y Mn, siendo este último el de mayor desviación estándar (134).
5. La tendencia de la distribución de los datos fue asimétrica positiva y la curva leptocúrtica. La distribución de datos, es normal con curtosis y simetría entre -1, 0 y 1 para los siguientes elementos: Ca, Cr, Hf, P, Rb, S, Ta, Ti e Y.
6. Los valores extremos, presentan diferentes casos: valor umbral (promedio más 2 veces la desviación estándar) mayor al percentil 95 y el caso inverso. Además para los siguientes elementos son coincidentes los dos valores: Ca, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hf, Lu, Mg, Mn, P, Pb, Rb, Sr, Ta, Ti, U e Y.

Para el análisis **estadístico multivariado** se utilizó la correlación paramétrica de Pearson, se obtuvo tres componentes principales que resumen el 85.5% de las variables, las cuales reflejan un alto valor de correlación. El resumen del análisis multivariado se presenta en la **Tabla 14** y la representación espacial de los grupos de elementos se incluye en la **Figura 15**.

A continuación se presenta la interpretación del análisis de cada componente y los grupos de elementos representados en los mapas de la **Figura 15**, aplicando análisis de factores para obtener los grupos más representativos: coeficiente de correlación mayor a 0.75 y porcentaje de explicación mayor al 75%, que son los presentados en mapas geoespaciales.

**COMPONENTE 1:** Al realizar el análisis por factores se obtienen cuatro, los cuales espacialmente representan distribuciones relativamente semejantes, lo cual explica la constitución de esta componente. Estos factores están conformados así:

F1: Al, Ce, Eu, La, Nd, Sm, Tb, Th, U, Y. Para este factor se obtuvo el mapa del Ce, Eu, La, Nd, Sm y Th, los cuales cumplen los requerimientos de correlación y explicación para su

**Tabla 14. Análisis estadístico multivariado en suelos**

COMPO-NENTE	COEFICI-ENTE	ELEMENTOS	FACTOR	GRUPO-MAPA	Figura 15
1	0.75 a 0.99	Be, Ce, Eu, K, La, Nd, Ni, Rb, Sc, Sm.	F1: Ce, Eu, La, Nd, Sm, Tb, Th, U, Y. F2: -(Al, As, Cr, Mo, V). F3: -(Co, Cu, Ni, Sc, Zn).	Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th.	15,1
	0.50 a 0.74	Al, As, Co, Cr, Cu, Mo, Tb, Th, U, V, Y, Zn.	F4: Ba, Be, K, Rb.	As, Cr, V Co, Cu, Ni, Sc. Be, K, Rb	15,2 15,3 15,4
2	0.50 a 0.74	As, Cu, Mo, Sb, V	As, Cu, Mo, <b>Sb</b> , V	Muy bajos para ser representados:	
3	0.50 a 0.74	Br, Ca, Mg, P	Br, Ca, <b>Mg</b> , P	Muy bajos para ser representados	
Otras	0.50 a 0.74	Ti (componente 4), U e Yb (componente 5).			

*Nota : Los elementos que se repiten corresponden a factores aproximadamente iguales por lo que deben ser analizados en las dos componentes para establecer con cuales mejora su asociación.*

representación. Este grupo en general corresponde a las tierras raras cuyos elementos geoquímicamente están relacionados. En el mapa (**Figura 15.1**) se observan los contenidos más altos al NW en San Cayetano, al SW por Zipaquirá y al SE entre Manta y Macheta, al parecer se encuentran relacionadas con presencia de unidades litológicas cretácicas de origen marino.

F2: (Al, As, Cr, Mo, V). Los elementos con mejor correlación y explicación fueron el As, Cr y V, en el mapa (**Figura 15.2**) se observan altos contenidos al NE por San Cayetano, al SW por Zipaquirá, al N por Lenguaque y al SE por Macheta, para los cuales se consideran dos fuentes: una de origen geológico (San Cayetano, Macheta y Zipaquirá) y el otro de origen antrópico por la zona agroindustrial ubicada entre Cogua y Ubaté (es probable que el alto contenido en Zipaquirá se deba a lo mismo).

F3: (Co, Cu, Ni, Sc, Zn). El grupo de elementos representado finalmente en el mapa es Co, Cu, Ni (**Figura 15.3**). Se encuentran los contenidos altos al E, una franja NE (San Cayetano) a SW (Zipaquirá) y al SE (Macheta-Manta), también se consideran dos orígenes uno de nuevo por las unidades litológicas cretácicas de origen marino y el otro por la actividad minera del carbón, específicamente en la región de Lenguaque.

F4: Ba, Be, K, Rb. El grupo finalmente representado es Be, K, y Rb (**Figura 15.4**), teniendo mayor afinidad en el grupo, el Be que el Ba. La distribución espacial de contenidos altos es similar a las anteriores, resaltando de nuevo los límites W (San Cayetano) y SE (Macheta-Manta), probablemente originados por los shales del cretácico inferior, presentes en esta zona.  
**COMPONENTE 2.** As, Cu, Mo, Sb, V, Br, Ca, Mg, P y **COMPONENTE 3.** Br, Ca, Mg, P.

Esta asociación de elementos presenta factores de correlación adecuados para considerarlos relacionados geoquímicamente entre sí, pero el coeficiente de explicación se encuentra por debajo del 75%, por lo tanto, no deben ser representados en un mapa. Cabe anotar que para la componente 2 el elemento de mayor factor de correlación con los demás es el Sb y en la componente 3 el Mg.

Al comparar estadísticamente las concentraciones de elementos en diferentes puntos de muestreo de suelos, se encuentran sitios con **contenidos extremos** o altos, los cuales se presentan en la **Tabla 15** y su distribución puntual en el mapa de la **Figura 16**. Algunos suelos presentaron uno o más elementos con valores extremos o anómalos, hacia el W elementos como Pb, As, Fe, Cu, Br; en la franja central Ubaté-Tocancipa Br y Sb y hacia el E algunas tierras raras y radioactivos como Ce, La, Yb, Nd, Th. Se destaca el sitio de la Celda 25 con elementos básicos como As, Cu y Mo, entre otros.

### 3.2.2. Interpretación geoquímica

#### Calidad ambiental de los suelos

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

El 77% de los suelos estudiados en la plancha 209 Zipaquirá no superan los valores de referencia de fitotoxicidad dado para los elementos químicos en suelos dedicados a la agricultura. El 23% superan las concentraciones especialmente para vanadio, cadmio y zinc. Los





### Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para suelos

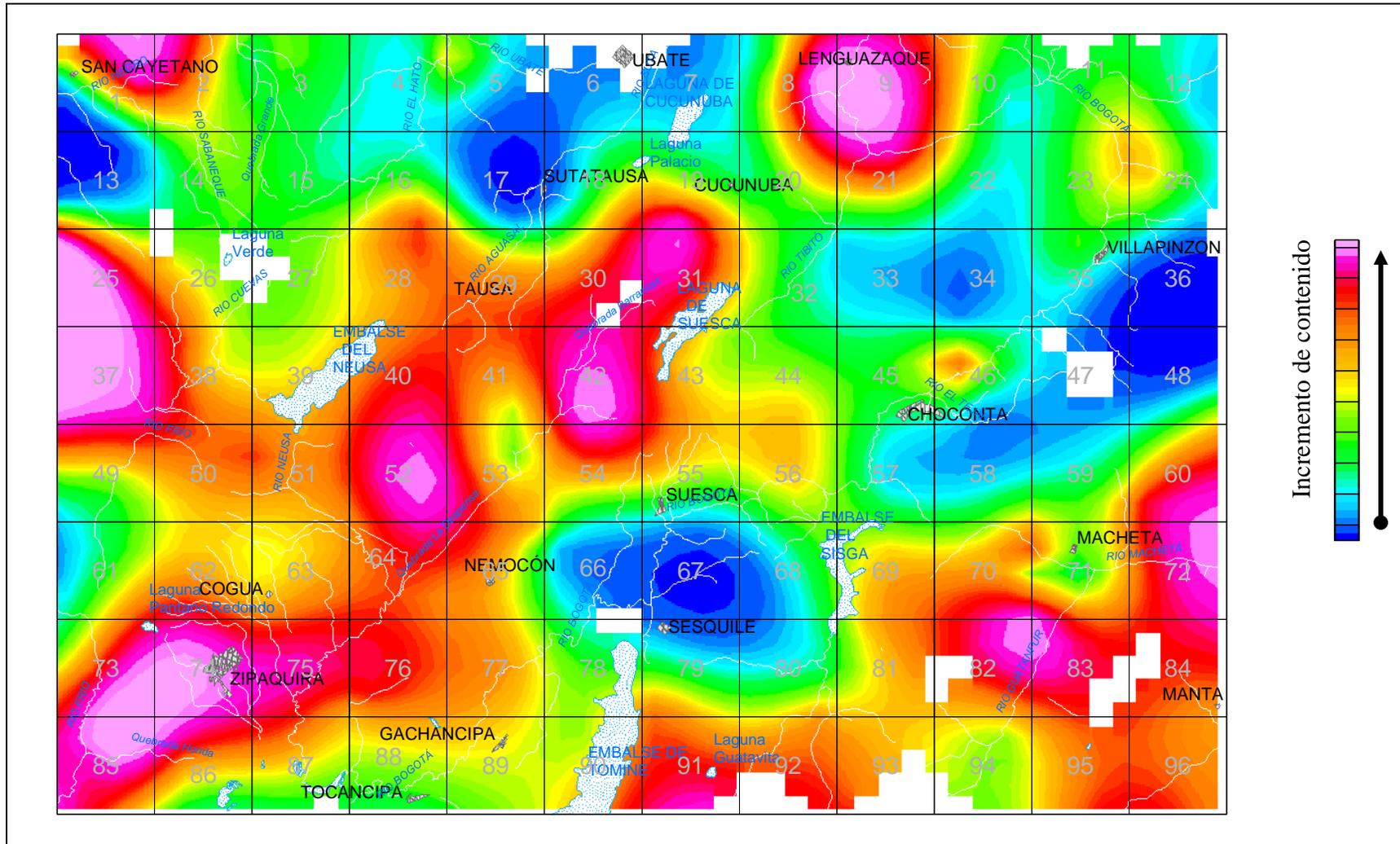


Figura 15.3. Co, Cu, Ni, Sc.



**Tabla 15. Sitios de muestreo con valores extremos en suelos**

No. de Celda	Quebrada	SUELOS
2	Q. Seca	Br
5	Q. El Juncal	Yb
8	Q. Arenosa	Cu, Ni
9	Q. Taitiva	Sb
13	Q. La Chorrera	Pb
16	Q. El Zarzal	Br
19	Q. El Volcán	Bi
25	R. Yayatá	Al, As, Co, Cs, Cu, Mo, Na, Ni, Sb, U, V.
27	R. El Hato	B
36	R. Bogotá	Bi, Yb.
37	Q. El Pantano	As, Fe.
38	Q. La Viuda	Fe, Pb
41	Q. Rasgatá	Sb
44	Q. de June	Au
50	Q. Honda	Br
54	R. Charco de Nutria	Br
63	Q. Ojo de Agua	Br
64	Q. Aposentos	Br
74	Río Negro	As, Ba, K.
76	Río Neusa (Vallao)	Sb
78	Q. Salinas	Sr
79	Q. Turbia - Q. Clara	Au
82	Q. El Chirma	Ce, La, Th.
83	Q. Corradillas	Eu, Nd, Th.
84	Q. Las Quebraditas	Lu
85DC	Q. Puente	Cu, Ni.
92	Afluente R. Sisga	Br
93	Q. La Granadilla	Ag, Br

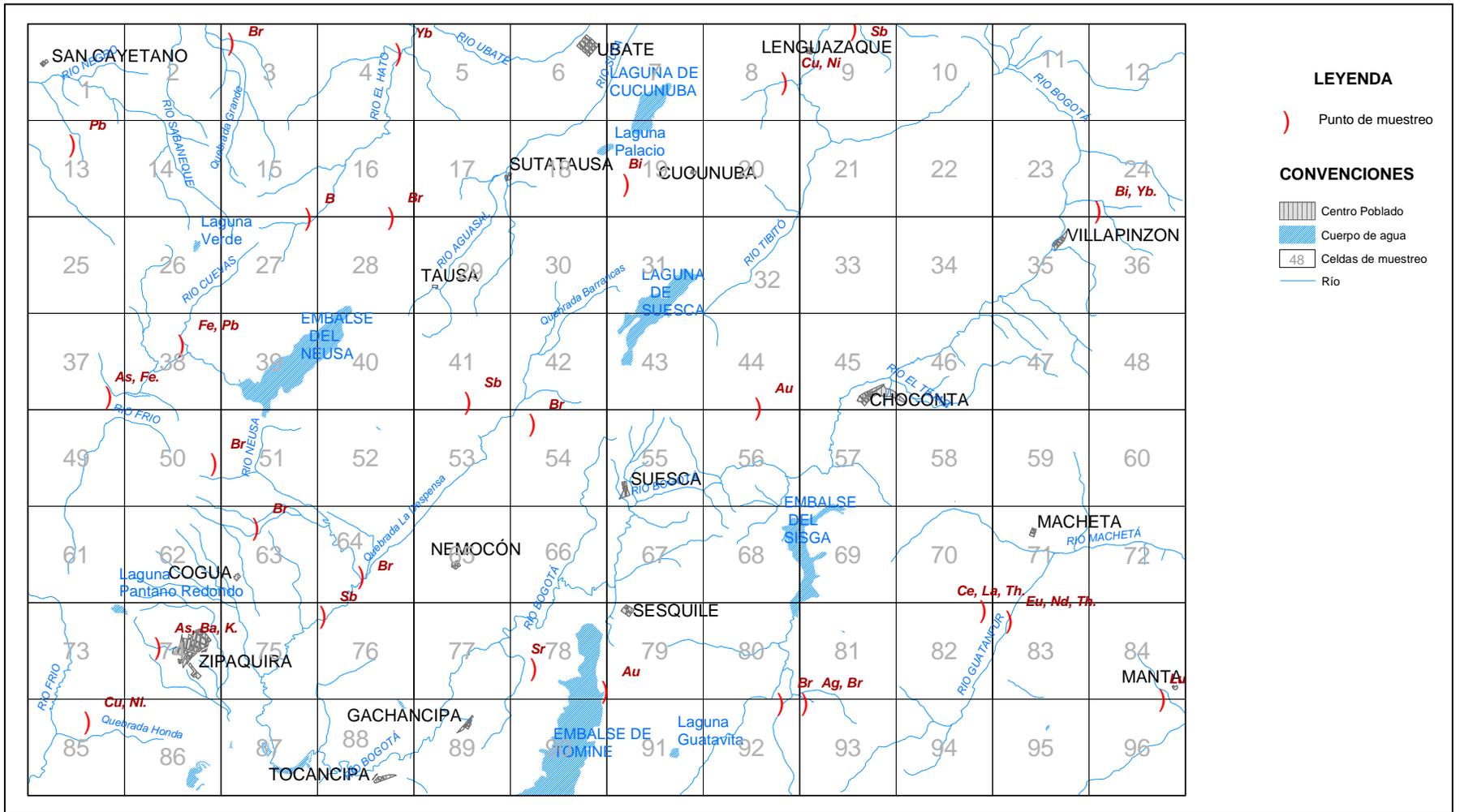


Figura 16. Valores extremos en suelos

**Tabla 16. Valores de referencia para elementos químicos considerados como litotóxicos en suelos dedicados a la agricultura**

No. de Celda	Quebrada	Municipio	> VROM Suelos
1	Q. Canutillal	San Cayetano	Cr, Mo, V, Zn
8	Q. Arenosa	Lenguazaque	Cu, Mo, V, Zn
9	Q. Taitiva	Lenguazaque	V
18	Q. Palacio	Sutatausa	Pb
21	Q. Farasia	Lenguazaque	V
25	R. Yayatá	Pacho	Cu, Cd, Cr, As, Mo, Ni, V, Zn
26	Q. Guandoque	Tausa	Cd
31	Q. Zanja	Cucunuba	V
37	Q. El Pantano	Cogua	V
40	Q. Hornillo	Tausa	V
41	Q. Rasgatá	Nemocon	V
48	Q. Tocola	Choconta	V
52	Q. Chorrillo	Tausa	Cd, V
53	Río Checua	Tausa	Cd
60	Q. Aguablanca	Macheta	V
63	Q. Ojo de Agua	Cogua	V, Cd
72	Q. Carbonera	Manta	Zn
76	Río Neusa (Vallao)	Zipaquira	V
79	Q. Turbia - Q. Clara	Sesquilé	V, Cd
82	Q. El Chirma	Choconta	Cd
85	Q. Honda	Zipaquira	V
93	Q. La Granadilla	Sesquilé	V

Valores de referencia utilizados para cada elemento:

As	29
B	25
Be	10

Cd	0.8
Co	50
Cr	100

Cu	50*
Hg	2
Mn	1500

Mo	5 a 10
Ni	50*
Pb	85

Sb	5
Se	10
Tl	1
V	150

*Kabata y Pendia (1992) y V Rom*

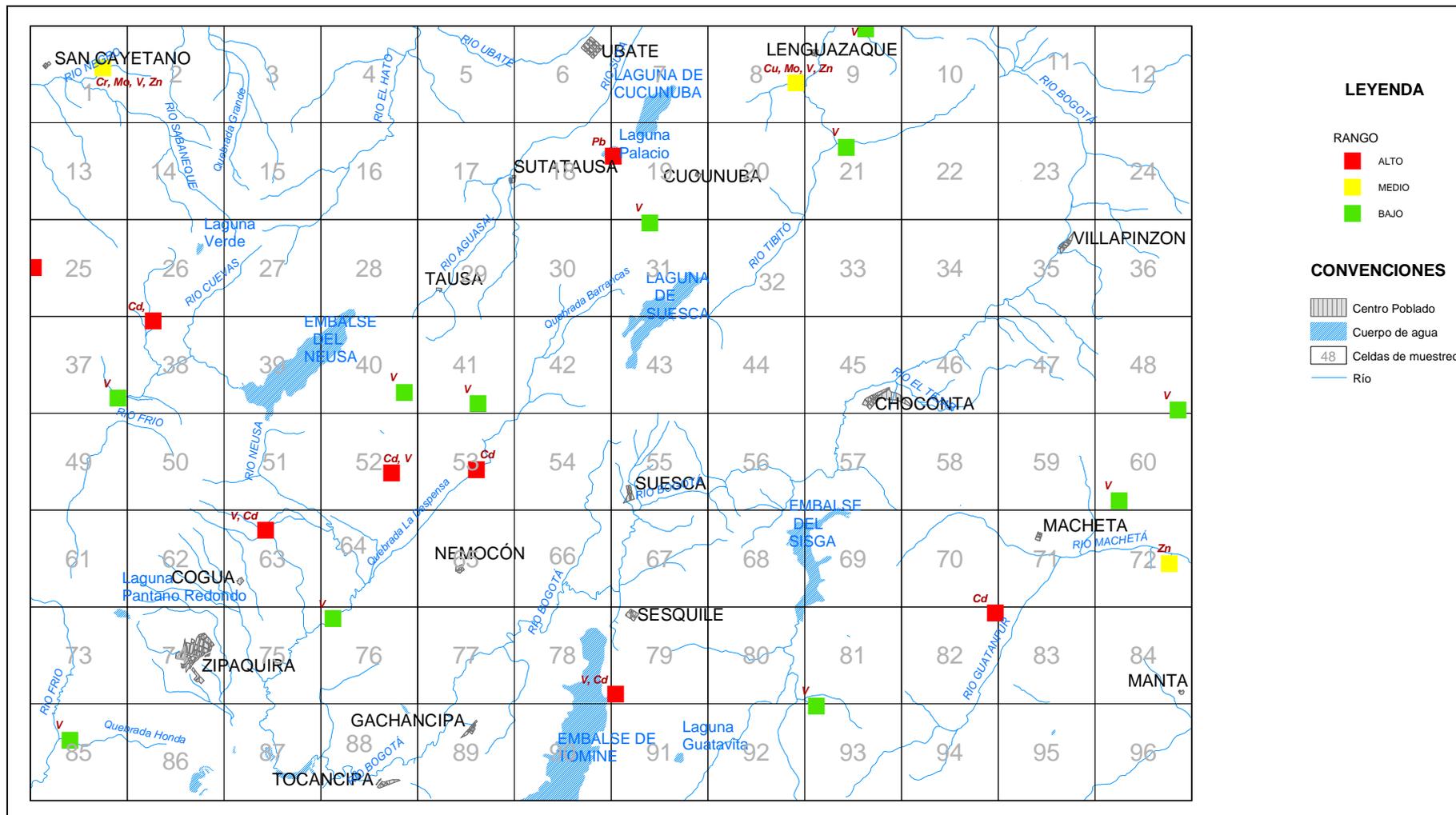


Figura 17. Calidad ambiental de suelos

suelos de las cuencas de las quebradas Canutillal (1), Arenosa (8) y el río Yayatá (25), tienen el mayor número de elementos químicos que superan los valores de referencia.

#### 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. En la plancha 209 Zipaquirá la mayoría de los suelos de las cuencas estudiadas están dedicadas a la agricultura. El contenido de los elementos químicos reportados son totales, por lo tanto no representan exactamente la fracción del elemento biodisponible para la planta. Para la interpretación de la fertilidad de los suelos se compara 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) **Tabla 17**, que permite establecer cuáles elementos en los suelos se encuentran enriquecidos y cuáles están en niveles bajos de concentración.

Los elementos químicos más abundantes desde el punto de vista de la fertilidad en la plancha 209 Zipaquirá son fósforo, magnesio, y hierro, que se presentan en concentraciones apropiadas en más del 88% de los suelos de las cuencas estudiadas.

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

### 3.3. SEDIMENTOS ACTIVOS

Debido a las características del área de estudio se presentan 2 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 Ubate no fue posible recolectar este tipo de muestras.

#### 3.3.1. Análisis Estadístico

El resumen del análisis estadístico univariado para sedimentos activos se presenta a continuación:

1. El número de datos es de 97, para un cubrimiento total de la plancha con dos duplicados de celda (8 y 71 DC).
2. El mínimo, fue menor que el límite de detección para los elementos: Ag, Au, Ba, Be, Co, Cs, Cu, Mo, Nd, Ni, P, Pb, Rb, Ta, Tb, Y
3. Las medidas centrales: El promedio, la mediana y la moda son aproximadamente iguales entre sí para los elementos: Ag, Be, Cd, Lu, Nd, U e Yb. El promedio es mayor con relación a las otras medidas centrales (media y moda) para Ag, Br, Co, Cs, Cu, Fe, Hf, La, Mo, Sb. El Sc y el Ce tienen promedio similar a la moda. Para Au, Bi, Hf y Tb, la mediana es similar a la moda, pero estas dos son menores que el promedio.
4. En lo referente a la dispersión de los datos, los elementos con desviación menor a uno son: P, Ti, Na, Mg, Lu, Eu, Tb, K, Ca, Ta, U, Be. Los elementos de muy alta desviación estándar por encima de 50 corresponden al V, Zn, Ba y Mn, este último es el de mayor desviación estándar (341).

**Tabla 17. Rango en el contenido de elementos para fertilidad**

Elemento	*Promedio de concentración	Celdas que no superan contenido de fertilidad
P	0,02%	33, 90, 58, 71, 08, 30, 29, 63DC, 4, 19, 54.
K	0,80%	Sobre el límite: 89
Ca	0,54%	Sobre el límite: 47
Mg	0,14%	
Na	0,70%	66, 57, 22, 34, 59, 80, 47, 70, 32, 84
Fe	1,36%	17, 33, 66, 19, 4
Cu	35 mg/kg	<i>La mayoría excepto: 31, 37, 74, 85DC, 08, 25</i>
Mn	674 mg/kg	<i>La mayoría excepto: 25, 95.</i>
Mo	22 mg/kg	<i>La mayoría excepto: 25.</i>
Zn	79 mg/kg	<i>Excepto: 61, 38, 49, 52, 59, 42, 18, 17, 60, 83, 31, 95, 78, 87, 85, 13, 62, 37, 85DC, 75, 72, 26, 1, 08, 25, 74.</i>

\* A partir del promedio de concentración de elementos químicos en el suelo dedicados a la agricultura, Connor y Shacklette, 1976.

5. La tendencia, para la mayoría de los resultados se presenta una distribución asimétrica positiva y curva leptocúrtica. Los elementos con distribución normal (es decir, con curtosis y simetría menores que 2) son los siguientes: Eu, Hf, K, Lu, Nd, P, Rb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, U, V, Yb, siendo platicúrticos el Eu, Sc, Ta, Tb y con asimetría negativa solo para el U.
6. Los valores extremos, La mayoría de los elementos presentan un percentil 95 similar al valor umbral, es mayor este último al percentil 95, en los siguientes elementos: Ag, As, Au, Ca, Cd, Cr, Fe, Pb, Sb, Zn.

Para el **análisis estadístico multivariado** se utilizó la correlación paramétrica de Pearson, se obtuvo tres componentes principales que resumen el 67% de las variables o elementos químicos, reflejando entre sí el alto factor de correlación. El resumen del proceso: componente, factores y grupos de elementos se presenta en la **Tabla 18** y su representación espacial se observa en la **Figura 18**.

**COMPONENTE 1.** Al realizar el análisis por factores se obtienen dos grupos conformados por los siguientes elementos: Factor 1 Be, Ce, Cs, K, La, Nd, Rb, Sm, Th, U y Factor 2 Al, Ba, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Y, Sc, Sr, Ti, V, Zn. Se puede definir afinidad geoquímica entre sí para los elementos que conforman estos factores, el primero corresponde a elementos de las tierras raras y radioactivos y el segundo por elementos básicos.

De estos factores se definieron dos grupos para representación en un mapa espacial con los coeficientes por encima de 0.75 y un porcentaje de explicación mayor al 75%. La distribución espacial de estos dos grupos, mapa de la **Figura 18.1**, es similar en cuanto a los altos contenidos al NW y W (San Cayetano) y al SE extendiéndose hasta Manta y Macheta; en la franja central de N a S (Lenguazaque a Zipaquirá, respectivamente), muestra un mayor incremento en el contenido para los elementos que conforman los elementos del mapa de la **Figura 18.2** (Cu, Ni, V, Sc), especialmente para el sector entre el Embalse del Neusa y la Laguna de Suesca (al sur de Ubaté), debido probablemente a la actividad minera del carbón.

**COMPONENTE 2.** Yb, Hf, Lu, Ta.

De estos factores se definieron dos grupos para representación en un mapa espacial con los coeficientes por encima de 0.75 y un porcentaje de explicación mayor al 75%. Se define como grupo para la representación espacial la asociación del Lu e Yb, este mapa **Figura 18.3** resalta como el valor más alto al SE entre Macheta y Manta.

**COMPONENTE 3.** Ag, As, Pb, Sb.

Se define un solo factor, pero los coeficientes de correlación de la Ag y el Pb entre sí son bajos, por lo tanto se descartan en la representación espacial y se obtiene para el par As-Sb un alto coeficiente de correlación (0.93) y un porcentaje de explicación del 87% (**Figura 18.4**). Se resalta el alto contenido de estos elementos en la franja N a S (Lenguazaque a Zipaquirá, respectivamente) la cual coincide con la zona de actividad minera del carbón, con incrementos en el contenido en los límites del área de estudio W y SE.

#### **OTRAS COMPONENTES:**

La componente 4 define el par Ba-Cd, esta es descartada por sus bajos coeficientes de correlación y porcentaje de explicación.

**Tabla 18. Análisis estadístico multivariado en sedimentos activos.**

COMPONENTE	COEFICIENTE	ELEMENTOS	FACTOR	GRUPO-MAPA	Figura 18
1	0.75 a 0.99	Al, Ce, Cr, Cs, Eu, K, Nd, Rb, Sc, Sm.	F1: Be, Ce, Cs, Eu, K, La, Nd, Rb, Sm, Th, U.	Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th.	18,1
	0.50 a 0.74	Ba, Be, Cu, La, Ni, Se, Th, Tl, U, V, Y, Zn	F2: Al, Ba, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Sc, Sr, Ti, V, Y, Zn.	Cu, Ni, V, Sc	18,2
2	0.75 a 0.99	-(Yb)	F2: Hf, Lu, Ta, Yb	Lu, Yb.	18,3
	0.50 a 0.74	-(Ce, Hf, La, Lu, Ta, Th)			
3	0.75 a 0.99	Ag	F1: Ag, As, Pb, Sb	As, Sb	18,4
	0.50 a 0.74	As, Pb, Sb			
Otras		-Ba, Cd (comp. 4); -(Fe, S) comp. 5.	F1: Fe, S	Fe, S	18,5

*Nota: Los elementos que se repiten corresponden a factores aproximadamente iguales por lo que deben ser analizados en las dos componentes para establecer con cuales mejora su asociación.*

Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para sedimentos activos

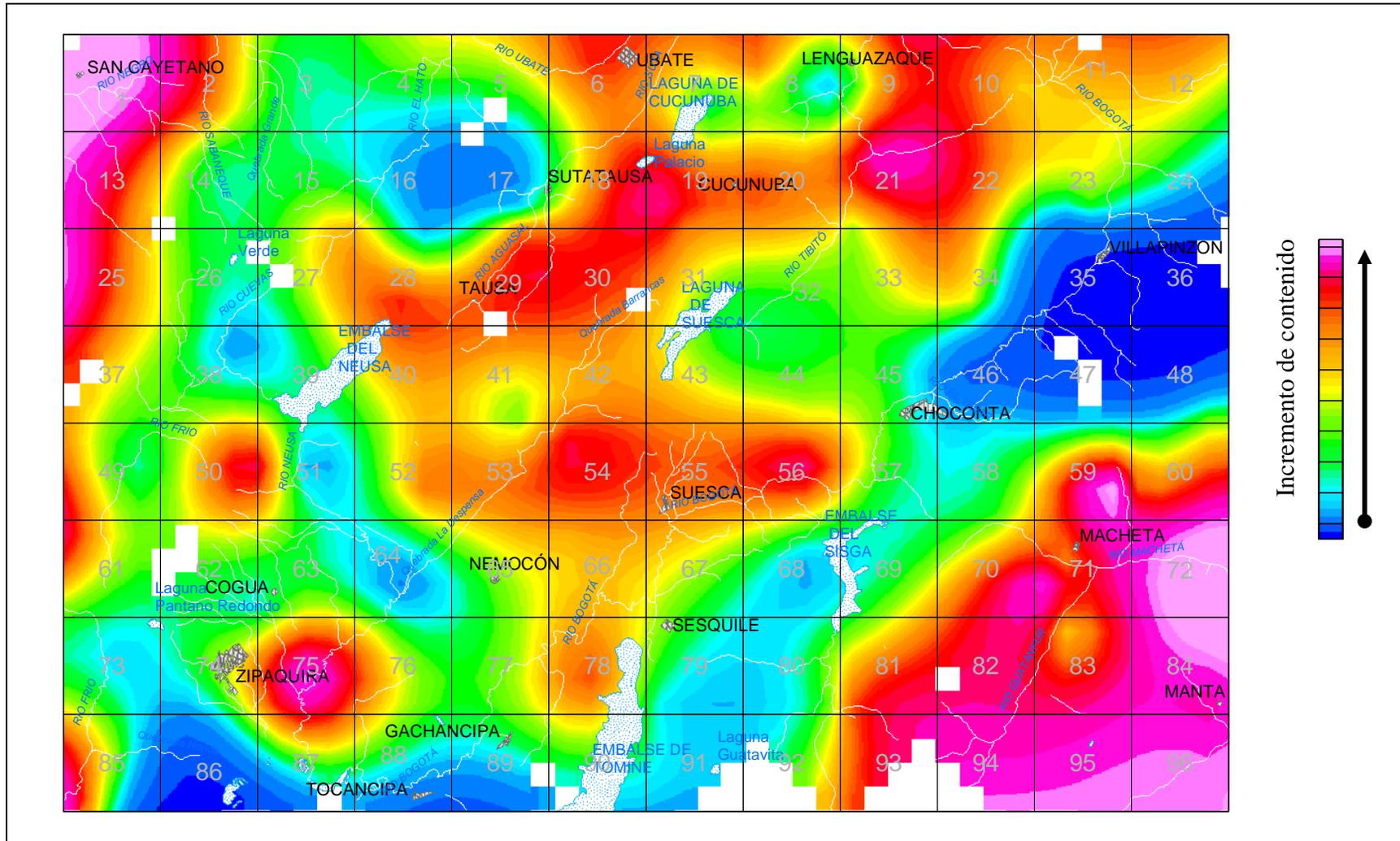


Figura 18.1. Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th.

Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para sedimentos activos

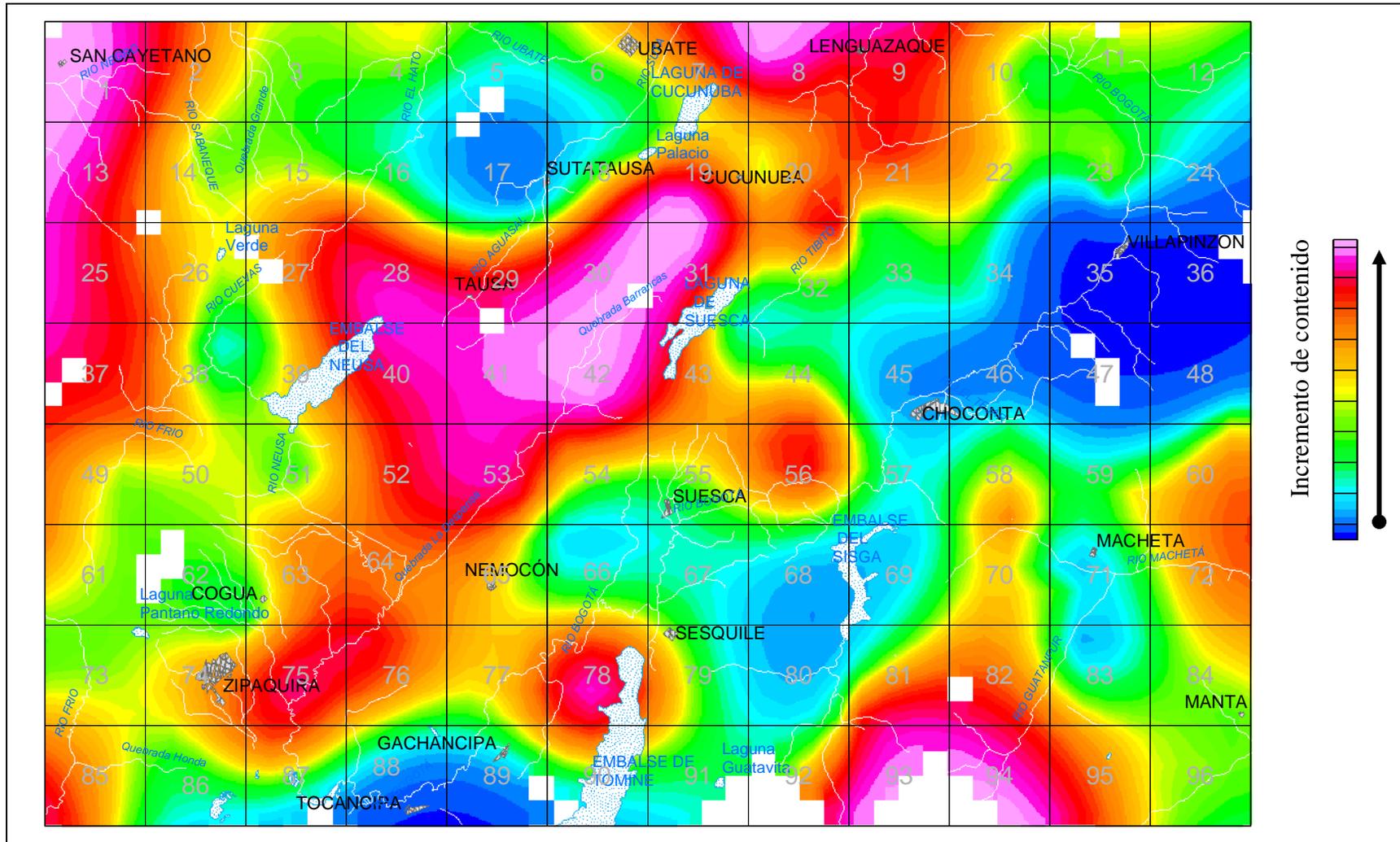


Figura 18.2. Cu, Ni, V, Sc

Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para sedimentos activos

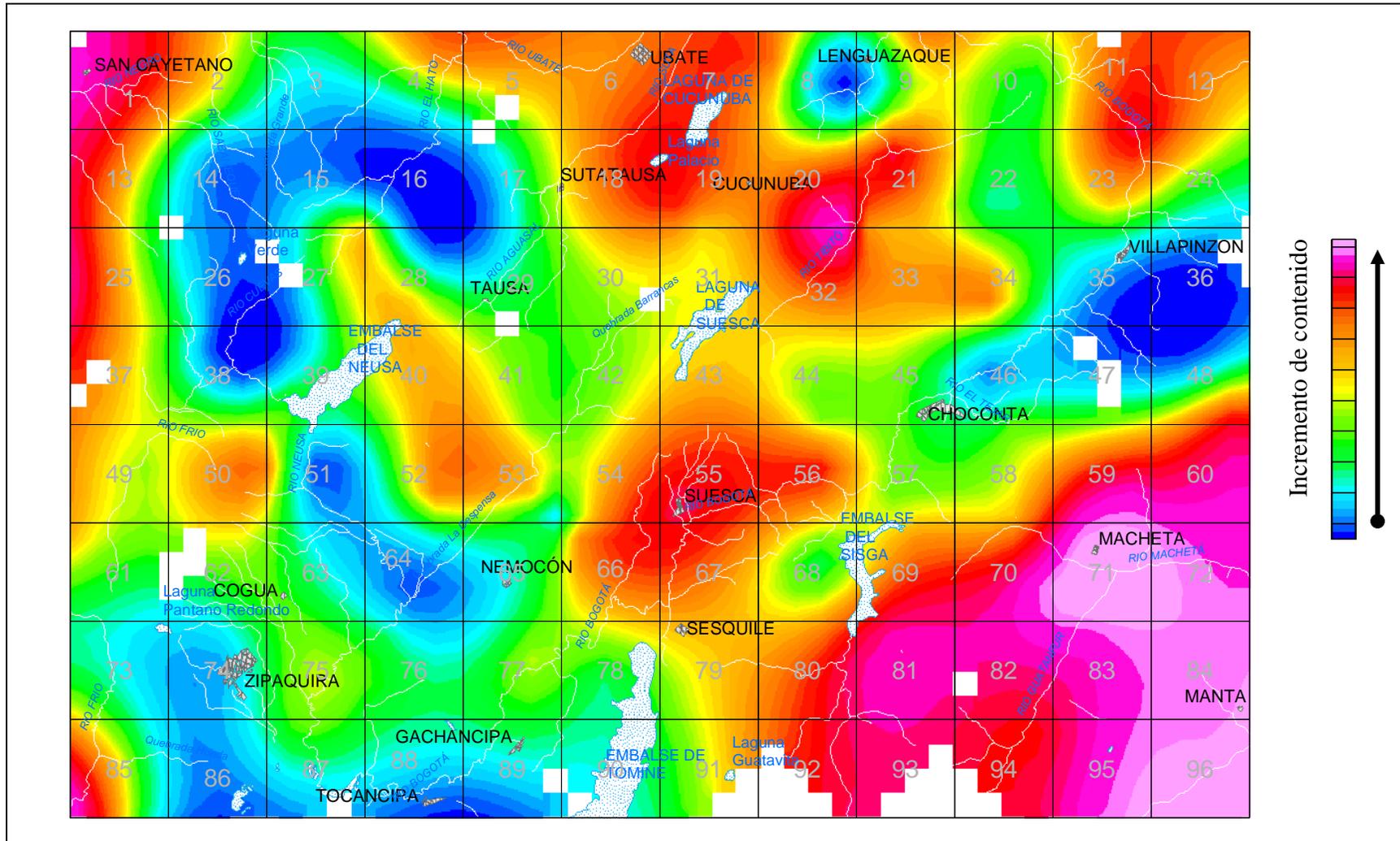


Figura 18.3. Lu, Yb



Distribución espacial de las asociaciones de elementos químicos para sedimentos activos

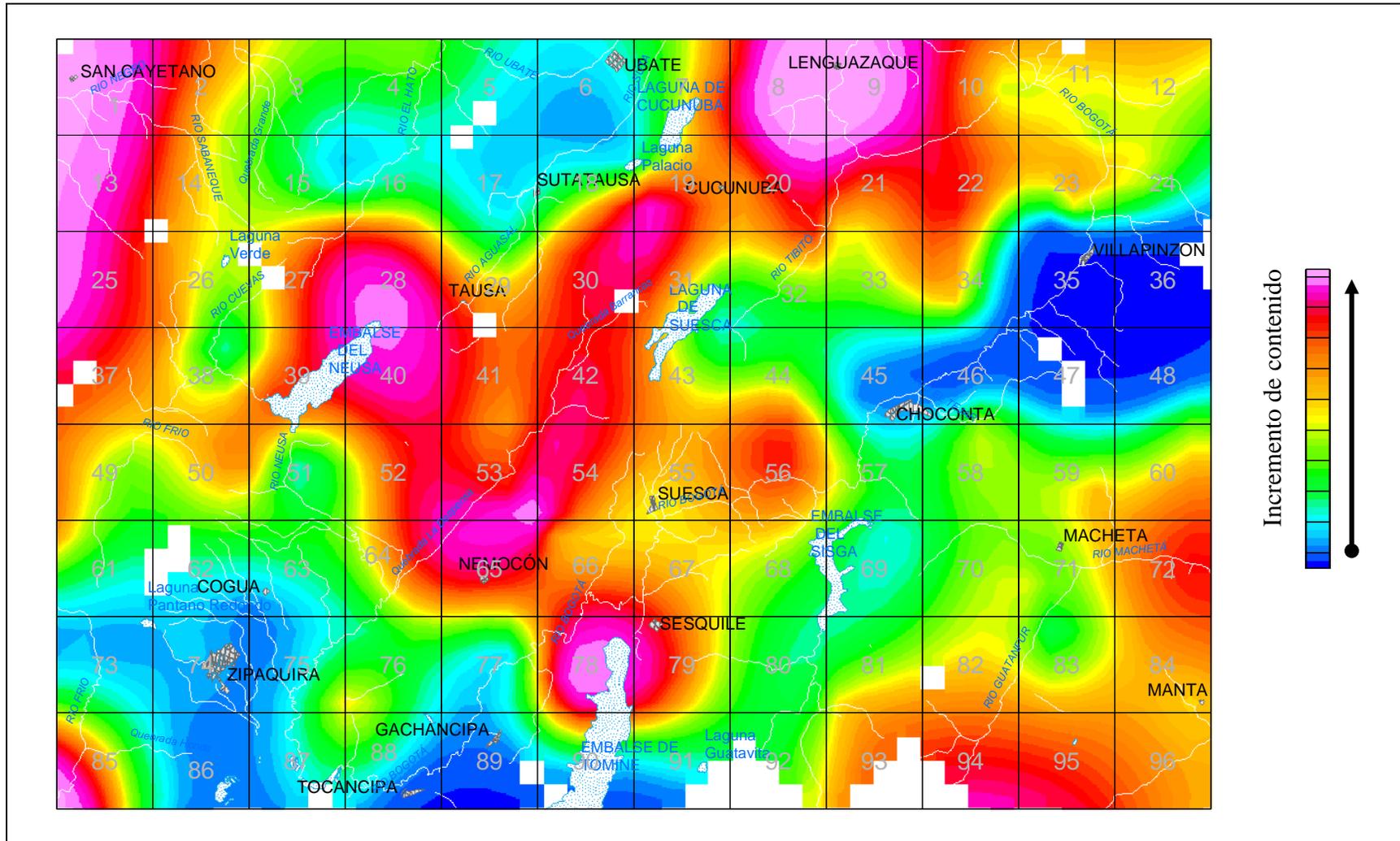


Figura 18.5. Fe, S

La componente 5 establece alta correlación (0.96) para el Fe-S, también con alto porcentaje de explicación (91%) que permite ser representado espacialmente (**Figura 18.5**). Se observa un alto contenido entre Lenguazaque, Embalse del Neusa, Laguna de Suesca y Sesquile, asociado probablemente a la actividad minera del carbón, también con incrementos en el contenido, en los límites del área de estudio W y SE.

Los sitios de muestreo con *valores extremos estadísticamente* (por encima del percentil 95), se resumen en la **Tabla 19** y su distribución puntual se indica 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 sureste (Zipaquirá) Ag, Ba, Ce, Cu, La, posiblemente por diapiroclitismo de sal y al SE (Macheta-Manta) Ce, Au, Hf, por los shales de la formación Chipaque.

### 3.3.2. Interpretación geoquímica

#### *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 tiene en cuenta los valores de referencia de estos elementos reportados por Turekian y Wedepohl (1961) en *shales* y McLennan (2000). En la **Tabla 20**, aparecen los nombres de las cuencas, el número de la celda y los elementos químicos 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 cantidad las concentraciones sugeridas por Turekian y Wedepohl (1961), en las 95 cuencas muestreadas, en la plancha 209 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 calcófilos, cadmio, cinc y plomo son considerados como muy tóxicos y accesibles (Förstner – Wittman 1975).

La mayoría de las cuencas, que presentaron el mayor número de elementos químicos que superan los valores recomendados para los *shales*, se encuentran entre los anticlinales de Zipaquirá y de Suesca. Los cuales están conformados especialmente por: aluvión y coluvión, con arcilla limosa lacustre y fluvial, depósitos glaciales y terrazas de material no consolidado; el Grupo Guadalupe compuesto por areniscas cuarzosas, limolita, arcilla y caliza; la Formación Bogotá formado por lodolita, arcilla limosa y capas delgadas de carbón y la Formación Chipaque con arcillolitas grises, limolitas y mantos de carbón.

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 (9), Zanja (31), Salinas (78) y ríos Neusa (75) y Las Juntas (28).

Los mayores factores de enriquecimiento, que resultan de comparar la concentración del elemento en la celda con el valor tomado como referencia, se presentaron para cadmio 43, en la cuenca del río Yayatá y 27, 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 Chipaque y Guadalupe.

**Tabla 19. Sitios de muestreo con valores extremos en sedimentos activos**

No. de Celda	Quebrada	SEDIMENTOS
1	Q. Canutillal	Ca, Mn, Mo, S
8	Q. Arenosa	As
8DC	Q. Palcaguita	Fe, Sb
9	Q. Taitiva	Al, Co, S
13	Q. La Chorrera	Ca, Mo, S
14	Q. Sabaneque	Cd
16	Q. El Zarzal	Br
19	Q. El Volcán	Al, Ba, Mg, Mn, S
21	Q. Farasia	Al
24	Q. Piedra Gorda	Al
25	R. Yayatá	Cd, Cs, Mo, S, Sb, Zn.
26	Q. Guandoque	Cd
27	R. El Hato	Cd, Co, Zn.
28	R. Las Juntas	Be, Br, Co, Mn, Ni, S, Zn
31	Q. Zanja	Ba, Co, Sb.
37	Q. El Pantano	Na
38	Q. La Viuda	Cd
40	Q. Hornillo	Mn
41	Q. Rasgatá	Sb
51	Q. Arboloco	Cd
54	R. Charco de Nutria	S
58	Q. Napoles	Au
59	Q. Don Alonso	Ce
63	Q. Ojo de Agua	Br, Mn
71	Afluente R. Macheta	Au, Hf
72	Q. Carbonera	Ce
75	Río Neusa	Ag, Ba, Ce, Cu, La.
77	Río Bogotá	Au, Cr.
78	Q. Salinas	Ag, As, Au, Ca, Cs, Cu, Na, Pb, S, Sb.

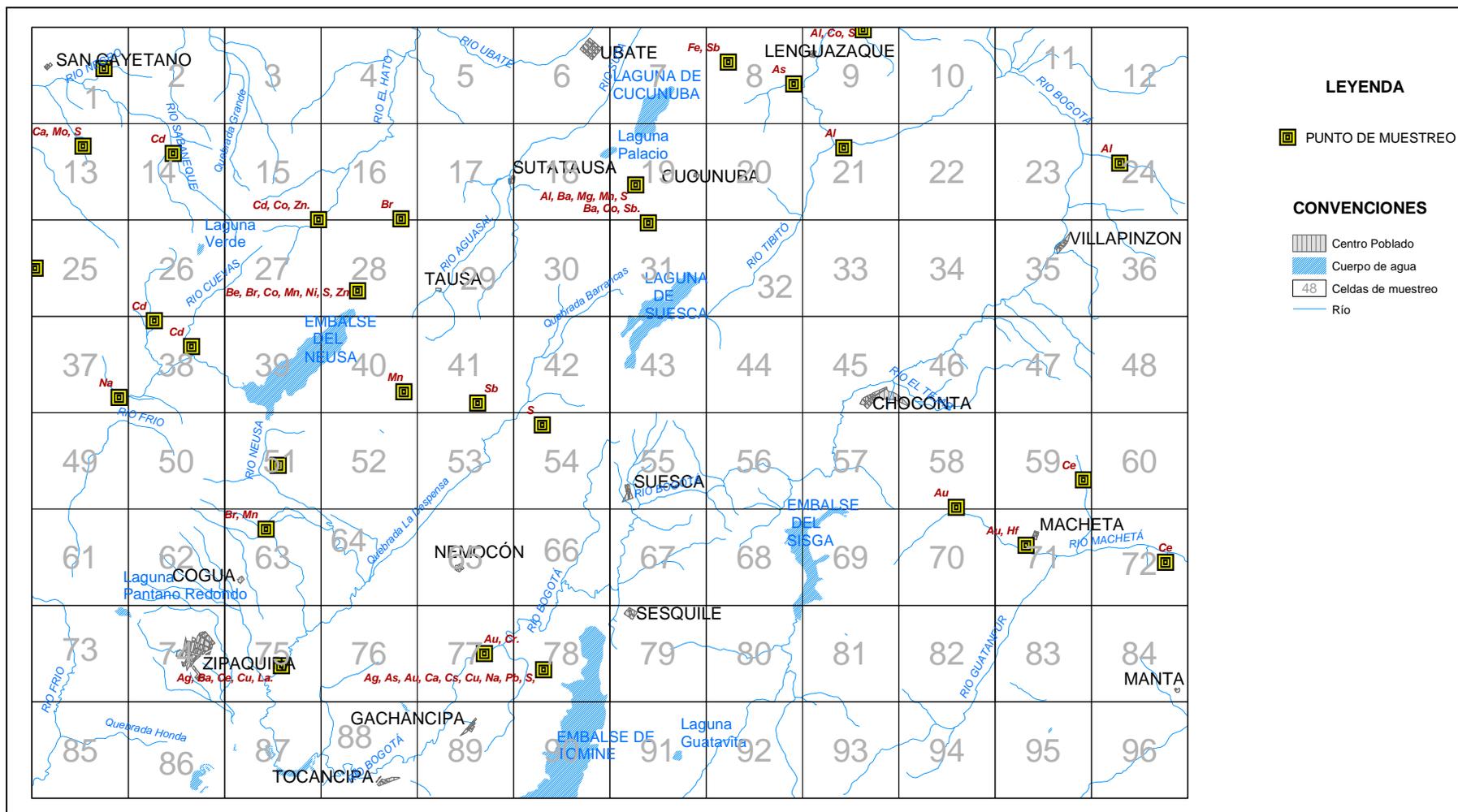


Figura 19. Valores extremos en sedimentos activos

**TABLA 20. Elementos químicos que superan las concentraciones en shales**

No. de Celda	Quebrada	>Shale
1	Q. Canutillal	Cd, Ce, Ca, Fe, Mo, Mn, Zn
2	Q. Seca	Cd, Mo, Pb, Zn
3	Q. El Espejo	Cd, Mo, Al, V, Zn
4	Q. El Molino	Cd, V, Zn
5	Q. El Juncal	Cd, Zn
6	Q. Negra	Cd, Pb, Zn
7	Q. Media Luna	Cd, Co, Zn
8	Q. Arenosa	As, Cd, Cr, Ba, Mo, Fe, Sb, V
9	Q. Taitiva	Al, Co, Cd, Fe, Mo, Mn, Zn, V
10	Afluente R. Tibita	Cd, Mo, Pb
11	Q. Mojón	Cd, Mo, Pb
12	Q. La Joya	Cd
13	Q. La Chorrera	Ca, Cd, Mo, Pb, Zn
14	Q. Sabaneque	Cd, Pb, Zn
15	Q. El Cajón	Cd, Mo, Zn
16	Q. El Zarzal	Cd,
17	Q. Aguaclara	Cd
18	Q. Palacio	Cd, Mo, Pb, V
19	Q. El Volcán	Al, Co, Ba, Fe, Mn, V, Zr
20	Q. La Toma	Cd
21	Q. Farasia	Cd, Ce, Al, V
22	Q. Negra	Cd, Mo, Pb
23	Q. Sonsa	Cd, Mo
24	Q. Piedra Gorda	Cd, Mo
25	R. Yayatá	As, Be, Cd, Al, Fe, Mo, Mn, Sb, Rb, Zr
26	Q. Guandoque	Cd, Pb, Zn
27	R. El Hato	Cd, Co, Mo, Mn, Zn
28	R. Las Juntas	Be, Co, Cd, Mo, Mn, Pb, Ni, Zn, Fe
29	R. Aguasal	Be, Cd, Pb, Zn
30	Q. El Cajón	Cd, Mo, V, Zn
31	Q. Zanja	As, Ba, Cu, Cd, Cr, Mo, V, Sb, Zn
32	R. Ovejero	Cd, Mo, Pb, V, Zn
33	Q. Blanca	Cd
34	Q. Hato Frío	Cd, Mo
35	Q. Chigualá	
36	R. Bogotá	
37	Q. El Pantano	V, Zn,
38	Q. La Viuda	Cd, Pb, Zn
39	R. El Chochal	Cd, Mo, Pb, Zn
40	Q. Hornillo	Cd, Co, Mo, Mn, Sb, Zn
41	Q. Rasgatá	Cd, Mo, Sb, V, Zn
42	Q. La Alberca	Cd, Cu, Pb, V, Zn
43	Q. Zuaquirá	Cd
44	Q. de June	Cd, Pb, Mn, V
45	Q. El Ratón	Cd
46	Q. Aposentos	Cd
47	R. Tejar	Cd, Mo
48	Q. Tocola	Cd, Mo
49	Q. de Guerrero	Cd, Pb
50	Q. Honda	Cd, Sb, Pb, Zn
51	Q. Arboloco	Cd, Zn
52	Q. Chorrillo	Cd, V, Zn
53	Río Checua	Cd, Sb, V, Zn

No. de Celda	Quebrada	>Shale
54	R. Charco de Nutria	Cd, Mo, Pb, V
55	Q. La Florida	Cd, Pb
56	Q. June	Cd, Be, Pb, V
57	Q. Saucio	Cd
58	Q. Napoles	Cd, V
59	Q. Don Alonso	Ce, Be, Pb, Zn
60	Q. Aguablanca	Cd
61	Río Negro	Cd, Mo, Pb, V, Zn
62	R. Susagua	Cd
63	Q. Ojo de Agua	Cd, Pb, Mn, V, Zr
64	Q. Aposentos	Cd, Mo, V, Zn
65	Q. Perico	Cd, Mo, Pb, Zn
66	Q. Penita	Cd, Pb, Zn
67	Q. Providencia	Pb, Zn
68	Q. La Fuente	Cd, Mo, Pb
69	Q. San Jerónimo	Cd
70	Q. Yoya	Cd, Ce, Pb
71	Afluente R. Macheta	Cd, Pb
72	Q. Carbonera	Be, Ce, Mo, Pb, Zn
73	Río Frio	Cd, Pb, Zn
74	Río Negro	Cd, Mo, Pb, Zn
75	Río Neusa	Ag, Ce, Cu, Cd, Sb, V, Zn, Pt
76	Río Neusa (Vallao)	Sb, Cd, V, Zn
77	Río Bogotá	Cr, Cd, Zn
78	Q. Salinas	As, Cu, Cd, Cr, Mo, Mn, Pb, Al, Fe, Zn, Ce, Ca, Ag, V
79	Q. Turbia - Q. Clara	Cd, Pb, Zn
80	Q. El Cajón	Cd
81	Q. Las Tapias	Cd, Mo
82	Q. El Chirra	Cd
83	Q. Corradillas	Cd, Pb
84	Q. Las Quebraditas	Cd, Pb, Zn
85	Q. Honda	Cd, Pb
86	Q. El Hueco	Cd
87	Río Bogotá	Cd, Cr, Mo, Pb
88	Vallao La Fuente	Cd, Pb
89	Q. Esmeralda	Cd
90	Q. La Guaca	Cd
91	Q. Chaloché	Cd, Pb, V
92	Afluente R. Sisga	Cd
93	Q. La Granadilla	Cd, Cr, Sb, V, Zn
94	Afluente R. Guatanfur	Cd, Mo, Pb, V, Zn
95	Q. El Palmar	Cd, Be, Pb, Zn
96	Q. La Centella-Q. El Golpe	Cd, Pb, Zn

Ag	0.07
As	13
Al	80000
B	25
Ba	580
Be	3

Ce	59
Cd	0.3 (0.4) **
Cr	90
Cu	45
Co	19
Ca	22100

Fe	47200
Hg	0.4
Mo	2.6
Mn	850
Mg	15000
Ni	68

Pb	20
Sb	1.5
Tl	1.4
U	3.7
V	130
Zn	95

Turekian y Wedepohl, 1961

\* McLennan, 2000

\*\* Salomons y Forstner, 1984. En sedimentos lacustres no contaminados

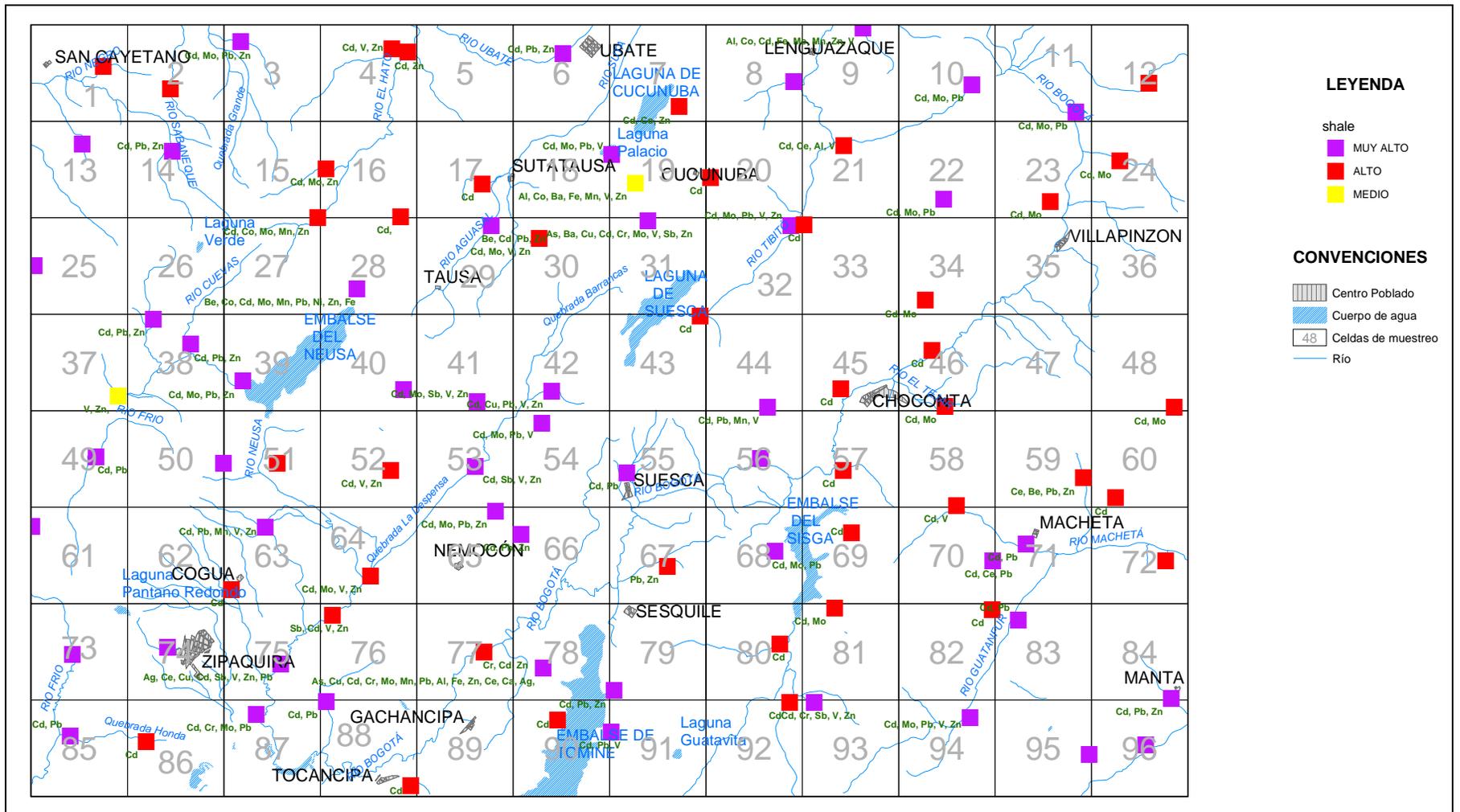


Figura 20. Elementos de sedimentos activos mayores al valor estándar de Shale

### 3.4. REGIONES GEOQUÍMICAS

Hasta el momento la interpretación de resultados se ha realizado con énfasis ambiental mediante el conocimiento de la distribución y variación de los contenidos de elementos químicos en aguas, suelos, sedimentos activos, y que pueden afectar sus propiedades o calidad.

Se pretende realizar 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, obtenidos de lo descrito en la distribución y variación de los contenidos de elementos químicos en los tres medios de muestreo antes descritos. Lo anterior apoyado tanto en la información cartográfica disponible y la generada dentro de este trabajo, como en las herramientas estadísticas aplicadas.

#### 3.4.1. 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 21 y Figura 21**).

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

En estos dos tipos de muestras se presenta alguna cantidad de plata u oro en casi todos los sitios de muestreo. Para sedimentos activos, el mayor valor de oro se ubica en la celda 58 en la Quebrada Nápoles con 306 ppb, seguido de la celda 78 Quebrada Salinas con 127 ppb y en el caso de la plata en la celda 75 Río Neusa con 17.9 ppm. Los demás resultados son inferiores a estos máximos, así para oro en el Afluente del Río Macheta (71) con 28 ppb, en el Río Bogotá (87 y 77) con 13 ppb y de estos valores en adelante 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 y sedimentos, indicando los puntos de mayor interés, los cuales se mencionaron anteriormente. Se pueden plantear dos posibles zonas de interés en exploración de recursos metálicos usando como base los preciosos: al SW en el área de Zipaquirá –Sesquile y al SW entre Manta-Macheta, en este sector cerca de la fuente termal de los Volcanes se observa el contenido más alto en oro en sedimentos activos.

#### 3.4.2. Regiones Geoquímicas

Se identificaron cinco regiones geoquímicas denominadas de W a E como: San Cayetano, Zipaquirá, Lenguazaque, Cuenca Alta del Río Bogotá y Macheta-Manta, su ubicación se representa en el mapa de la **Figura 22**. Las características geoespaciales y geoquímicas se resumen en la **Tabla 22**

Los 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 23**.

**TABLA 21. Presencia de oro y plata en suelos y sedimentos activos**

No. de Celda	Quebrada	SEDIMENTOS ACTIVOS		SUELOS	
		Ag	Au	Ag	Au
1	Q. Canutillal		4		0,35
2	Q. Seca			0,63	
2DC	Q. Grande			0,41	2
3	Q. El Espejo		6	0,90	3
4	Q. El Molino	0,5	2	0,64	3
7	Q. Media Luna	0,4		0,70	
8	Q. Arenosa	0,4	3	0,75	
8DC	Q. Palcaguita	0,3	5	0,47	
9	Q. Taitiva	0,3	3	0,60	5
10	Afluente R. Tibita	0,5		0,40	
11	Q. Mojón	0,5			
12	Q. La Joya	0,9	2	0,68	
13	Q. La Chorrera		3		3
14	Q. Sabaneque	0,3			
15	Q. El Cajón			0,59	
16	Q. El Zarzal	0,4		0,48	3
17	Q. Aguaclara	0,7			4
18	Q. Palacio	0,2	5	0,46	
19	Q. El Volcán		3	0,71	4
20	Q. La Toma	0,7		0,82	3
21	Q. Farasia	0,5	2	0,70	
22	Q. Negra	0,4		0,50	
23	Q. Sonsa	0,4	3	0,52	
24	Q. Piedra Gorda	0,4	2		
25	R. Yayatá	0,4	3	0,35	4
26	Q. Guandoque	0,3		0,58	
27	R. El Hato	0,4		0,43	
28	R. Las Juntas	0,4		0,64	
29	R. Aguasal			0,51	
30	Q. El Cajón		4	0,50	
31	Q. Zanja	0,4		0,72	
32	R. Ovejero	1,2		0,71	
33	Q. Blanca	1,0		0,79	
34	Q. Hato Frío	0,4	5	0,32	5
35	Q. Chigualá		3	0,46	
37	Q. El Pantano	0,4		0,34	
38	Q. La Viuda	0,4		0,36	
39	R. El Chochal	0,7		0,72	3
40	Q. Hornillo	0,5		0,50	5
41	Q. Rasgatá	0,6	3	0,66	
42	Q. La Alberca	0,5		0,57	
43	Q. Zuaquirá	0,5	4	0,90	
43DC	Laguna de Suesca			0,76	
44	Q. de June	0,6		0,63	48
45	Q. El Ratón		7		5
46	Q. Aposentos		4	0,32	8
48	Q. Tocola	1,1		0,43	
49	Q. de Guerrero	0,4		0,43	

No. de Celda	Quebrada	SEDIMENTOS ACTIVOS		SUELOS	
		Ag	Au	Ag	Au
50	Q. Honda	0,5		0,40	4
51	Q. Arboloco			0,82	
52	Q. Chorrillo	0,4		0,42	3
53	Río Checua	0,7	6	0,39	4
54	R. Charco de Nutria	0,5	3	0,38	
55	Q. La Florida	0,4		0,33	3
56	Q. June	0,3			5
57	Q. Saucio		2	0,50	
58	Q. Napoles	0,6	306	0,46	
59	Q. Don Alonso	0,6		0,40	
60	Q. Aguablanca	1,1		0,67	3
61	Río Negro	0,5	3		
62	R. Susagua			0,56	
63	Q. Ojo de Agua			0,34	
63DC	Q. El Chuscal			0,54	3
64	Q. Aposentos	0,4	2	0,38	6
65	Q. Perico	0,4			3
66	Q. Penita	0,8		1,03	2
67	Q. Providencia	0,9		0,93	
69	Q. San Jerónimo				2
70	Q. Yoya	0,8		0,79	4
71	Afluente R. Macheta	1,0	28		
71DC	Afluente R. Macheta	0,9		0,36	3
72	Q. Carbonera	0,4		0,36	
73	Río Frio	0,4		0,40	
74	Río Negro	0,3		0,43	5
75	Río Neusa	17,9		0,56	2
76	Río Neusa (Vallao)			0,43	2
77	Río Bogotá		13	0,64	
78	Q. Salinas	2,4	127	0,54	
79	Q. Turbia - Q. Clara	0,6		0,67	222
80	Q. El Cajón	0,4			3
81	Q. Las Tapias	0,4			3
82	Q. El Chirma	1,0	4	0,34	3
83	Q. Corradillas	1,1	2	0,32	4
84	Q. Las Quebraditas	0,6	6	0,39	4
85	Q. Honda			0,43	5
85DC	Q. Puente	0,5		0,31	4
86	Q. El Hueco			0,61	
87	Río Bogotá	1,9	13	0,83	15
88	Vallao La Fuente	0,4	6	0,50	4
89	Q. Esmeralda			0,73	6
90	Q. La Guaca			0,49	
91	Q. Chalоче	0,7	5	0,65	
92	Afluente R. Sisga	0,9	3	0,49	
93	Q. La Granadilla	0,8		9,07	
94	Afluente R. Guatanfur	0,8		0,55	5
95	Q. El Palmar	0,9			
96	Q. La Centella-Q. El Golpe	0,5		3	

### Concentración de metales preciosos en sedimentos activos y suelos

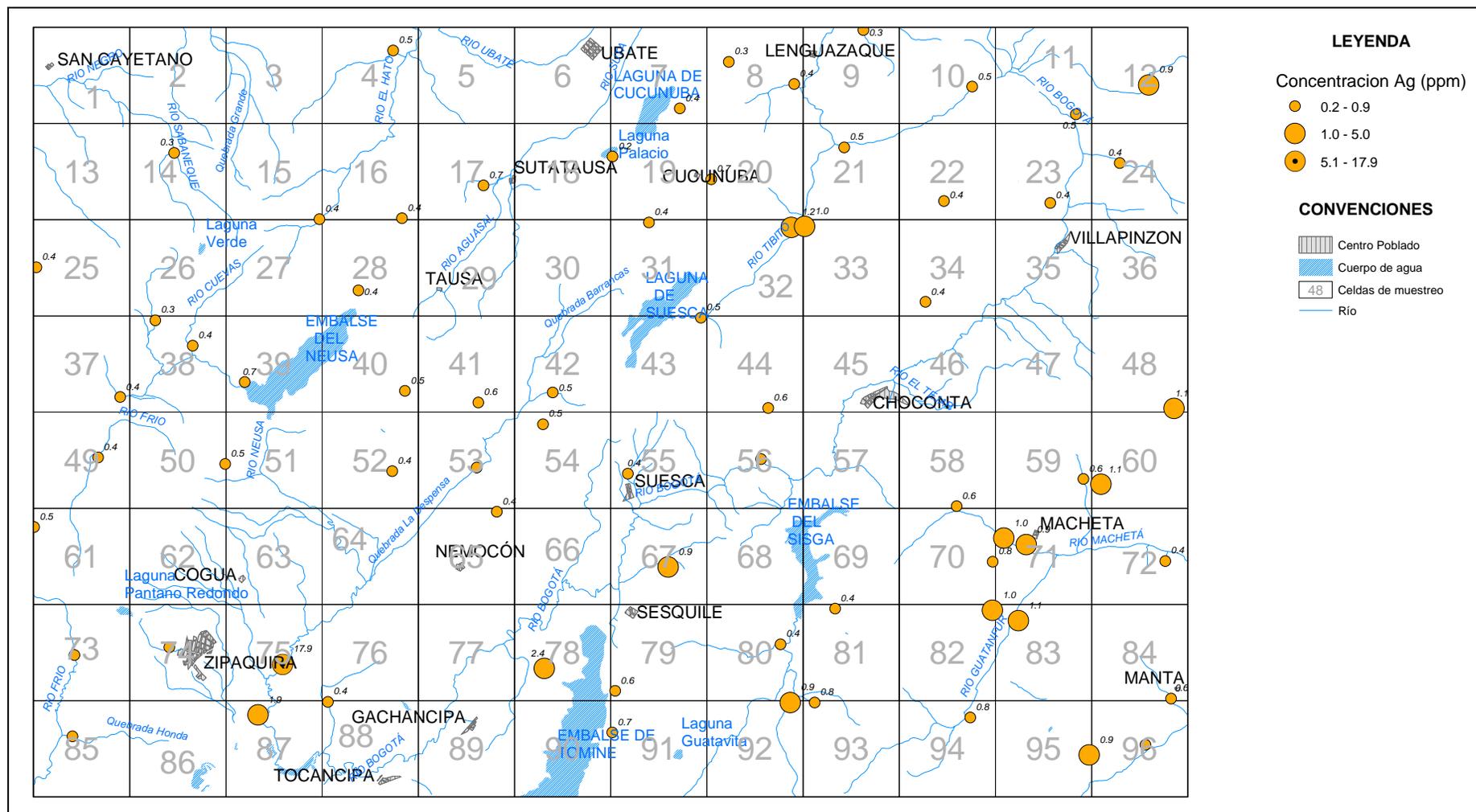


Figura 21.1. Sedimentos activos PLATA-Ag

### Concentración de metales preciosos en sedimentos activos y suelos

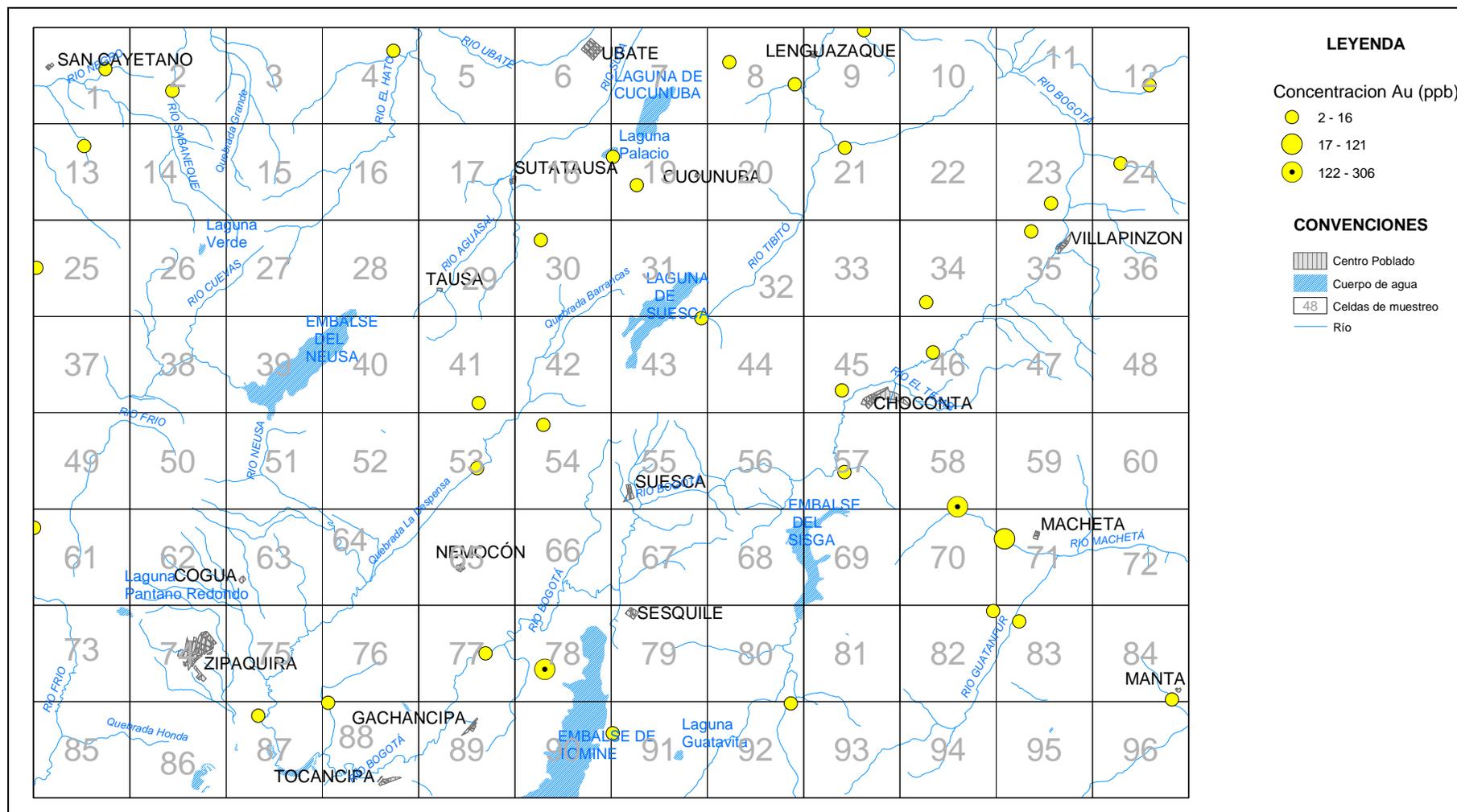


Figura 21.2. Sedimentos activos ORO-Au

### Concentración de metales preciosos en sedimentos activos y suelos

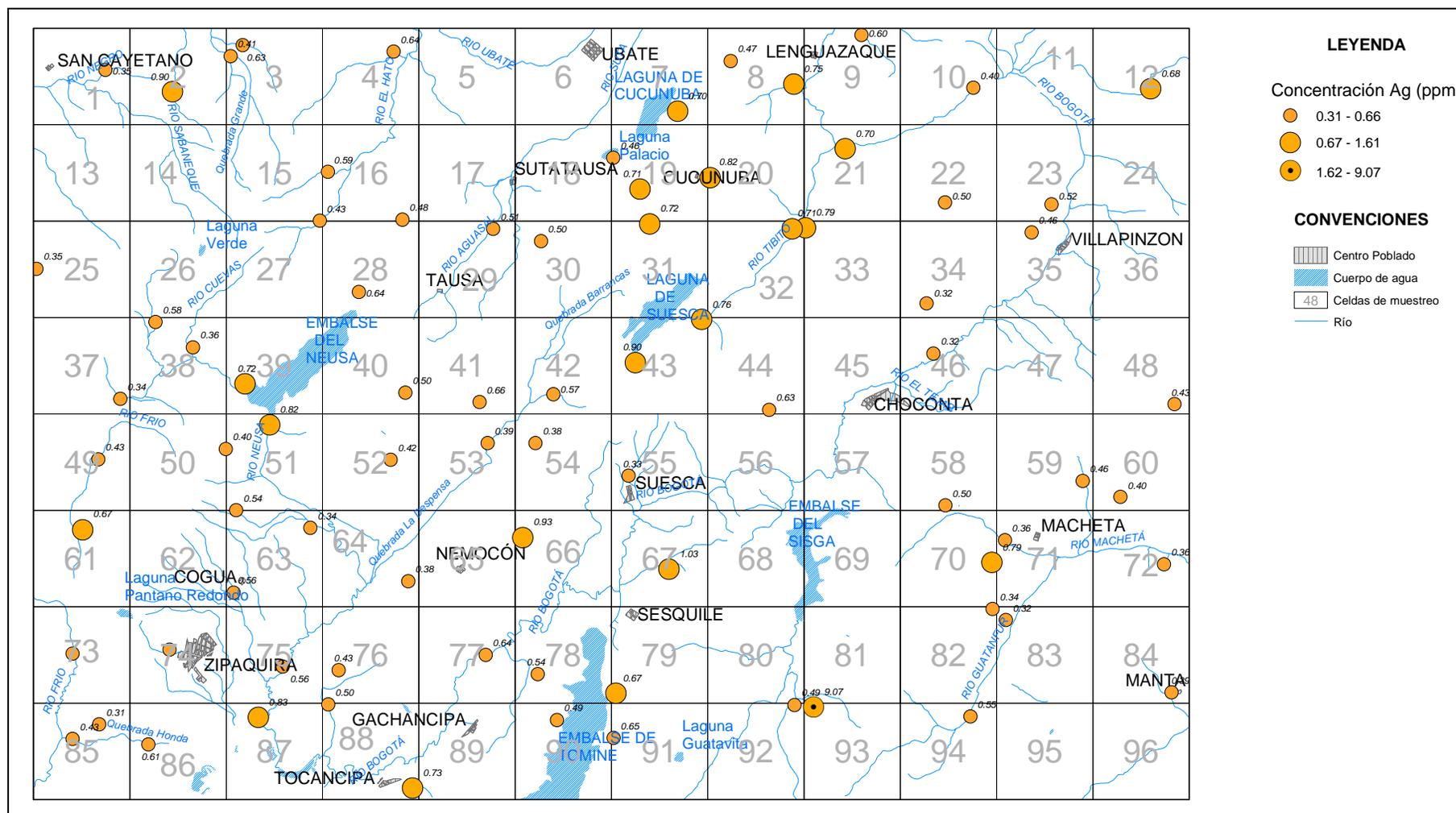


Figura 21.3. Suelos PLATA-Ag

### Concentración de metales preciosos en sedimentos activos y suelos

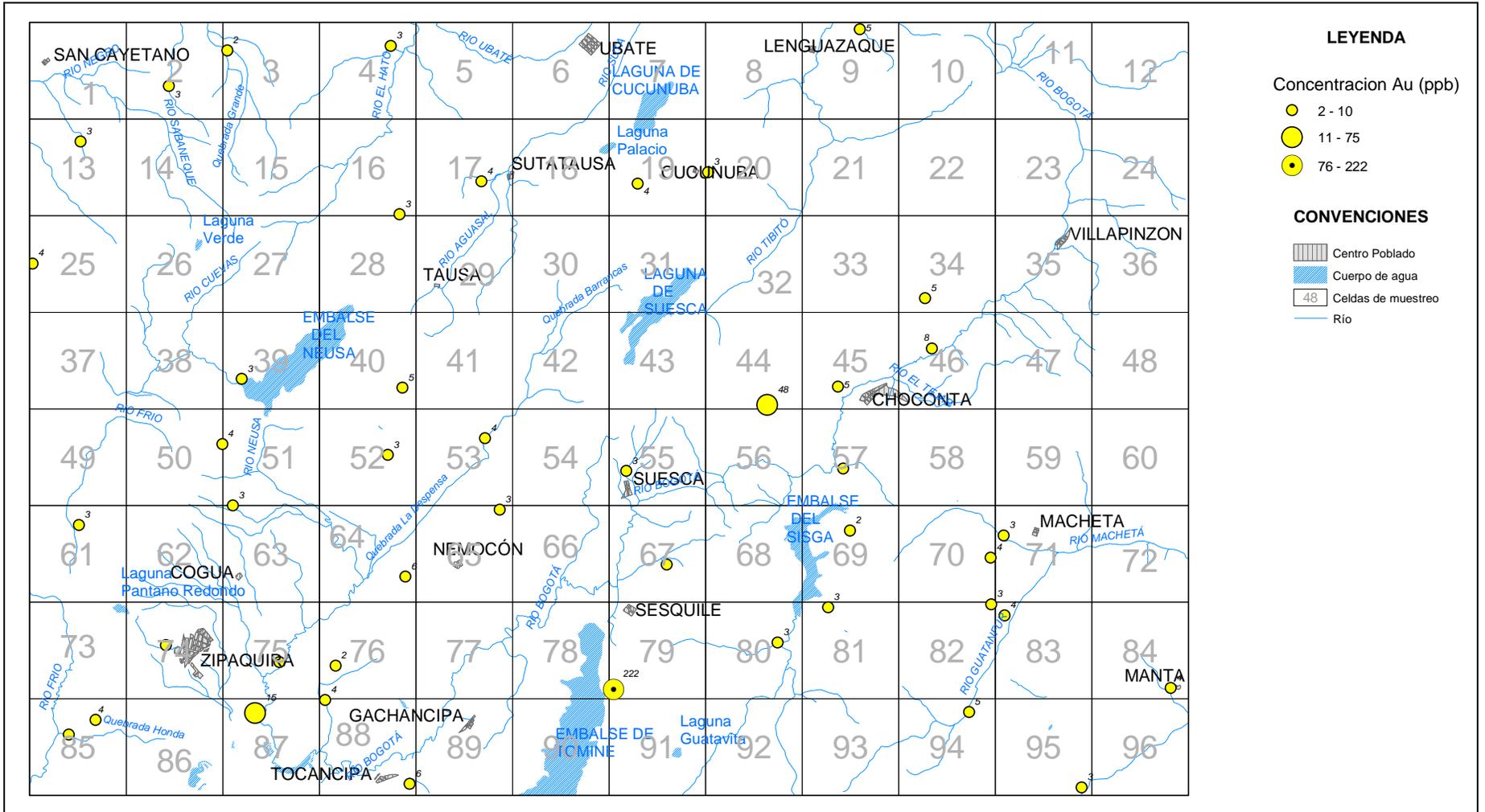


Figura 21.4. Suelos ORO-Au



**TABLA 22. Características de las regiones geoquímicas.**

REGION		I. SAN CAYETANO	II. LENGUAZAQUE	III. ZIPAQUIRA
Características	Geología	Formaciones del Cretácico Superior: Churuvita, Simijaca, La Frontera, Conejo, Lidita Superior.	Formaciones Guaduas, Labor y Tierna, Plaeners.	Formaciones del Cretácico Superior como Guaduas, Labor y Tierna, Plaeners, Churuvita, Conejo, Lidita Superior. Terrazas altas.
	Identificado	Shales	Carbón	Sal
	Geomorfología	Paisaje montañoso, geoformas como: espinasos, crestas, escarpes, lomas y glacis coluvial.	Paisaje montañoso con geoformas como: cuestras, filos, valles; paisaje de Planicie con geoformas como terrazas.	Paisaje montañoso con geoformas como: cuestras, filos, glacis coluvial; paisaje de Planicie con geoformas como terrazas.
	Factores fisicoquímicos del agua	pH neutro a levemente básico. Conductividad eléctrica entre 2 a 60.	pH neutro a levemente ácido, con fuertes fluctuaciones ácidas y básicas. Conductividad eléctrica entre 2 a 60.	pH neutro a levemente ácido. Conductividad eléctrica entre 50 a 100.
Grupos de elementos	Agua	As, Sb.	Tierras raras, Co, Mn, Ni, Zn, K, Na, Sr, As, Sb.	As, Sb.
	Sedimentos activo	Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, Cu, Ni, V, Sc, Fe, S.	Cu, Ni, V, Sc, As, Sb, Fe, S.	Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, As, Sb.
	Suelos	Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, As, Cr, V, Be, K, Rb.	As, Cr, V, Co, Cu, Ni	As, Cr, V, Co, Cu, Ni, Be, K, Rb.
Valores extremos	Agua	Ca, Sr, Ta, Tl, U	Ca, Mg, Fe, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Ti	As, Br, Cs, Rb, Sb, Ti
	Sedimentos activo	Ca, Cd, Cs, Mn, Mo, S, Sb	Al, Ba, Co, Fe, Mg, Mn, S, Sb	Ag, Ba, Ce, Cu, La
	Suelos	Al, As, Br, Co, Fe, Pb	Br, Cu, Ni, Sb	As, Ba, K, Sb
Presencia de oro (Au) y plata (Ag)	Sedimentos activo	Au ( 3 a 6 ppb) y Ag ( 0.3 a 0.5 ppm)	Au ( 2 a 5 ppb) y Ag ( 0.3 a 1.2 ppm)	Au ( 6 a 13 y valor anómalo de 127 ppb) y Ag ( 0.3 a 2.4 y valor anómalo de 17.9 ppm)
	Suelos	Au ( 2 a 4 ppb) y Ag ( 0.3 a 0.9 ppm)	Au ( 3 a 5 ppb) y Ag ( 0.4 a 0.8 ppm)	Au ( 2 a 15 ppb) y Ag ( 0.4 a 0.9 ppm)

**TABLA 22. CaracterísTabla 22. Características de las regiones geoquímicas.**

REGION		IV. CUENCA ALTA DE BOGOTA	V. MACHETA-MANTA
Características	Geología	Formación Tilata, formaciones eógenas como Regadera, Bogotá, Cacho.	Formaciones cretácicas del inferior al superior: Fomeque, Une, Chipaque y Arenisca Dura.
	Identificado	Contaminacion antrópica.	Shale
	Geomorfología	Paisaje montañoso con geoformas como: lomas, cuevas, filos, valles; paisaje de Planicie con geoformas como terrazas y planos de inundación.	Paisaje montañoso, geoformas como: espinosos, crestas, escarpes, lomas y glacis coluvial.
	Factores fisicoquímicos del agua	pH neutro a levemente ácido. Conductividad eléctrica entre 2 a 60.	pH neutro a levemente ácido. Conductividad eléctrica entre 50 a 100.
Grupos de elementos	Agua	Tierras raras, K, Na, Sr, As, Sb.	
	Sedimentos activo		Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, Lu, Yb
	Suelos		Ce, Eu, La, Nd, Sm, Th, Be, K, Rb.
Valores extremos	Agua	Fe, Ca, Cu, Hf, U, Th, Ti, Zr	Cs, Ti
	Sedimentos activo	Al	Au, Ce, Hf
	Suelos	Bi, Yb	Ce, Eu, La, Nd, Th
Presencia de oro (Au) y plata (Ag)	Sedimentos activo	Au ( 2 a 7 ppb) y Ag ( 0.3 a 0.9 ppm)	Au ( 2 a 28 y valor anómalo de 306 ppb) y Ag ( 0.4 a 1.1 ppm)
	Suelos	Au ( 3 a 8 ppb) y Ag ( 0.3 a 0.8 ppm)	Au ( 3 a 5 ppb) y Ag ( 0.3 a 0.8 valor anómalo de 9.07 ppm)

**Tabla 23. Tipos de yacimientos minerales asociados a rocas sedimentarias.**

YACIMIENTO MINERAL	UNIDAD DE ROCA	DESCRIPCION	EDAD DE MINERALIZACION	INDICACIONES GEOQUIMICAS	REGION
SHALE-HOSTED Ni-Zn-Mo-PGE	QUIMICA 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 organico correlaciona con contenidos en metales como Ni, Mo y Zn.	San Cayetano Zipaquirá Macheta-Manta
SEDIMENTARY EXHALATIVE Zn Pb-Ag	CLASTICAS 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 exalativos 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	CLASTICAS 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	CLASTICAS 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	CLASTICAS 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
SEDIMENTARY-HOSTED, ESTRATIFORME E 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 comúnmente en shale para depósitos 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 depósitos 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 basamento sialico.	Edad de mineralización no ha sido establecida con certeza; sin embargo los depósitos han sido encontrados desde el Proterozoico medio al Cretáceo.	Geoquímica de superficie, sedimentos de río y suelos; análisis 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 rellenos de estructuras compuestas por carbonato-pirita-albita-cuarzo en echelon conjugadas y en brechas cementadas.	Los depósitos colombianos se encuentran en shales de edad Cretáceo. Se considera casi contemporáneas.	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

Adaptado de: British Columbia. Geological Survey,  
Victoria, B.C., Canada.

<http://www.em.gov.bc.ca/Mining/Geosurv/MetallicMinerals/MineralDepositProfiles/Tables/Mdpt42.htm>

#### 4. CONCLUSIONES

- Para las aguas se pueden considerar dos tipos de orígenes, de acuerdo con su contenido de metales potencialmente peligrosos, uno antrópico asociado a zonas como la 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, 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 cumplen con los valores recomendados por el Decreto 475/98 (calidad de agua potable), el 46 % no cumplen 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 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, níquel. Para uso pecuario se puede usar aguas de todas las cuencas estudiadas, menos del Río Charco de Nutría que supera el valor recomendado para aluminio.
- Se observan claramente dos zonas de interés en la asociación de tierras raras: Ce, La, Nd, Sm (tanto en suelos como en sedimentos) al NW (Lenguazaque) y al SE (Macheta-Manta), en este último sector se asocian además Lu e Yb.
- Los sedimentos con el mayor número de elementos químicos potencialmente peligrosos que supera los valores recomendados 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 cuaternarios como aluviones y coluviones.
- 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. 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 Macheta-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 en la composición geoquímica de los diferentes medios de muestreo, por la actividad minera del carbón, la cual parece

causar 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, por ejemplo para Fe y Hf, y posteriormente en su recorrido, origen antrópico, con incrementos en los contenidos de la mayoría de elementos químicos en las muestras de agua.
- Por las características geológicas y geoquímicas el área de estudio existe potencial de otros recursos minerales diferentes a los mencionados (Tabla 5), principalmente barita, metales básicos y esmeraldas. Sin embargo, se requiere de otro tipo de estudios enfocados hacia este fin y es necesario comparar estos resultados a nivel regional para ratificar o descartar la posibilidad de encontrar tales yacimientos minerales descritos en la Tabla 23.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, J. & ULLOA, C. 2002. Memoria explicativa de la geología de la plancha 208 Villeta. INGEOMINAS. 84 p. Bogotá.
- 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
- BÜRGL, H. 1958. Geología de los alrededores de Subachoque, Departamento de Cundinamarca, Colombia. Instituto Geológico Nacional. Informe 1264. 37p. Bogotá.
- BÜRGL, H. & BOTERO, D. 1962. Las capas fosfáticas de la Cordillera Oriental. Instituto Geológico Nacional. Informe 1416. 43 p. Bogotá.
- COLLETTA, B., HEBRARD, F., LETOUZEY, J., WERNER, P. & RUDKIEWICZ, J. 1990. Tectonic style and cristal structure of the Eastern Cordillera (Colombia) from a balanced cross section. En: Letousey (ed.), *Petroleum and Tectonic in Mobile Belts*, Ed. Technips, Paris, 81-100.
- CONNOR & SHACKLETTE, 1976. *Background geochemistry of same rocks, soils, palnts and vegetables*
- CORRIGAN, H. 1989. Introducion to the geology of the Bogotá Sabana, northern and southern portions. In: *Geological Field-Trips Colombia 1980-1989*. Col. Soc. Petrol. Geol. Geophys. Bogotá. Ed. GEOTEC LTDA, 1992:311-331p
- DARNLEY, A.G., et. al. 1995. A global geochemical database for environmental and resource management. recomendations for international geochemical mapping. final report of IGCP Proyect 259 - Earth Sciences 19. Unesco parís.
- DENGO, C. & COVEY, M., 1993. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for traps and regional tectonics: AAPG., Bull., 77:1315-1337.
- DURAN, R. & MOJICA, P. 1981. Evaluación de reservas de carbón en siete zonas de Colombia. INGEOMINAS. Pub. Geol. Esp., 6:1-134. Bogotá.
- DUQUE-CARO, H. 1980. Geotectónica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana. INGEOMINAS. Bol. Geol., 23(3):4-37. Bogotá.
- ECOCARBON. 1997. Evaluación y seguimiento del plan de desarrollo del subsector del Carbón. Bogotá. 121 p
- ESPINOSA, A., GÜIZA, S. 2004. Cartografía geoquímica de la plancha 171-Duitama. INGEOMINAS. Bogotá.
- ESPITIA, C. & 10 autores más. 2003. Catálogo de propiedades físicas, químicas y mineralógicas de las arcillas para cerámica roja en los centros urbanos de Medellín, Ibagué y Bogotá. INGEOMINAS. Informe inédito. Bogotá.

- ETAYO-SERNA, F., 1964 Posición de las faunas en los depósitos del Cretácico colombianos y su valor en la subdivisión cronológica de los mismos. UIS. Bol. Geol., 16-17: 5-142. Bucaramanga.
- ETAYO-SERNA, F. 1979. Zonation of the cretaceous of central Colombia by ammonites. INGEOMINAS. Pub. Geol. Esp., 2:1-186. 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.
- GUERRERO, J. & SARMIENTO G. 1996. Estratigrafía física, palinológica, sedimentológica y secuencial del Cretácico Superior y Paleoceno del Piedemonte Llanero. Implicaciones en Exploración Petrolera. U. Nal. Geol. Col., 20:3-66. Santafé de Bogotá.
- HELMENS, K. & VAN der HAMMEN T. 1995. Memoria explicativa de los mapas del Neógeno y Cuaternario de la Sabana de Bogotá-cuenca alta del río Bogotá. IGAG. Análisis Geográficos. 24:91-142 p. Bogotá.
- HOORN, K., KAANDORP, M. & ROELE, J. N. 1987. Tertiary sedments of the Usme Valley Colombia: a palynological and stratigraphical approach. Hugo de Vries Laboratory, Amsterdam. 28p. Amsterdam.
- HUBACH, E., 1957. Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. Instituto Geológico Nacional. Bol. Geol., 2:93-112. Bogotá
- IGAC. 1992. Cundinamarca, Características Geográficas. 189p. Santafé de Bogotá
- IDEAM, 2001. El Medio ambiente en Colombia. Bogotá.
- IGAC. 1996. Diccionario Geográfico de Colombia. 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. Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS. 1999 a. Inventario minero del Departamento de Cundinamarca. INGEOMINAS, Informe 2326, 377 p. Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS, 1998. ACIGEMI. Atlas Colombiano de Información Geológico - Minera para Inversión. Plancha 5-09. Escala 1:500.000. Bogotá.
- INGEOMINAS. 2000. Manual de Campo para el Atlas Geoquímico de Colombia. Informe



Interno. Bogotá.

- INGEOMINAS. 2001. Levantamiento geoquímico de la Plancha 5-09. Informe final. Bogotá.
- INGEOMINAS. 1983. Evaluación de los recursos minerales no combustibles de Colombia.
- JULIVERT, M. 1961. Observaciones sobre el Cuaternario de la Sabana de Bogotá. UIS. Bol. Geol., 7:5-34. Bucaramanga.
- JULIVERT, M. 1962. Estudio sedimentológico de la parte alta de la Formación Guadalupe al E de Bogotá (Cretácico Superior). UIS. Bol. Geol.,10: 25-54. Bucaramanga.
- JULIVERT, M. 1963. Los rasgos tectónicos de la región de la Sabana de Bogotá y los mecanismos de formación de estructuras. UIS. Bol. Geol.,13-14:5-102. Bucaramanga.
- KABATA, A.; PENDIAS, H., 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*.
- KAMPRATH, J. 1972. *Soil Acidity and Liming. Soil of the Humid Tropics. Washington, National Academy of Sciences p.136-149* IDEAM, Cuencas.
- KRAUSKOPF, K. B.; BIRD, D. 1995. *Introduction to geochemistry*. McGraw Hill.
- McLENNAN, S. M. 2001. *Relationship between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. G3, 2. Paper 2000GC000109*.
- MAYORGA, M. & VARGAS, M. 1995. Caracterización geoquímica y facial de las rocas potencialmente generadoras de hidrocarburos en las formaciones del Cretácico y Terciario Inferior de la Cordillera Oriental. Tesis pre-grado (inérita). Universidad Nacional. Bogotá.
- MARTINEZ, J. 1995. Microfósiles del Grupo Guadalupe y la Formación Guaduas. Campaniano-Maastrichtiano. En la Sección de Tausa, Cundinamarca, Colombia. Ciencia, Tecnología y Futuro.,1(1): 65-81. Bucaramanga.
- MARTINEZ, J. & VERGARA, L. 1999. La Sucesión paleoambiental del Cretácico de la region de Tequendama y oeste de la Sabana de Bogotá, Cordillera Oriental Colombiana. U. Nal., Geol. Col., 24: 107-148. Bogotá
- McLAUGHLIN, D. 1970. The evaporite deposits of the Bogotá Area Cordillera Oriental, Colombia. U.S. Geological Survey. Proyect Report Colombia Investigations IR CO-16. U.S. Geological Survey. 74p. Washington.
- McLAUGHLIN, D. & ARCE, M. 1972. Geología del Area Zipaquirá (Zona IV). Informe Preliminar 109. INGEOMINAS. 267p. Bogotá.
- McLAUGHLIN, D. & ARCE, M. 1975. Mapa geológico del área Zipaquirá (Zona IV). . INGEOMINAS. Bogotá.
- MINAMBIENTE. 1996. Ministerio del Medio Ambiente, 1996. Nuestros bosques, Consulta cartográfica sobre medio ambiente y ecosistemas estratégicos. Santa Fe de Bogotá, 31 pp.
- 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”.
- MONTAYA, D.M.; REYES, G.A. 2005. Geología de la plancha 209. INGEOMINAS. Bogotá.
- PEREZ, G. 1985. Reconnaissance of the Guadalupe Group section at the Tausa Boquerón Area. II Simposio Bolivariano de Exploración de Petróleo en Cuencas Subandinas. Colombia. 231-236. Bogotá
- PEREZ, G. & SALAZAR A. 1978. Estratigrafía y facies del Grupo Guadalupe. U. Nal. Geol. Col., 10:7-113. 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. 1962. Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al este y sureste de Bogotá. Servicio Geológico Nacional. Bol. Geol., 1-3: 59-79. Bogotá.
- RENZONI, G 1965. Mapa Geológico de Colombia-Cuadrángulo L11. INGEOMINAS.
- SALAZAR, A. 1999. Catálogo Formación Areniscas Dura. INGEOMINAS. Informe interno. 27p. Santafé de Bogotá.
- SALMINEN, R., et al. 1998. FOREGS *Geochemical Mapping Field Manual. Geological Survey of Finland. Guide 47*. Espoo. 1998.
- SARMIENTO, G. 1994a. Estratigrafía y medios del depósito de la Formación Guaduas. INGEOMINAS, Pub. Geol. Esp., 20. 1-44. Bogotá
- SMIRNOV, V.I. 1982. Geología de Yacimientos Minerales. Moscu.
- SPSS Inc. 1993. *SPSS Base System User's Guide*. Chicago.
- ROBLES, E. 1993. Convenio CAR-INGEOMINAS. Estudio cuantitativo en la Sabana de Bogotá. INGEOMINAS, Informe 2220b. 153p. Santafé de Bogotá.
- 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.*

- VAN der HAMMEN, T. 1957. Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá, Cordillera Oriental de Colombia. INGEOMINAS, Bol. Geol., 5(2):189-203
- VROM. 1983. 1991.1994 *Environmental Quality Standards for Soil and Water. Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. The Hage.*
- VERGARA, L. & RODRIGUEZ, G. 1997. The Upper Cretaceous and Lower Paleocene of the Eastern Bogota Plateau and Llanos Thrustbelt, Colombia: Alternative Appraisal to the Nomenclature and Sequence Stratigraphy. U. Nal. Geol. Col., 22:51-79
- VILLAMIL, T. & RESTREPO, P. 1997. Paleocene-Miocene paleogeography evolution of Colombia. Memorias VI Simposio Bolivariano "Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas". Tomo I: 275-302. Cartagena.
- WARD, D. E.; GOLDSMITH, R.; CRUZ, J.; RESTREPO, H. 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. Ingeominas, Bol. Geol., 21(1-3):1-132. Bogotá.
- 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.