



ISSN - 0120 - 1425

BOLETIN GEOLOGICO



PROSPECCION GEOQUIMICA PARA ORO, PLATA, ANTIMONIO Y MERCURIO
EN LOS MUNICIPIOS DE SALENTO, QUINDIO Y CAJAMARCA, TOLIMA

Por:

Hernando Lozano Q., Humberto Pérez S., Darío Mosquera T.

PROSPECCION GEOQUIMICA Y GENESIS DEL MERCURIO EN EL FLANCO OCCIDENTAL
DE LA CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA, MUNICIPIOS DE ARANZAZU,
SALAMINA Y PACORA, DEPARTAMENTO DE CALDAS

Por:

Hernando Lozano Q., Humberto Pérez S., Carlos J. Vesga O.

**Volumen 27, No. 1, pp. 1 - 169, 1984
Bogotá - Colombia
ISSN - 0120 - 1425**

**Bol. Geol.
Ingeominas**

REPUBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

Carlos Martínez Simahan, Ministro

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO-MINERAS

Alfonso López Reina, Director General

INDICE GENERAL

Página

H. Lozano Q.	Prospección Geoquímica para Oro, Plata, Antimonio y Mercurio	
H. Pérez S.	en los Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima . . .	5 - 76
D. Mosquera T.		
H. Lozano Q.	Prospección Geoquímica y Génesis del Mercurio en el Flanco	
H. Pérez S.	Occidental de la Cordillera Central de Colombia, Municipios de	
C. J. Vesga O.	Aranzazu, Salamina y Pácora, Departamento de Caldas	77 - 169

Derechos Reservados por:

INGEOMINAS: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras
Diagonal 53 No. 34-53, Apartado Aéreo No. 4865
Bogotá, 2, D.E., Colombia S.A.

El Boletín Geológico se publica en tres (3) números cada año.
Formato de publicación 17 x 24 cm

Precio de cada ejemplar:	En Ingeominas	\$ 200.00 (US \$ 5.00)
	Vía Aérea	\$ 250.00 (US \$ 6.50)

**PROSPECCION GEOQUIMICA PARA ORO, PLATA, ANTIMONIO Y MERCURIO
EN LOS MUNICIPIOS DE SALENTO, QUINDIO Y CAJAMARCA, TOLIMA**

Informe 1692

Por:

HERNANDO LOZANO Q., HUMBERTO PEREZ S., DARIO MOSQUERA T.

Instituto Nacional de Investigaciones
Geológico-Mineras

1976

CONTENIDO

Página

RESUMEN	9
1. INTRODUCCION	9
1.1. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA	10
2. GEOLOGIA REGIONAL	12
2.1. ROCAS METAMORFICAS	12
2.1.1. FILITAS Y ESQUISTOS NEGROS CUARZO - SERICITICO - GRA- FITOSOS	12
2.1.2. ESQUISTOS VERDES CLORITICO - ACTINOLITICOS	12
2.1.3. CUARCITAS	12
2.1.4. ANFIBOLITAS	12
2.1.5. NEIS INTRUSIVO	12
2.2. ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS	13
2.2.1. COMPLEJO IGNEO DEL RIO NAVARCO	13
2.2.2. DIABASAS	13
2.2.3. PORFIDOS DACITICOS	13
2.2.4. ANDESITAS PORFIRITICAS HORNBLENDICAS	13
2.3. ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS	14
2.3.1. LAVAS ANDESITICAS Y ANDESITICO-BASALTICAS	14
2.3.2. ROCAS PIROCLASTICAS	14
2.4. ROCAS SEDIMENTARIAS RECIENTES	14
2.4.1. MORRENAS	14
2.4.2. FLUJOS DE LODO	14
2.4.3. DEPOSITOS ALUVIALES	14
3. INTERPRETACION GEOQUIMICA DE ROCAS	14
3.1. CONTENIDO DE ELEMENTOS EN ROCAS METAMORFICAS	15
3.1.1. DIAGRAMAS TRIANGULARES	18
3.1.2. DIAGRAMAS DE CORRELACION	18
3.1.3. GRAFICOS DE CONCENTRACION MEDIA	18
3.2. CONTENIDO DE ELEMENTOS EN ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS	18
3.2.1. DIAGRAMAS TRIANGULARES	22
3.2.2. DIAGRAMAS DE CORRELACION	22
3.2.3. GRAFICOS DE CONCENTRACION MEDIA	22
3.3. COMPARACION DEL CONTENIDO MEDIO DE ELEMENTOS EN EL CONJUNTO DE ROCAS IGNEO-METAMORFICAS CON LOS MATERIALES TOBACEOS	25
3.3.1. GRAFICOS DE CONCENTRACION MEDIA	25
4. OCURRENCIAS MINERALES	27
4.1. FILONES HIDROTERMALES	27
4.1.1. MINERALIZACIONES DE ORO Y PLATA	27
4.1.2. MINERALIZACIONES DE ANTIMONIO	29
4.1.3. MINERALIZACIONES DE MERCURIO	29
4.2. ALUVIONES	29
5. RELACION ENTRE LAS ROCAS IGNEAS Y LAS MINERALIZACIONES.	29
6. INTERPRETACION GEOQUIMICA DE SEDIMENTOS ACTIVOS	31
6.1. ANOMALIAS GEOQUIMICAS EN SEDIMENTOS ACTIVOS	32
6.1.1. FINOS SELECCIONADOS	35

6.1.1.1. Anomalías geoquímicas para un solo elemento	41
6.1.1.2. Anomalías geoquímicas para elementos superpuestos	41
6.1.2. CONCENTRADOS EN BATEA	56
6.1.2.1. Anomalías geoquímicas para elementos superpuestos	67
7. ZONAS DE DRENAJE ANOMALO MAS IMPORTANTES	70
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	76

FIGURAS

1. Mapa índice mostrando la localización del área estudiada	11
2. Diagramas triangulares: a) Fe, Mg, Ca, b) Fe + Ti, Mg + Ca, Ba X 100, c) Ba, Sr. Esquistos verdes y esquistos negros, análisis espectrográfico	19
3. Diagramas de correlación: a) Ba vs Sr, b) Cu vs Mo, c) Cu vs Pb, d) Cu vs Ag. Esquistos verdes y esquistos negros, análisis espectrográfico	20
4. Gráficos de concentración media de elementos. Esquistos verdes y esquistos negros. Análisis espectrográfico	21
5. Diagramas triangulares: a) Fe, Mg, Ca, b) Fe + Ti, Mg + Ca, Ba X 100, c) Ba, Cr, Sr. Pórfidos dacíticos y andesitas porfiríticas, análisis espectrográfico	22
6. Diagrama de correlación : a) Mg + Ca vs Cu, y, b) Ba vs Sr. Pórfidos dacíticos y andesitas porfiríticas - Análisis espectrográfico	23
7. Gráficos de concentración media de elementos pórfidos dacíticos y andesíticas. Análisis espectrográfico	24
8. Gráficos de concentración media de elementos. Conjunto de rocas ígneo-metamórficas y materiales tobáceos. Análisis espectrográficos	26
9. Ocurrencias de minerales metálicos	28
10. Relación entre las rocas ígneas y las mineralizaciones	30
11. Gráfico de concentración media de elementos. Sedimentos activos, fracción fina y fracción pesada. Análisis espectrográfico	34
12. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Hg y Sb. Sedimentos activos, fracción fina	36
13. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Au y Ba. Sedimentos activos, fracción fina	37
14. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Ag y Pb. Sedimentos activos, fracción fina	38

15. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Zn y Cu. Sedimentos activos, fracción fina	39
16. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Mo. Sedimentos activos, fracción fina y para Ba sedimentos activos, fracción pesada	40
17. Contenido de mercurio. Sedimentos activos, fracción fina. Detector para Hg.	42
18. Contenido de antimonio. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis colorimétrico	43
19. Contenido de oro. Sedimentos activos, fracción fina. Absorción atómica . . .	44
20. Contenido de bario. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico	45
21. Contenido de plata. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico	46
22. Contenido de plomo. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico	47
23. Contenido de zinc. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico	48
24. Contenido de cobre. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico	49
25. Contenido de estroncio. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico	50
26. Contenido de molibdeno. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis colorimétrico	51
27. Anomalías de elementos superpuestos. Sedimentos activos, fracción fina.	53
28. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Ag y Pb. Sedimentos activos, fracción pesada	57
29. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Zn y Cu. Sedimentos activos, fracción pesada	58
30. Contenido de Bario. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis Espectrográfico	59
31. Contenido de Plata. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis espectrográfico	60
32. Contenido de plomo. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis espectrográfico	61

33. Contenido de zinc. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis espectrográfico	62
34. Contenido de cobre. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis espectrográfico	63
35. Contenido de Arsénico. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis espectrográfico	64
36. Contenido de estroncio. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis espectrográfico	65
37. Anomalías de elementos superpuestos. Sedimentos activos, fracción pesada .	68
38. Zonas de drenaje anómalos más importantes. Sedimentos activos, fracción fina	72

TABLAS

1. Porcentaje de área aflorante de las diferentes unidades roca. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima	15
2. Límite inferior de detección de los elementos que analiza el espectrógrafo de emisión marca Jarrel Ash, modelo Wadsworth	15
3. Contenido promedio, máximo, mínimo y mediano de los diferentes elementos en las distintas unidades roca. Análisis espectrográfico. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima	16
4. Contenido promedio, máximo, mínimo y medio de los diferentes elementos en los sedimentos activos. Fracción pesada y fracción fina. Análisis espectrográfico. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima	33
5. Valores estadísticos de background y threshold - fracción fina-. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima	35
6. Intervalos de valores y porcentajes de concentración de los elementos indicadores. Fracción fina. Análisis espectrográficos, detector, absorción atómica y colorimetría. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima	52
7. Valores estadísticos de background y threshold, de los elementos indicadores. Análisis espectrográfico. Fracción pesada. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima	56
8. Intervalos de valores y porcentajes de los elementos indicadores. Fracción pesada. Análisis espectrográficos. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima.	66
9. Valores mínimos y máximos en las anomalías para un elemento y en las anomalías superpuestas para dos o más elementos. Sedimentos activos - fracción fina. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima	73

PLANCHA

1. Mapa Geológico del área entre los municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima(en bolsillo)

* * *

RESUMEN

En el área de los municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima, de interés para Au, Ag, Sb y Hg, se llevó a cabo un programa de prospección geoquímica regional, en base a muestras de sedimentos activos complementadas con muestras de rocas y filones.

En la región predominan rocas metamórficas del Grupo Cajamarca, las cuales son intruidas principalmente, por cuerpos pequeños de pórfidos dacíticos. Este conjunto fue posteriormente afectado por las fallas de Aranzazu y La Palestina. Finalmente, en eventos volcánicos recientes fueron depositados flujos de lavas y materiales piroclásticos.

La composición química de las distintas unidades roca está reflejada por las variaciones de los diferentes elementos, en los gráficos de concentración media, diagramas de correlación y diagramas triangulares. Los sedimentos activos, base principal del presente estudio, se forman a partir de materiales aportados por las diferentes rocas, de acuerdo a la resistencia de éstas a la meteorización y erosión. Materiales no consolidados como las tobas, contribuyen notoriamente a la formación de los sedimentos, aportando en este caso las concentraciones más altas de Pb y Sr, razón por la cual, estos dos elementos no se pueden utilizar individualmente como indicadores de mineralizaciones hidrotermales en el área.

Comparando la distribución de las mineralizaciones y sus anomalías asociadas, con la localización de las rocas ígneas y las fallas mayores, se observa que posiblemente existen tres clases diferentes de ocurrencias minerales hidrotermales: a) Mineralizaciones de Hg relacionadas a la Falla de Aranzazu, b) Manifestaciones de Sb asociadas a las fallas de Aranzazu y La Palestina, y c) Filones de Au y Ag conectados genéticamente con intrusiones de pórfidos dacíticos. En esta última, aparentemente se pueden distinguir dos zonas: 1) Una interna de alta temperatura donde afloran en forma frecuente apófisis de pórfidos dacíticos y donde la relación

$AgX\ 100/Ag + Pb + Zn + Cu$ es menor que la relación Cu/Zn en filones, y 2) Una zona marginal de baja temperatura donde no afloran rocas ígneas y la relación $AgX100/Ag + Pb + Zn + Cu$ es mayor que la relación Cu/Zn .

Relacionando la localización de las mineralizaciones con las anomalías encontradas, se observó que los elementos indicadores de mineralizaciones en sedimentos activos son: a) Hg para manifestaciones de cinabrio, b) Sb para filones con estibina, y c) Anomalías superpuestas de dos o más elementos tales como Au, Sb, Ag, Pb, Sr, Zn, Ba, Cu y Mo para mineralizaciones de Au y Ag.

La fracción pesada de los sedimentos activos muestra concentraciones más altas en la mayoría de los elementos que la fracción fina, pero comparando los drenajes anómalos de estas dos fracciones, se advierte que son muy semejantes; por lo tanto, se sugiere utilizar solamente la fracción fina para futuros trabajos de exploración geoquímica regional en áreas similares, debido a la facilidad en la recolección de las muestras y en la elaboración de los análisis.

Las zonas anómalas de interés están asociadas tanto a mineralizaciones conocidas como a sitios donde se desconocen ocurrencias minerales. Los drenajes anómalos más importantes son los siguientes: a) Para ocurrencias de Au y Ag, la quebrada Guayabal, los nacimientos de las quebradas San Rafael y Campoalegre, nacimientos de los ríos Navarco y Tochecito y parte alta de la quebrada La Plancha. b) Para manifestaciones de Hg, el afluente oriental parte media del río Navarco y la parte baja de la quebrada Santa Lucía, y c) Para manifestaciones de Sb, la parte media y afluentes orientales de la quebrada Aguas Claras.

1. INTRODUCCION

El área comprendida entre los municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima, muestra un evidente agrupamiento de

ocurrencias minerales filonianas de Au, Ag, Sb y Hg, las cuales han sido explotadas en forma transitoria desde finales del siglo pasado.

El objetivo principal del presente estudio es delimitar mediante un muestreo geoquímico de sedimentos activos, drenajes anómalos que conduzcan a la localización de nuevas zonas mineralizadas de interés económico, y además, establecer guías que sirvan de base en la exploración e interpretación geoquímica de otras regiones con condiciones geológicas similares en la Cordillera Central. Para lograr estos objetivos se investigaron tres puntos básicos: 1) La posible relación genética de las rocas ígneas con las mineralizaciones. 2) El contenido normal de los diferentes elementos en las rocas y su contribución media a los sedimentos activos, y 3) La importancia relativa de las dos fracciones en los sedimentos activos para la delimitación de drenajes anómalos.

Los trabajos de prospección geoquímica llevados a cabo hasta el momento por el INGEOMINAS en la Cordillera Central, se han efectuado fundamentalmente a partir de análisis de la fracción pesada -no magnética- de sedimentos activos, sin tener en cuenta la información suministrada por los finos seleccionados, ni el aporte de la roca a los sedimentos activos (KASSEM, T., et al., 1971, PEREZ, H., LOZANO, H., 1975).

En los 600 km² que cubren el área estudiada, se recolectaron en los cauces de ríos y quebradas, 518 muestras de sedimentos activos -fracción fina- y 537 muestras de concentrados en batea. Simultáneamente se elaboró el mapa geológico y se seleccionaron para análisis 120 muestras representativas de las distintas unidades roca.

El trabajo de campo se realizó durante los años de 1972 y 1973 y en él colaboraron los siguientes geólogos del INGEOMINAS: D. Mosquera, V. E. Pérez, H. Cáceres, H. Pérez, C. J. Buitrago, C. Heredia, C. J. Vesga, H. Lozano y H. Gaitán.

Las muestras de sedimentos activos y de rocas fueron analizadas por el método espectrográfico semicuantitativo para 33 elementos. Las muestras de la fracción fina fueron también analizadas por detector para Hg, absorción atómica para Au, y colorimetría para Sb y Mo. Además se utilizaron los análisis espectrográficos de filones que fueron visitados durante la realización del Mapa de Ocurrencias Minerales en el departamento del Tolima (BUITRAGO, C., BUENAVENTURA, J., 1975).

Con la anterior información se elaboraron diagramas de correlación, gráficos comparativos de concentración media y diagramas triangulares para conocer el contenido de los elementos en las rocas. Los valores de background y threshold en los sedimentos activos se calcularon a partir de histogramas y curvas de frecuencia acumulativa.

1.1. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA

El área estudiada se encuentra localizada al noreste del departamento del Quindío y al noroeste del departamento del Tolima; comprende casi la totalidad del municipio de Salento y parte del municipio de Cajamarca. Tiene una extensión de 600 km² y está ubicada en las planchas 244-IV-C; 225-III-D, 225-IV-C, 243-II-A, 243-II-C, 244-I-B, 244-I-D, 244-II-A y 244-II-C del IGAC. Geográficamente está definida por las coordenadas: 4°41'46" y 4°25'00" de latitud norte y 75°37'46" y 75°23'14" de longitud oeste (Fig. 1).

Las altitudes de la zona varían entre 2000 y 4200 m sobre el nivel del mar. La cima de la Cordillera Central tiene clima de páramo y hacia los flancos clima frío. Las temperaturas varían entre 4 y 17°C y toda la zona presenta alta precipitación pluvial. El relieve de la región es abrupto, con pendientes fuertes y pronunciadas que originan arroyos de cauces estrechos y profundos, los cuales forman abundantes saltos. La zona tiene baja densidad de población y escasas vías de comunicación. La vegetación es de tipo herbá-

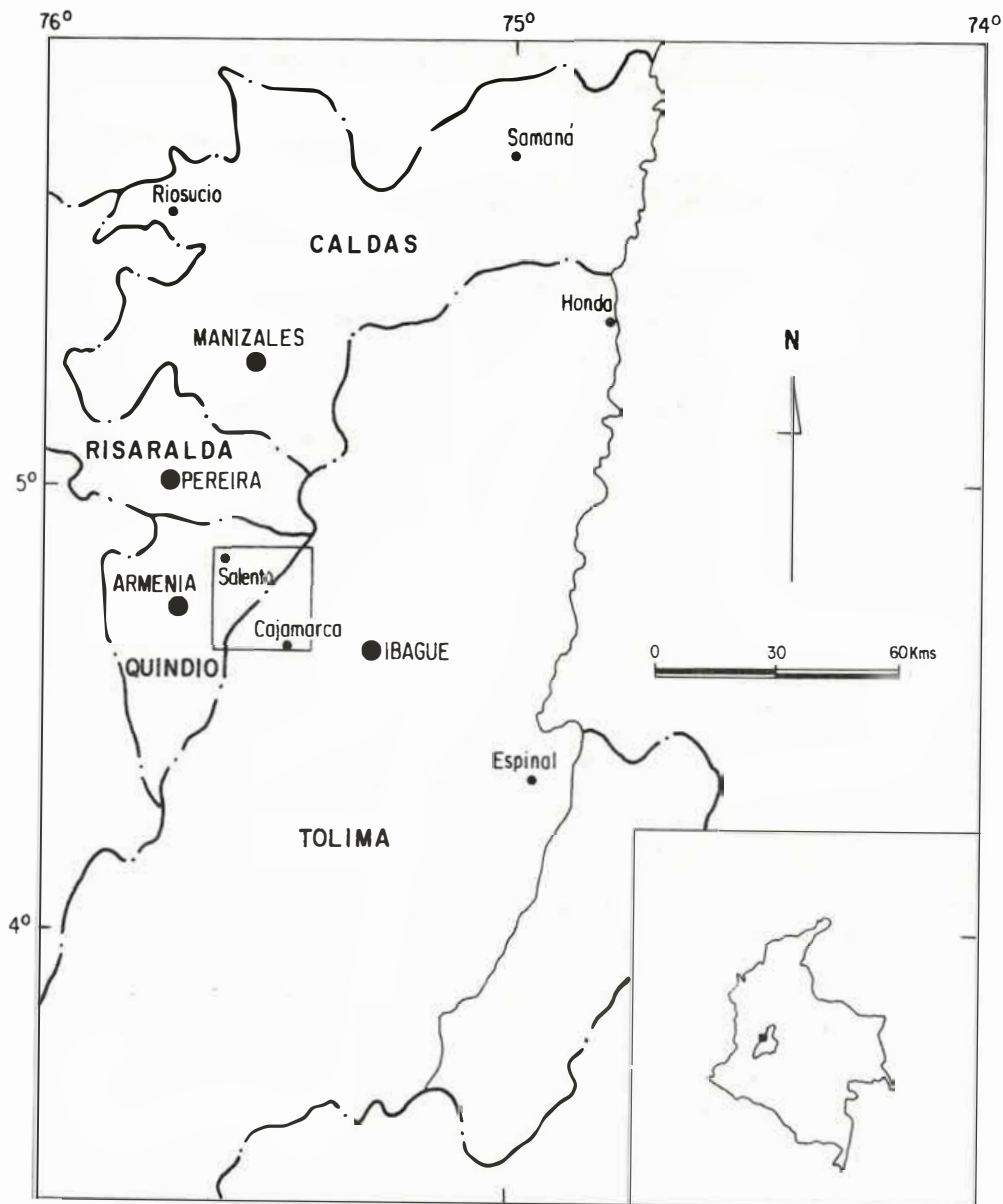


FIG. 1: Mapa índice mostrando la localización del área estudiada.

ceo con pocos arbustos y los bosques naturales han sido en su mayoría talados para la siembra de pastos.

2. GEOLOGIA REGIONAL

En el área se advierte un marcado predominio de rocas metamórficas y en menor proporción rocas ígneas, tanto intrusivas como extrusivas y rocas sedimentarias recientes. Plancha 1 (en bolsillo).

Las rocas metamórficas están afectadas por dos fallas regionales: a) Falla de La Amargura, la cual aparentemente es la prolongación sur de la Falla de La Palestina, con dirección N-NE (KASSEM, T., et al., 1971), y b) Falla de Aranzazu o Manizales con dirección N-S (MOSQUERA, D., et al., 1974). Asociadas a las fallas principales se observa un gran número de fracturas de poco desplazamiento.

2.1. ROCAS METAMORFICAS

Las rocas metamórficas están representadas por filitas y esquistos negros cuarzo - sericítico - grafitosos, esquistos verdes clorítico - actinolíticos, cuarcitas, anfibolitas y neises cuarzo - feldespático - biotíticos.

Esta secuencia metamórfica es la que presenta mayor exposición en el área. Está fuertemente plegada, siendo la dirección regional de la foliación aproximadamente norte - sur con ligeras variaciones al este y al oeste. Se caracteriza por una alternancia no bien definida de los anteriores tipos de rocas, en las cuales se observan cambios laterales de facies que originan interdigitaciones de un tipo de roca en otro. Nelson, H. (1956), denominó este conjunto, Grupo de Cajamarca, asignándole una edad paleozoica. Barrero, D. et al. (p.153, 1969), le atribuyen una edad paleozoica inferior, probablemente Cambro-ordoviciana.

El Grupo Cajamarca en el área estudiada, presenta metamorfismo regional dinámico - término de bajo grado, característico de la facies esquistos verde.

2.1.1. FILITAS Y ESQUISTOS NEGROS CUARZO-SERICITICO-GRAFITOSOS

Son rocas laminadas de color negro cuando frescas, y gris claro cuando están alteradas. Tienen grano fino, laminación hasta de 1 mm y frecuentemente se observa cuarzo lechoso inyectado en forma de lentejones a través de los planos de foliación. Están compuestas de cuarzo, feldespato, sericita, grafito y trazas de pirita.

2.1.2. ESQUISTOS VERDES CLORITICO-ACTINOLITICOS

Son rocas de color verde oliva cuando frescas y de color ocre cuando están alteradas; se encuentran foliadas y en estratos macizos. Están compuestas por anfibolita, epidota, clorita, albita y en menor proporción cuarzo y minerales opacos. La presencia de intercalaciones delgadas de cuarzo y material carbonatado es frecuente, dando localmente a la roca un aspecto néisico.

2.1.3. CUARCITAS

Comúnmente los afloramientos son frescos y macizos, la roca es de color gris claro a negro y de grano fino. Está compuesta por cuarzo, feldespato y ocasionalmente biotita. Presenta inyecciones de cuarzo lechoso algunas veces mineralizado con pirita, blenda y galena.

2.1.4. ANFIBOLITAS

Son rocas de grano medio a grueso, bien foliadas y ocasionalmente cizalladas. Están compuestas de hornblenda plagioclasa con algo de cuarzo y pirita diseminada (1%). Se presentan comúnmente atravesadas por venillas de material cuarzo - feldespático.

2.1.5. NEIS INTRUSIVO

Roca de color gris claro, orientada, inequigranular, grano medio a grueso, compuesto por cuarzo anhedral (50%) con extinción ondulatoria, plagioclasa sericitizada (20-26%), clorita (hasta 23%) producto de alteración de biotita, y moscovita (hasta 20%).

Esta roca intruye a las anfibolitas formando en algunos contactos zonas de migmatización. La asociación neis intrusivo y anfibolita se ha observado en varios sitios de la Cordillera Central. En el área, forman en conjunto una franja de 15 km de largo por 3 km de ancho. La edad radiométrica para una roca similar cartografiada en el cuadrángulo K-9 (BARRERO, D., VESGA, J., et al., 1972) es de 205 ± 7 m.a., establecida por el método K/A en biotita (MARVIN, F., et al., 1973).

2.2. ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

Las rocas ígneas intrusivas cubren aproximadamente el 4% del área y están representadas por cuatro tipos bien diferenciados: Complejo Igneo del Río Navarco, diabasas, pórfidos dacíticos y andesitas porfiríticas hornbléndicas.

2.2.1. COMPLEJO IGNEO DEL RIO NAVARCO

Se da este nombre a un cuerpo de forma alargada en dirección N-S que aflora al oeste del área, y en una superficie de 10 km^2 (MOSQUERA, D., et al., 1974). Está compuesto por un conjunto de rocas de composición diorítica a cuarzdiorítica que difieren en el tamaño del grano y contenido de máficos. Presenta xenolitos de rocas metamórficas del Grupo Cajamarca.

Por su similaridad en composición se ha correlacionado este cuerpo con el Complejo Igneo de Samaná, de edad cretácea inferior (BARRERO, D., VESGA, J., et al., 1972).

2.2.2. DIABASAS

Se presentan dos pequeños cuerpos de diabasa de forma alargada, en dirección aproximada N-S. Uno está localizado 8 km al sur de la población de Salento, en el cauce del río Navarco y el otro en el sitio denominado La Línea, carretera Cajamarca-Calarcá. Tienen color verde, grano fino y poco diaclasamiento.

2.2.3. PORFIDOS DACITICOS

Afloran como pequeños stocks hacia la parte central del área y principalmente al este de la Falla de Aranzazu.

La roca tiene matriz afanítica, color gris medio, fenocristales de plagioclasa, pequeños cristales de hornblenda cloritizada y piritita diseminada.

Estudios microscópicos mostraron matriz microgranular, compuesta por plagioclasa y cuarzo, que varía entre 50 y 60%. Los fenocristales de plagioclasa (30-40%) son anhedrales a subhedrales: $n >$ bálsamo, An 30-40, oligoclasa - andesina; la mayoría de los cristales son zonados y hacia el centro se observa sausrutización con alteración parcial a sericita, epidota y calcita. El cuarzo (10-20%), se presenta en fenocristales grandes, subhedrales, limpios, con inclusiones fluidas, pero la mayoría está restringido a la matriz en forma microgranular. La hornblenda se encuentra totalmente alterada principalmente a clorita. (5-15%), con calcita, epidota, esfena y magnetita asociadas. Biotita sólo se observa en algunas muestras y ocasionalmente como cristales individuales aislados. Piritita entre 1 y 4%, se presenta diseminada en cristales anhedrales pequeños.

2.2.4. ANDESITAS PORFIRITICAS HORNBLENDICAS

Afloran al oeste del área en forma de pequeños apófisis asociados a las fallas mayores.

La roca tiene matriz afanítica, color gris oscuro, fenocristales anhedrales a subhedrales de plagioclasa hasta de 1 cm, y pequeños cristales de hornblenda.

La matriz es finogranular, feldespática y varía entre 45 y 62%. La plagioclasa (16-35%) se presenta bien maclada, en general fresca; algunas están zonadas y parcialmente se alteran a sericita: $n >$ bálsamo, An 40-48, andesina. El cuarzo (hasta 1%) es anhedral y presenta bordes reabsorbidos. La hornblenda (8-20%) es euhedral a subhe-

dral y se encuentra parcialmente alterada a clorita y biotita. Los opacos (hasta 1%) están representados por cristales euhedrales pequeños de piritita.

2.3. ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS

Afloran lavas andesíticas y andesítico-basálticas, y rocas piroclásticas, correspondiente al Complejo Volcánico del Ruiz y Tolima. Este sistema está constituido por siete cuellos volcánicos, lineados en dirección N-S y ubicados en la cima de la Cordillera Central.

2.3.1. LAVAS ANDESITICAS Y ANDESITICO-BASALTICAS

Hacia el NE se presenta una secuencia de lavas de composición andesítica con hiperstena y augita, de edad Pleistoceno-Holoceno (HERD, G., 1974).

Estas rocas se originaron por emanaciones de lava de los volcanes nevados del Quindío y Tolima; tiene color gris claro, comúnmente vesiculares, muestran estratificación por flujo y descansan en discordancia angular sobre rocas metamórficas del Grupo Cajamarca.

2.3.2. ROCAS PIROCLASTICAS

Como consecuencia del carácter explosivo intermitente del vulcanismo, se encuentran varios ciclos de materiales tobáceos. Estos materiales fosilizan y suavizan la topografía pre-existente, cubriendo aproximadamente un 35% del área, en forma de parches irregulares con espesores que llegan hasta los 100 m. Se distinguen dos tipos: a) tobas feldespáticas, que se meteorizan formando arcillas compactas, y b) tobas pumíticas.

2.4. ROCAS SEDIMENTARIAS RECIENTES

Se observan tres tipos diferentes de depósitos sedimentarios: morrenas, flujos de lodo y depósitos aluviales.

2.4.1. MORRENAS

Son acumulaciones marginales de los glaciares, compuestos esencialmente de bloques subangulares de rocas volcánicas.

2.4.2. FLUJOS DE LODO

En los alrededores de la localidad de Salento se encuentra un depósito de flujo de lodo, de matriz tobácea-arenácea y bloques subangulares a subredondeados de rocas volcánicas.

En la cuenca del río Toche y en las cercanías de Cajamarca se presenta otro flujo de lodo, compuesto esencialmente por cenizas volcánicas hasta de 100 m de espesor.

2.4.3. DEPOSITOS ALUVIALES

Son depósitos no diferenciados de arenas y conglomerados, relativamente sueltos y acumulados en los cauces de ríos y quebradas. Los más importantes por su magnitud son los formados por el río Quindío.

3. INTERPRETACION GEOQUIMICA DE ROCAS

En la realización de cualquier programa de exploración geoquímica, donde se utilicen como base de la investigación sedimentos activos, se deben tener en cuenta, entre otros, los siguientes factores: 1) tipos de rocas que afloran en el área, 2) proporción o abundancia de las diferentes rocas, 3) facilidad con que las distintas unidades roca se descomponen y son transportadas, 4) concentración media de los elementos en las distintas unidades, 5) en el caso de rocas ígneas, averiguar en lo posible si éstas pertenecen a uno o varios períodos magmáticos y sus relaciones con las mineralizaciones.

Estos aspectos serán brevemente discutidos más adelante en cada una de las principales unidades roca.

La Tabla 1 muestra los tipos de rocas que afloran en el área con sus respectivos porcentajes de área aflorante.

UNIDADES	% DE AREA AFLORANTE
Cuarcita	2.9
Neis Intrusivo	4.0
Esquistos Negros	27.0
Esquistos Verdes	18.0
Complejo Igneo del Río Navarco	2.0
Diabasa	0.1
Pórfidos Dacíticos	1.0
Andesitas Porfiríticas Hornbléndicas	1.0
Lava andesítica	8.0
Flujos de lodo	4.0
Material tobáceo	30.0
Cuaternario Aluvial	2.0

TABLA 1. Porcentaje de área aflorante de las diferentes unidades roca. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima.

Las rocas ígneas y metamórficas, dadas sus condiciones de formación presentan mayor resistencia a la meteorización y erosión que las tobas. Estas últimas forman una cobertura irregular con espesores variables de materiales sueltos, los cuales son fácilmente transportados por las corrientes de agua. Por consiguiente, las tobas representan la mayor contribución a los sedimentos activos, factor que puede llegar a influir en la interpretación de los resultados.

Para averiguar la proporción de los elementos aportados a los sedimentos, se analizaron 120 muestras de las diferentes rocas, discriminadas así: cuarcitas (10), neis intrusivo (4), esquistos negros (28), esquistos verdes (21), Complejo Igneo del río Navarco (4), pórfidos dacíticos (10), andesitas porfiríticas (23), tobas (16) y otros (4).

Las muestras fueron analizadas por el método espectrográfico semicuantitativo para 33 elementos, en la Subdirección de Investigaciones Químicas del INGEOMINAS, por los químicos V.J. García, F. Roa y D. Monsalve. Esta sección dispone de un espectrógrafo de emisión marca Jarrel Ash, modelo Wadsworth, de 1.5 m de largo, dispersión lineal de 10.8 Angstroms por mm y rata de dispersión de 15.000 ranuras por pulgada. Los límites inferiores de detección del espectró-

grafo para los diferentes elementos aparecen en la Tabla 2.

Elemento	Límite de detección (ppm)	Elemento	Límite de detección (ppm)
Fe	500	La	20
Mg	200	Mo	5
Ca	500	Ni	5
Ti	20	Nb	10
Mn	10	Pb	10
Ag	0.5	Pd	5
Au	10	Pt	30
As	200	Sb	100
B	10	Sc	5
Ba	20	Sn	10
Be	1	Sr	100
Bi	10	V	10
Cd	20	W	50
Co	5	Y	10
Cr	10	Zr	10
Cu	5	Zn	200
Ga	10		

TABLA 2. Límite inferior de detección de los elementos que analiza el espectrógrafo de emisión marca Jarrel Ash, modelo Wadsworth.

La Tabla 3, muestra el contenido promedio, máximo, mínimo y mediano de los diferentes elementos en las distintas unidades rocas.

3.1. CONTENIDO DE ELEMENTOS EN ROCAS METAMORFICAS

La composición química de las rocas metamórficas es extremadamente variable, sin embargo la tendencia del metamorfismo, en general, es disminuir esta variación y producir rocas más o menos uniformes en composición mineralógica dentro de una misma facies. Es posible determinar la composición original de una roca metamórfica por su composición original de una roca metamórfica por su composición química aún después de haber sido totalmente recristalizada y de haber desaparecido completamente su estructura original. Mason, B. (p. 279, 1966) basado en los trabajos de Shaw, sugiere que los elementos trazas en rocas metamórficas pueden servir como guías en la investigación

UNIDADES ROCA									
Elemento	Valores	Esquisto Verde	Esquisto Negro	Cuarcita	Neis Intrusivo	Comp. Ign. Río Navarco Dior-Cuarz.	Pórfidos Dacític.	Andesitas Porfirít.	Tobas
		N.M.= 21 ppm	N.M.= 28 ppm	N.M.= 10 ppm	N.M.= 4 ppm	N.M.= 4 ppm	N.M.= 10 ppm	N.M.= 23 ppm	N.M.= 16 ppm
Fe	Pr.	28.500	17.700	23.700	10.000	20.000	11.400	11.700	17.200
	Máx.	50.000	50.000	50.000	15.000	30.000	15.000	20.000	30.000
	Mín.	15.000	3.000	2.000	5.000	15.000	5.000	3.000	10.000
	Md.	20.000	15.000	20.000	10.000	15.000	10.000	10.000	15.000
Ca	Pr.	15.900	1.750	5.610	4.800	8.000	4.500	6.280	7.800
	Máx.	50.000	10.000	20.000	10.000	15.000	7.000	15.000	10.000
	Mín.	2.000	L 500	L 500	700	2.000	2.000	500	5.000
	Md.	15.000	700	3.000	7.000	10.000	5.000	7.000	7.000
Mg	Pr.	14.800	4.960	6.450	6.250	10.000	2.670	4.990	6.900
	Máx.	30.000	20.000	20.000	15.000	15.000	5.000	10.000	15.000
	Mín.	1.500	800	L 200	2.000	5.000	2.000	1.000	2.000
	Md.	15.000	3.000	5.000	5.000	10.000	2.000	5.000	7.000
Ti	Pr.	3.570	2.840	3.700	1.600	3.000	1.000	1.350	2.300
	Máx.	10.000	7.000	7.000	3.000	5.000	1.500	2.000	5.000
	Mín.	700	700	300	700	2.000	700	700	1.500
	Md.	3.000	3.000	2.000	700	2.000	1.000	1.500	2.000
Ba	Pr.	45	524	360	312.5	90	333.3	522	406.3
	Máx.	200	1.000	1.000	700	200	700	1.000	700
	Mín.	L 20	20	100	50	20	200	100	200
	Md.	L 20	500	200	300	100	300	300	300
Mn	Pr.	462	258	286	187	400	115	191	400
	Máx.	1.000	1000	1.000	300	700	300	300	700
	Mín.	200	20	70	100	300	20	70	200
	Md.	300	150	200	200	300	70	200	500
V	Pr.	204	182	250	70	150	46.7	81	78.1
	Máx.	500	500	500	150	300	70	200	150
	Mín.	30	30	10	30	50	30	30	50
	Md.	150	150	200	50	150	50	70	70
Sr	Pr.	112	77	75	100	137.5	250	243	287.5
	Máx.	200	100	100	200	200	300	500	500
	Mín.	100	100	100	100	100	200	100	200
	Md.	100	100	100	100	150	200	200	300
Cu	Pr.	42	40	134	15	32.5	75	18	18.7
	Máx.	100	160	500	30	70	300	70	70
	Mín.	15	7	7	5	10	L 5	5	L 10
	Md.	30	30	30	15	30	50	10	15
Zr	Pr.	74	118	80	80	112.5	47.5	60	82.5
	Máx.	150	200	150	150	150	100	150	150
	Mín.	30	20	10	10	100	15	10	30
	Md.	70	100	70	150	100	30	30	70
Ni	Pr.	31	21	60	19.3	16.3	3.7	6	15.6
	Máx.	100	70	150	50	20	10	20	30
	Mín.	5	5	5	5	10	5	5	L 5
	Md.	20	15	70	15	20	5	7	15
Co	Pr.	29	11	24	10.8	27.5	5.8	8	6.37
	Máx.	50	50	70	15	50	20	20	20
	Mín.	5	5	5	L 5	10	N	5	5
	Md.	30	7	10	15	30	L 5	7	5

Tabla 3.

Continúa

Continuación

Elemento	Valores	UNIDADES ROCA							
		Esquisto Verde	Esquisto Negro	Cuarcita	Neis Intrusivo	Comp.Ign. Río Nario	Pórfidos Dacític.	Andesitas Porfírit.	Tobas
		N.M.= 21 ppm	N.M.= 28 ppm	N.M.= 10 ppm	N.M.= 4 ppm	N.M.= 4 ppm	N.M.= 10 ppm	N.M.= 23 ppm	N.M.= 16 ppm
Cr	Pr.	227.4	106.5	194	101.3	72.5	8.2	22.9	49.7
	Máx.	500	500	700	300	150	10	100	100
	Mín.	N	N	N	15	10	N	N	10
	Md.	200	100	100	70	100	L 10	20	50
Sc	Pr.	20.1	13.6	15	4.1	17.5	3.7	7.8	9.3
	Máx.	30	30	30	15	20	5	20	20
	Mín.	7	5	N	L 5	15	N	L 5	N
	Md.	20	15	15	10	20	L 5	7	7
Ga	Pr.	12.9	12	12	7.8	9.8	10.7	10.4	15.4
	Máx.	30	20	30	10	15	20	15	20
	Mín.	L 10	L 10	N	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10
	Md.	15	10	10	L 10	10	10	10	15
Y	Pr.	17.1	14.1	14.4	12.5	17.5	5.7	7	10.2
	Máx.	30	30	20	20	20	L 10	20	20
	Mín.	L 10	N	L 10	N	15	N	N	N
	Md.	15	15	20	20	20	N	L 10	L 10
Be	Pr.	0.2	1.3	0.9	0.8	0.7	0.8	0.7	1.5
	Máx.	1	3	2	1	L 1	1.5	1.5	2
	Mín.	N	N	N	N	N	N	N	1
	Md.	N	2	1	1	L 1	L 1	N	1.5
Mo	Pr.	N	5	6	N	N	N	3	2.3
	Máx.	5	15	20	N	N	N	10	15
	Mín.	N	N	L 5	N	N	N	N	N
	Md.	N	N	L 5	N	N	N	N	N
Pb.	Pr.	N	12	12	6	5.5	6.5	6	27.3
	Máx.	N	70	50	L 10	L 10	10	15	150
	Mín.	N	N	N	N	N	N	N	L 10
	Md.	N	10	L 10	L 10	N	N	N	30
Ag	Pr.	N	0.5	N	N	N	0.3	0.3	N
	Máx.	N	3	5	N	N	0.7	1.5	N
	Mín.	N	L 5	N	N	N	N	N	N
	Md.	N	L 5	1	N	N	N	N	N
La	Pr.	N	13.9	N	N	N	13.3	N	N
	Máx.	N	70	N	N	N	20	N	N
	Mín.	N	N	N	N	N	N	N	N
	Md.	N	L 20	N	N	N	N	N	N

TABLA 3. Contenido promedio, máximo, mínimo y mediano de los diferentes elementos en las distintas unidades roca. Análisis espectrográfico. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima.

NOTA: N = Elemento no detectado en el límite inferior de detección.
 L = Valor menor que el indicado a continuación de la L.
 G = Valor mayor que el indicado a continuación de la G.

N.M. = Número de muestras.
 Valores: Pr. = promedio, Máx.= máximo, Mín.= mínimo, Md. = mediano.

del carácter original de la roca, pues éstos permanecen relativamente constantes después del metamorfismo.

En este estudio no se va a investigar el origen de las rocas metamórficas, sin embargo, usaremos algunos de los conceptos arriba citados, por ser de utilidad en exploración.

3.1.1. DIAGRAMAS TRIANGULARES

Las rocas metamórficas de mayor ocurrencia en el área son esquistos negros y esquistos verdes. La Figura 2 muestra tres diagramas triangulares, calculados con los resultados de los análisis espectrográficos en estos dos tipos de rocas.

En el diagrama (a) con los elementos mayores Fe, Mg y Ca, las rocas presentan agrupaciones diferentes aunque existe una zona de superposición entre las dos unidades.

En el diagrama (b) utilizando elementos mayores asociados Fe + Ti, y Mg + Ca comparados con Ba X 100, la separación entre las dos rocas es más definida.

Por último, en el diagrama (c) combinando los elementos trazas Ba, Cr y Sr, la separación entre los esquistos negros y verdes en total, mostrando los primeros mayor concentración en Ba y los segundos mayor contenido en Cr. Esto indica que los elementos trazas son aparentemente las mejores guías para determinar la composición de las rocas metamórficas. El Ba y el Sr son elementos muy comunes en filones de cuarzo, por tanto es posible utilizarlos como indicadores de mineralizaciones hidrotermales en prospección geoquímica.

3.1.2. DIAGRAMAS DE CORRELACION

La Figura 3 muestra los diagramas de correlación de Ba, vs. Sr, Cu vs. Mo, Cu vs. Pb y Cu vs. Ag en esquistos verdes y en esquistos negros.

En el diagrama (a) los esquistos negros presentan amplia dispersión en la concentración de Ba, entre 300 y 1000 ppm, en tanto que Sr varía únicamente entre 0 y 100 ppm. Los esquistos verdes muestran un contenido muy escaso, inferior a 200 ppm, en estos dos elementos.

En los diagramas (b, c y d), el contenido de Cu para los esquistos verdes y negros varía entre 0 100 ppm, mientras la concentración de Mo, Pb y Ag para algunas muestras es sensiblemente mayor en los esquistos negros.

3.1.3. GRAFICOS DE CONCENTRACION MEDIA

En la Figura 4 se comparan las concentraciones medias de varios elementos: el contenido de Fe, Ca, Mg, Mn, Ni, Co, Cr, Sc y Ga, es mayor en los esquistos verdes; Ba, Zr, Be, Mo, Pb, Ag y La, presentan valores más altos en los esquistos negros, mientras que únicamente el contenido medio de Ti, V, Sr, Cu e Y, es igual en las dos rocas. Estas diferencias pueden deberse principalmente a distinto origen primario en las dos unidades; los esquistos negros, derivados de sedimentos pelíticos y los esquistos verdes posiblemente formados a partir de materiales volcánicos.

Estas gráficas, donde solamente se han tenido en cuenta rocas metamórficas, muestran que valores por encima de 500 ppm en Ba, 100 ppm en Sr, 30 ppm en Cu, 1 ppm en Pb y 1 ppm en Ag, pueden ser indicadores de mineralizaciones, si la interpretación se realiza en base a muestras de roca.

3.2. CONTENIDO DE ELEMENTOS EN ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

Las rocas ígneas intrusivas constituyen solamente el 4% de las rocas expuestas en el área. De este conjunto únicamente discutiremos someramente los pórfidos dacíticos y las andesitas porfiríticas por su posible relación con las mineralizaciones observadas.

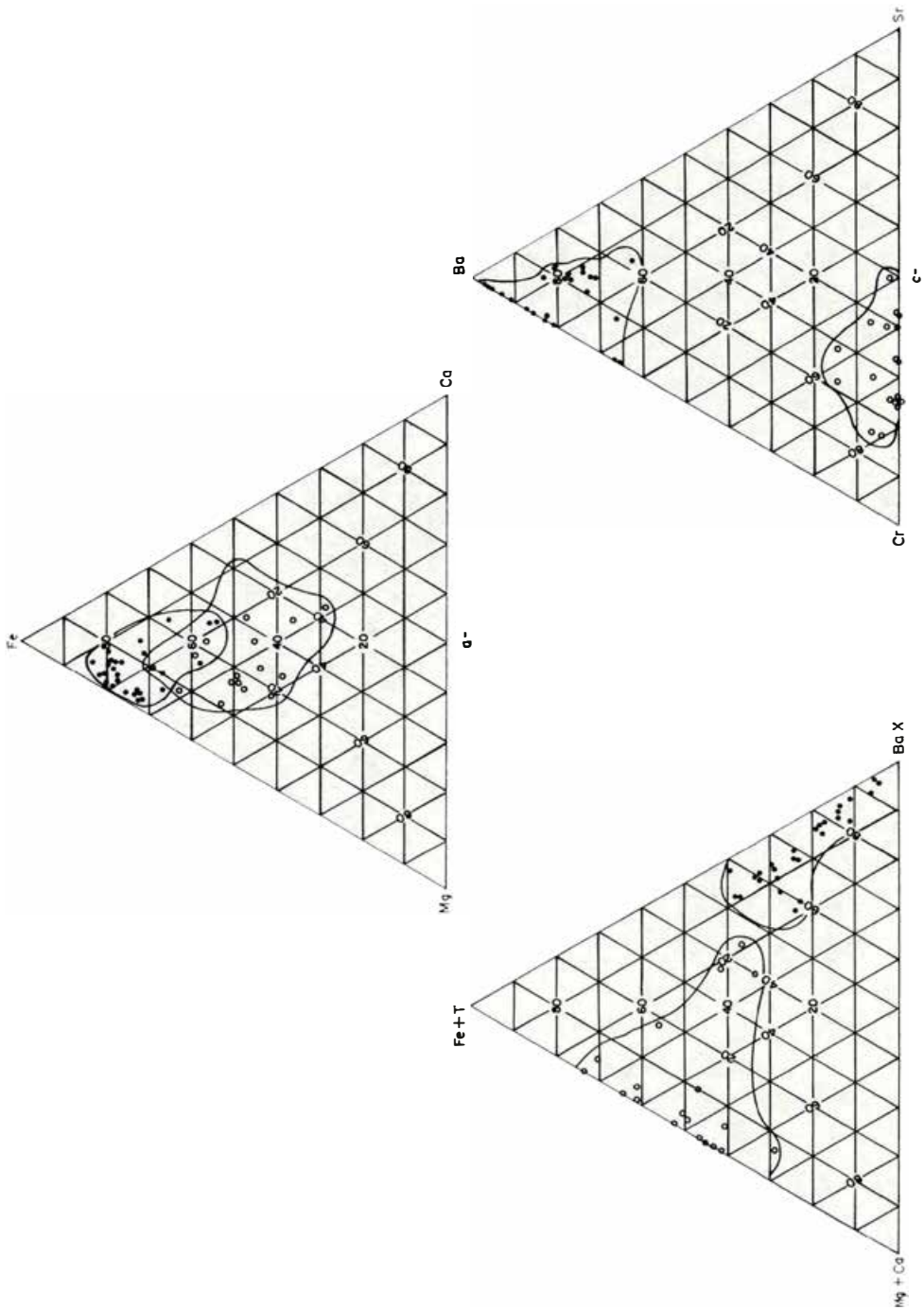


FIG. 2: Diagramas triangulares: a) Fe, Mg, Ca, b) Fe + Ti, Mg + Ca, Ba X 100, c) Ba, Sr. Esquistos verdes y esquistos negros, análisis espectrográfico.

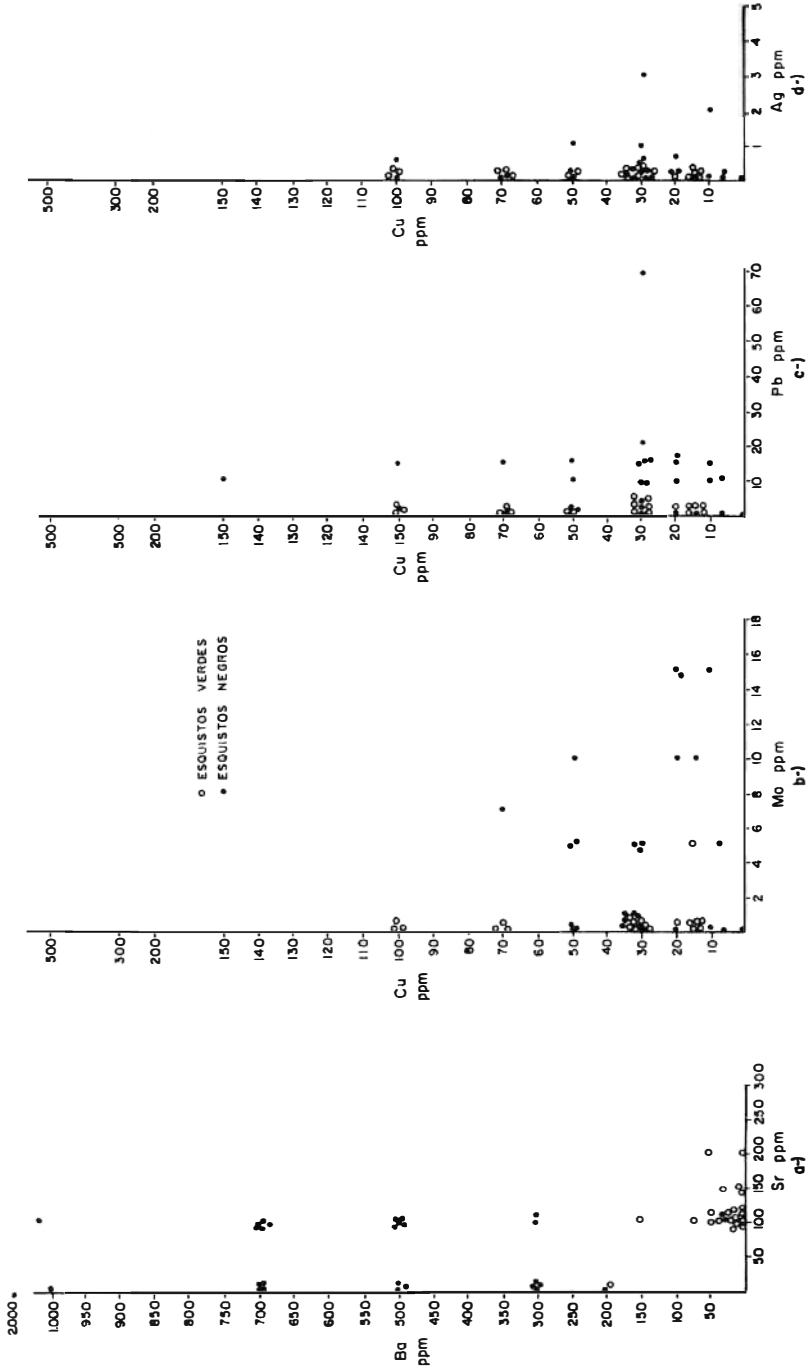


FIG. 3: Diagramas de correlación: a) Ba vs Sr, b) Cu vs Mo, c) Cu vs Pb, d) Cu vs Ag. Esquistos verdes y esquistos negros, análisis espectrográfico.

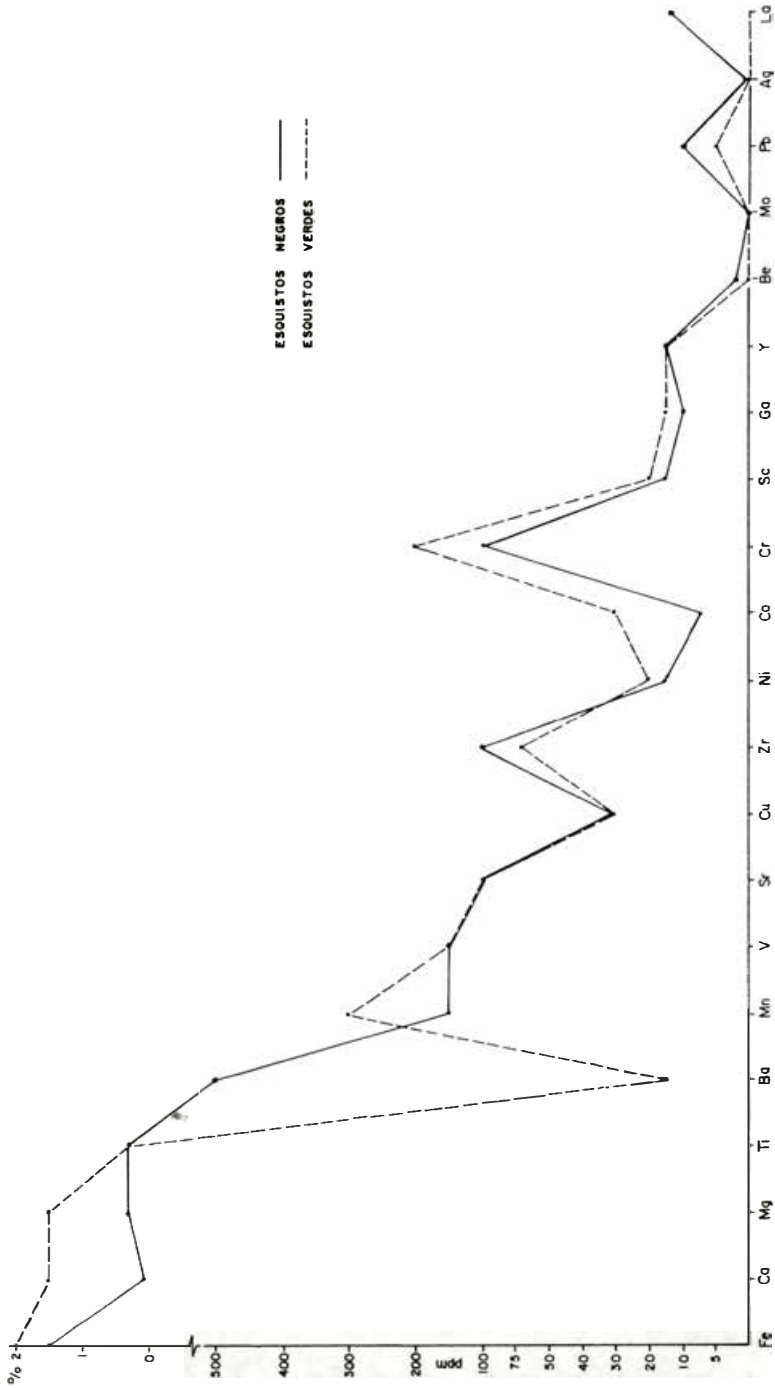


FIG. 4: Gráficos de concentración media de elementos. Esquistos verdes y esquistos negros. Análisis espectrográfico.

3.2.1. DIAGRAMAS TRIANGULARES

La Figura 5 muestra los diagramas triangulares de: a) elementos mayores Fe, Mg, Ca; b) elementos combinados Fe + Ti, Mg + Ca y Ba X 100; y c) elementos trazas Ba, Cr y Sr.

No se presenta en ninguno de los diagramas una distinción clara entre las dacitas y andesitas, sólo se puede anotar que en (b) las andesitas porfíricas tienen una mayor tendencia a agruparse en valores altos de Ba cuando se comparan con Fe + Ti y Mg + Ca, y en el diagrama (c) las dos rocas presentan muy bajo contenido en Cr en comparación con Ba y Sr.

3.2.2. DIAGRAMAS DE CORRELACION

La Figura 6 muestra los diagramas de correlación: a) Mg+Ca vs Cu; y b) Ba vs Sr.

En (a) el Cu presenta en las dos rocas valores por debajo de 70 ppm.

En (b) las andesitas y dacitas muestran concentraciones de Ba inferiores a 1.000 ppm y de Sr menores de 500. El contenido de otros elementos indicadores tales como Au, Ag, Pb, Mo en la mayoría de los casos es inferior al límite de detección del espectrógrafo.

3.2.3. GRAFICOS DE CONCENTRACION MEDIA

Considerando 21 elementos en los gráficos de concentración media (Fig. 7) se puede observar que las dacitas y andesitas tienen valores aproximadamente iguales en Fe, Ti, Ba, Sr, Zr, Ga, Be, Mo, Pb y Ag. En todos los otros elementos las dacitas muestran contenidos medios menores que los pórfidos andesíticos, a excepción de Cu.

De los diagramas anteriores, se puede deducir que las andesitas y dacitas tienen composición intermedia, no siendo posible establecer una separación definida a partir del contenido en elementos trazas.

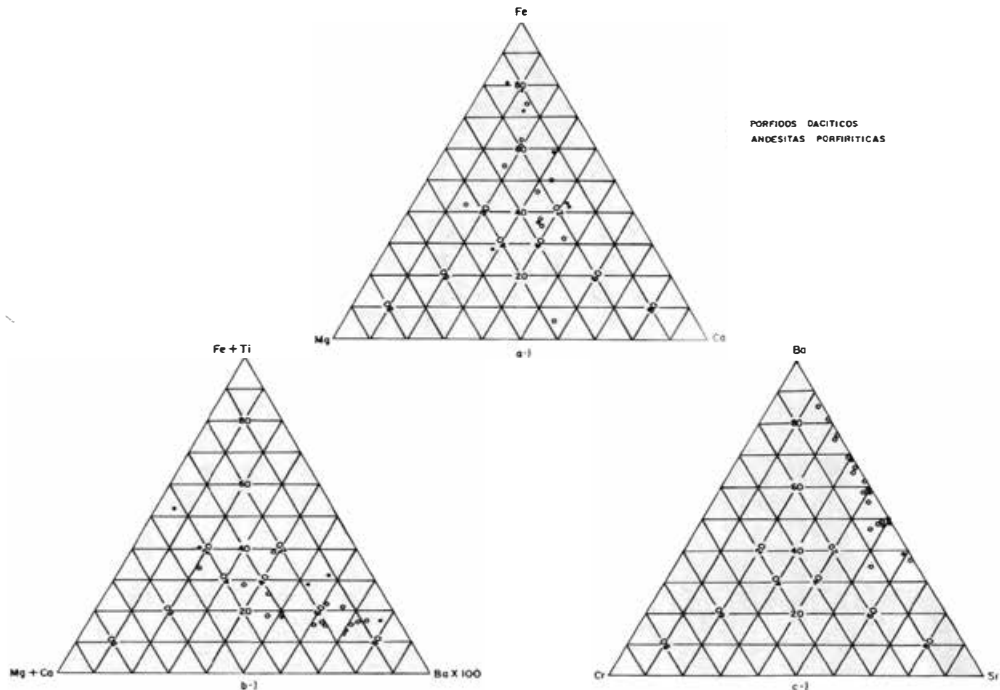


FIG. 5: Diagramas triangulares: a) Fe, Mg, Ca, b) Fe + Ti, Mg + Ca, Ba X 100, c) Ba, Cr, Sr. Pórfidos dacíticos y andesitas porfíricas, análisis espectrográficos.

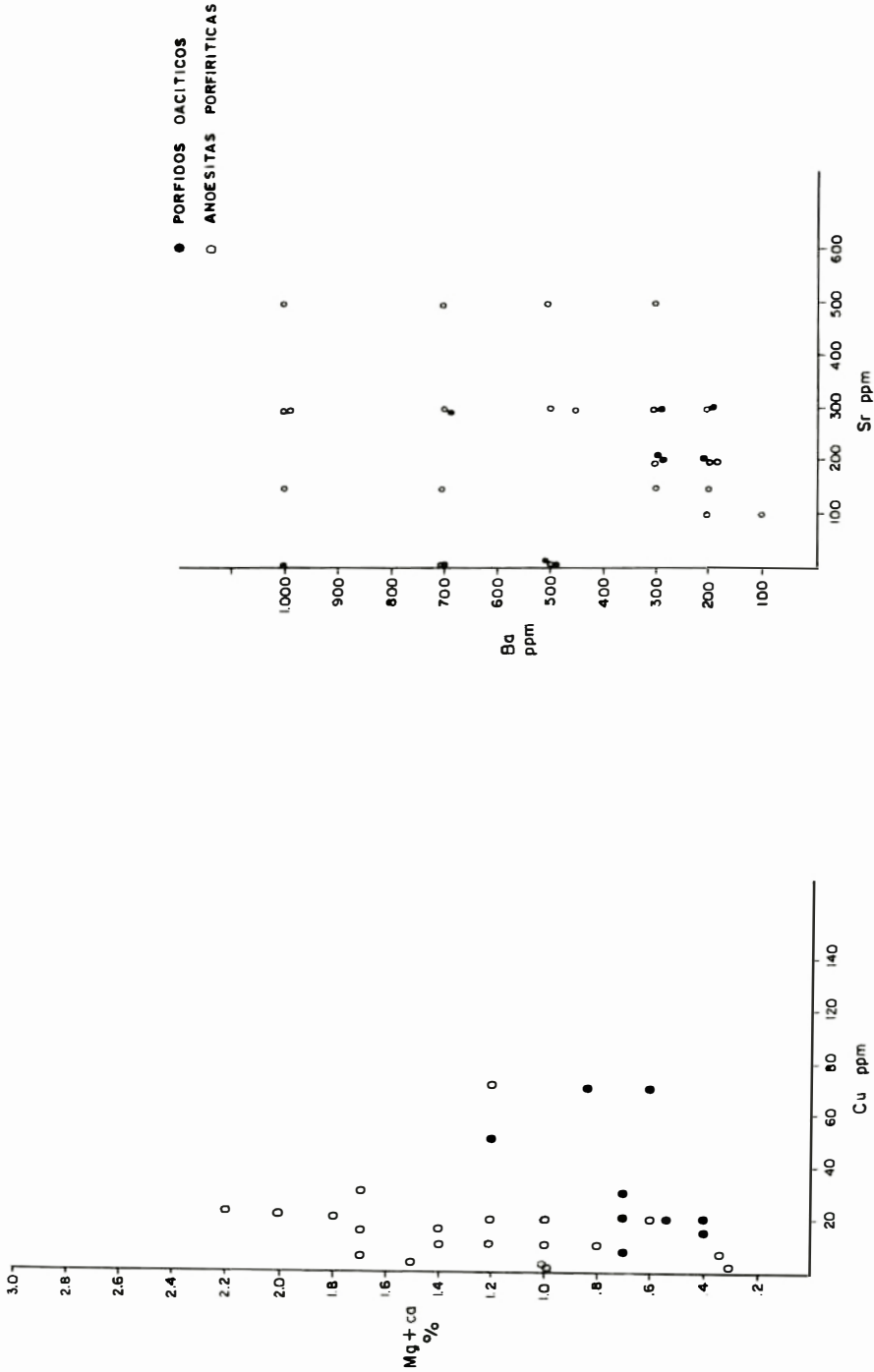


FIG. 6: Diagrama de correlación : a) Mg + Ca vs Cu, Y, b) Ba vs Sr. Pórfidos dacíticos y andesitas porfiríticas - Análisis espectrográfico.

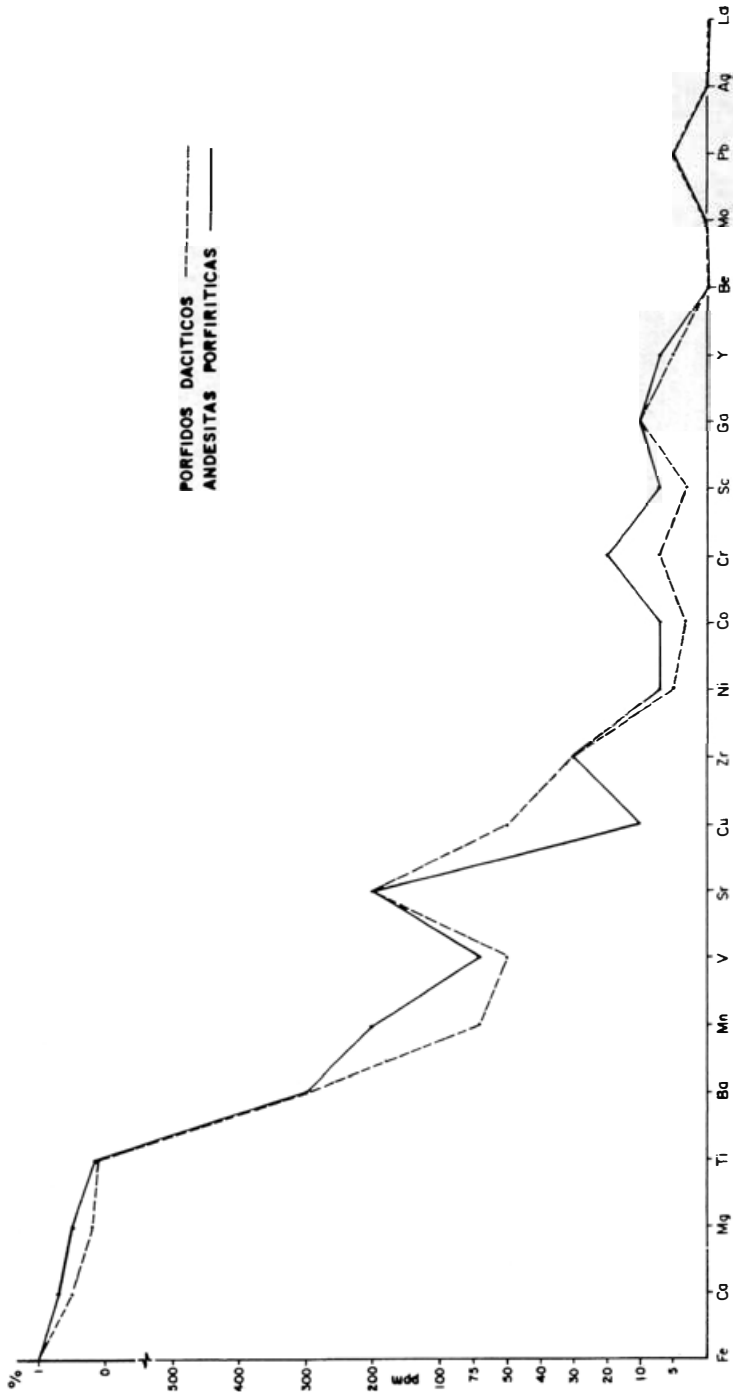


FIG. 7: Gráficos de concentración media de elementos pórfidos dacíticos y andesíticas. Análisis espectrográfico.

Estas rocas se deben considerar, únicamente, como posibles generadores de mineralizaciones de tipo filoniano, ya que por su reducida área aflorante, su contribución a los sedimentos activos es escasa.

3.3. COMPARACION DEL CONTENIDO MEDIO DE ELEMENTOS EN EL CONJUNTO DE ROCAS IGNEO-METAMORFICAS CON LOS MATERIALES TOBACEOS

Como se ha mencionado anteriormente, las rocas metamórficas e ígneas exhiben mayor resistencia a la meteorización y erosión en comparación con las tobas, ya que éstas últimas están constituidas por materiales sueltos, fácilmente transportables por corrientes de agua; por consiguiente, la contribución de las tobas es mayor en la formación de sedimentos activos.

Por este motivo se ha creído convenientemente en esta sección, examinar brevemente las semejanzas y diferencias que puedan existir entre el contenido medio de algunos elementos, en los materiales tobáceos y en las rocas ígneas y metamórficas.

3.3.1. GRAFICOS DE CONCENTRACION MEDIA

Las rocas ígneas intrusivas y las rocas metamórficas, afloran aproximadamente en el 56% del área, mientras que las tobas están expuestas en un 30%.

La Figura 8 muestra dos gráficas de concentración media; uno para tobas y otro conjugado para rocas ígneas intrusivas y rocas metamórficas. En la elaboración de este último se han tenido en cuenta los porcentajes de área expuesta respectivos, que figuran en la Tabla 1. Comparando los gráficos de la Figura 8 se observa que:

- a) El conjunto de rocas metamórficas y rocas ígneas intrusivas presenta concentraciones medias mayores en Mg, V, Cu, Zr, Co, Sc, Y y La.

- b) Los materiales tobáceos muestran concentraciones medias mayores en Mn, Sr, Ga y Pb.
- c) El contenido medio de Fe, Ga, Ti, Ba, Ni, Be, Mo y Ag es aproximadamente igual en el conjunto de rocas ígneo-metamórficas y en los materiales tobáceos.

En zonas mineralizadas con filones hidrotermales, genéticamente relacionados a procesos magmáticos, se observan generalmente, ciertas relaciones y asociaciones de elementos que por su abundancia y forma de presentarse, pueden ser utilizados como guías de mineralizaciones.

De los elementos arriba mencionados, comúnmente presentes en los filones hidrotermales, podemos citar: Cu, Mo, Pb, Ag, Ba y Sr. Analizaremos seguidamente qué posibilidades tenemos de emplear estos elementos como indicadores de minerales en los sedimentos activos de esta área.

Las concentraciones medias de Cu, Mo y Ag (Fig. 8) son respectivamente similares en el conjunto de rocas ígneo-metamórficas y en las tobas. Esta semejanza es significativa, puesto que, si la contribución de las rocas en Cu, Mo y Ag a los sedimentos activos es aproximadamente igual, cualquier cantidad por encima del contenido normal en estos elementos, en los sedimentos, puede realmente indicar la existencia de filones hidrotermales con sulfuros.

Cosa contraria ocurre con Pb; este elemento presenta una concentración mayor en las tobas (30 ppm) en comparación con el conjunto de rocas ígneo-metamórficas (8 ppm). Valores superiores al contenido medio en los sedimentos activos estarían indicando la contribución normal de los materiales tobáceos en vez de filones con galena, a los cuales trata de enmascarar.

Bario y Sr, en filones hidrotermales, ocurren en forma de sulfatos y asociados a minerales de K con el cual muestran gran afi-

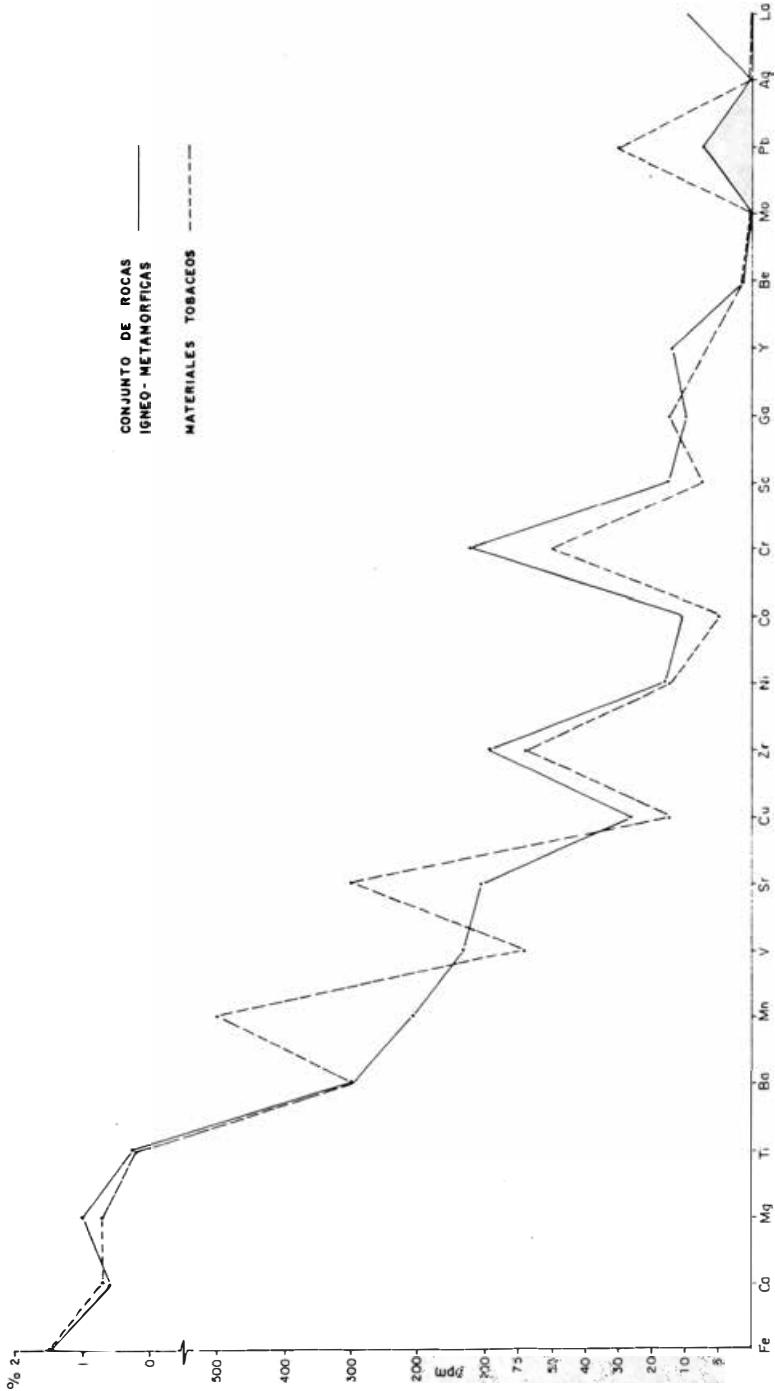


FIG. 8: Gráficos de concentración media de elementos. Conjunto de rocas ígneo-metamórficas y materiales tobáceos. Análisis espectrográficos.

nidad. (GOLDSCHMIDT, V., p. 246 - 255, 1958 y KRAUSKOPF, p. 587-591, 1967). El contenido medio de Ba en el conjunto ígneo-metamórfico y en las tobas (Fig. 8) es muy similar, de modo que este elemento es un buen indicador de mineralizaciones hidrotermales en el área. Por otra parte, el contenido medio de Sr muestra notable diferencia en el conjunto de rocas ígneo-metamórficas (100 ppm) en comparación con las tobas (300 ppm). Por tal motivo, concentraciones altas de Sr en sedimentos activos estarían indicando el contenido normal de las tobas y no la contribución de las mineralizaciones.

En conclusión, no se deben utilizar el Pb y Sr, en forma individual como indicadores de filones hidrotermales en el área, debido a las grandes diferencias que presentan en el contenido medio.

Los mejores elementos guías en sedimentos activos son: Ba, Cu, Mo y Ag, además se deben tener en cuenta, elementos tales como: Au, Zn, Sb y As que no fueron detectados por el espectrógrafo en los análisis de las rocas y que están comúnmente presentes en filones hidrotermales.

4. OCURRENCIAS MINERALES

Las mineralizaciones metálicas que se encuentran en el área son de dos clases: 1. Filones hidrotermales, y 2. Aluviones.

4.1. FILONES HIDROTERMALES

Los filones hidrotermales se dividen en tres tipos principales: 1) oro y plata, 2) antimonio, y 3) mercurio.

4.1.1. MINERALIZACIONES DE ORO Y PLATA

Los filones hidrotermales de Au y Ag, se presentan como relleno de fisuras, emplazados principalmente dentro del conjunto de rocas metamórficas del Grupo Cajamarca (Fig. 9). Estos filones tienen formas tabulares, acordonados y ramificados. Los espesores varían entre 0.20 y 1 m, con buzamien-

tos fuertes y rumbo general NE. En su mayor parte siguen la dirección de foliación de las rocas metamórficas. Los minerales principales son cuarzo y pirita, y en cantidades menores argentita, galena, blenda, arsenopirita y calcopirita (MOSQUERA, D., BUITRAGO, C., 1971 y BUITRAGO, C., BUENAVENTURA, J., 1975).

La única mina activa en el área es la mineralización de Las Nieblas, que junto con el prospecto de La Esperanza, presentan concentraciones altas en galena, argentita, blenda y arsenopirita.

Por razón de su localización, las mineralizaciones de Au y Ag están separadas en 4 grupos:

a) Grupo de La Ceja

Situado al norte del caserío de La Ceja, en las inmediaciones de la zona limítrofe entre los departamentos de Tolima y Quindío. Está formado por las manifestaciones de San Carlos, El Chusco, Santa Isabel, La Calabacera, Polanco, La Esmeralda, La Alondra, Tohecito, El Danubio, La Marina, San Pacho, El Cisne, Campoalegre, La Esperanza y Las Nieblas.

b) Grupo de río Boquerón

Localizado en la cuenca del río Boquerón, departamento del Quindío. Está constituido por las siguientes mineralizaciones: Cuba, La María, Moravia, El Cóndor, El Edén y La Morena.

c) Grupo de la Quebrada Pajaritos

Localizado en los nacimientos de la quebrada Pajaritos, departamento del Tolima. Está formado por las minas abandonadas de Montecristo I, Mostecristo II, La Cocina, Guillermo y La Reina.

d) Grupo del río Bermellón

Este grupo se encuentra situado en la cuenca del río Bermellón y principalmente al oeste de la población de Cajamarca, departa-

mento del Tolima. Está compuesto por las siguientes mineralizaciones: Sincelejo, Cristales o La Platina, San Antonio, Bolívar, La Sonrisa, Girardot, San José, La Julia, La Vencedora o El Silencio, La Virginia, El Carmen o El Topacio, Bermellón, El Zafiro, La Perla o R. Roa y El Brillante.

4.1.2. MINERALIZACIONES DE ANTIMONIO

Algunas de estas manifestaciones han sido trabajadas por algún tiempo, pero en la actualidad se encuentran abandonadas.

Están ubicadas al oeste del área y se presentan como relleno de cavidades de origen hidrotermal a lo largo de brechas formadas por las fallas mayores con dirección N-S y NE. Los filones tienen forma lenticular y acordonada, con espesores no mayores a 20 cm. Las localidades mineralizadas son: La Sierra, La Ceja, Pajaritos, El Orinoco, El Diamante y La Rosa (Fig. 9). Los principales minerales son cuarzo y estibina, aunque en los análisis se advierte la presencia de Au y Ag. Posiblemente se trata de depósitos de tipo epitermal (BUITRAGO, C., BUENAVENTURA, J., 1975).

4.1.3. MINERALIZACIONES DE MERCURIO

En los nacimientos de la quebrada Cristales, tributaria del río Bermellón, ubicada al sur del área, se encuentra la única mineralización de mercurio, denominada El Cinarbrijo. Se trata de un relleno hidrotermal a lo largo de una zona de fracturamiento en los esquistos del Grupo Cajamarca. Los minerales principales son cuarzo, calcita y cinabrio. En el análisis espectrográfico se detectó Mn, Ba, Mo y V, en pequeñas cantidades (BUITRAGO, C., BUENAVENTURA, 1975).

4.2. ALUVIONES

En las cuencas de los ríos Navarco y Boquerón, departamento del Quindío, se encuentran pequeñas costras de aluviones auríferos, los más importantes son: mina Bonita, mina Tapada. Zeno Montoya, Los Arangos y Colombia.

5. RELACION ENTRE LAS ROCAS IGNEAS Y LAS MINERALIZACIONES

El origen de las venas de cuarzo mineralizadas con sulfuros, ha sido activamente discutido por mucho tiempo; sin embargo, la mayoría de los autores, entre otros, Krauskopf, K. (p. 446, 1967) y Stanton, R. (p. 598, 1972) lo atribuyen a fluidos hidrotermales formados en etapas finales de la cristalización magmática y en zonas donde las venas de cuarzo no estén muy alejadas de los cuerpos ígneos.

Trataremos brevemente en esta sección las posibles relaciones genéticas que pueden existir entre las rocas ígneas intrusivas y las diferentes clases de mineralizaciones filonianas.

Como lo anotamos en la sección de Geología, en el área afloran tres tipos de rocas ígneas intrusivas: 1) El Complejo Igneo del río Navarco, 2) Andesitas Porfiríticas, y 3) Pórfidos Dacíticos (Fig. 10). Estos cuerpos difieren entre sí en composición, contenido de elementos mayores, elementos trazas y posiblemente en edad.

Las mineralizaciones de cuarzo y estibina, de tipo epitermal, están restringidas casi exclusivamente a zonas de brechas, formadas por las fallas mayores con excepción de las manifestaciones de El Diamante y Pajaritos (Fig. 10). Los cuerpos andesíticos porfiríticos afloran principalmente siguiendo también las lineaciones de las fallas mayores, luego posiblemente, las andesitas y las mineralizaciones de estibina estén genéticamente relacionadas y emplazadas a través de zonas de fracturamiento.

Las mineralizaciones de Au y Ag corresponden al tipo meso a epitermal y están formadas por cuarzo, pirita, argentita, galeña, blenda y calcopirita. Estos filones se encuentran esparcidos irregularmente en toda el área. Aparentemente no tienen relación genética ni con los intrusivos de andesitas porfiríticas ni con el Complejo Igneo del río Navarco, puesto que en sus alrededores no se advierte un incremento en estas mineraliza-

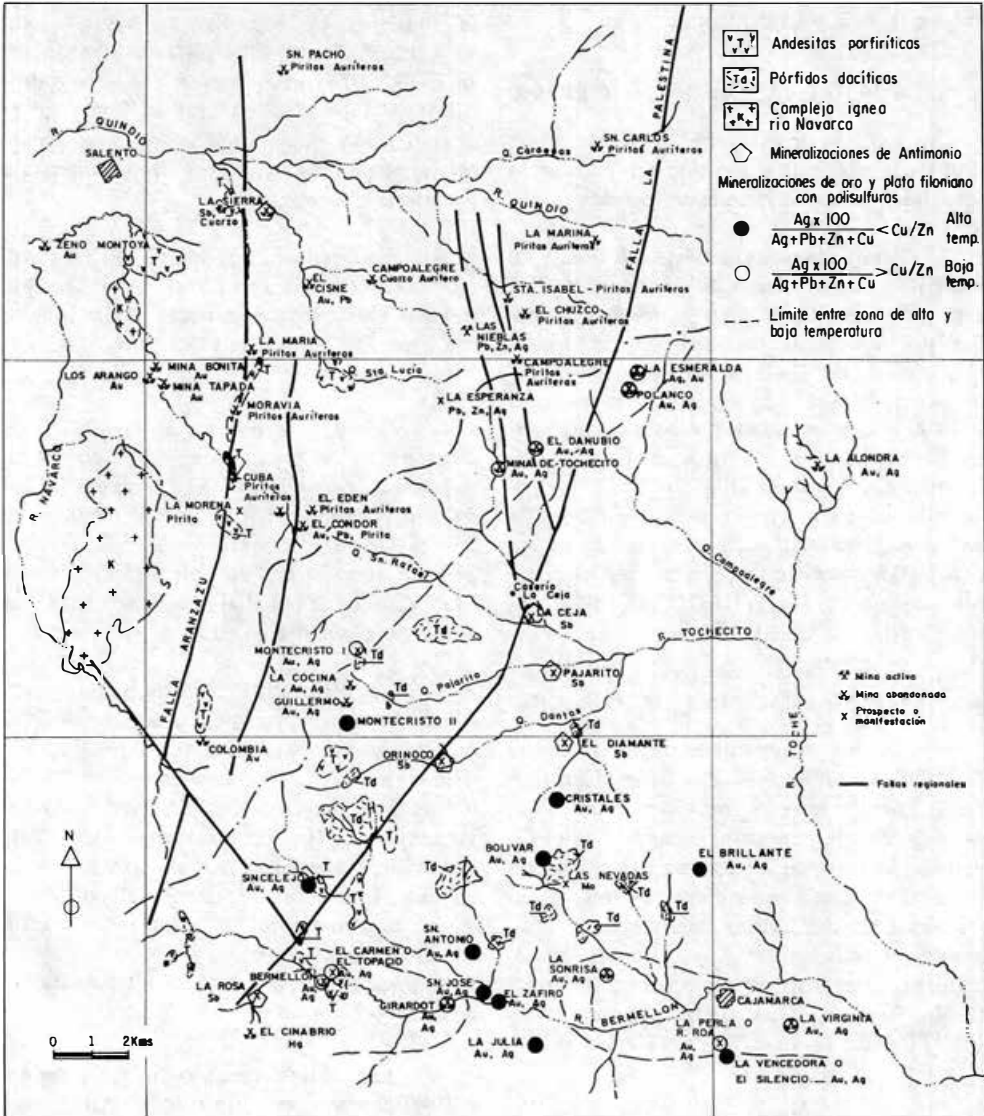


FIG. 10: Relación entre las rocas ígneas y las mineralizaciones.

ciones (Fig. 10). Ahora, si examinamos los intrusivos de pórfidos dacíticos, observamos que estos cuerpos afloran intermitentemente en un área amplia y que la mayoría de las mineralizaciones de Au y Ag están relativamente cercanas a ellos. Existe entonces la posibilidad de que los intrusivos de pórfidos dacíticos sean los aportantes de los fluidos mineralizantes que dieron formación a los filones de Au y Ag. Seguidamente estudiaremos esta posibilidad con más detenimiento.

Teniendo en cuenta la secuencia en la depositación de argentita, galena, blenda y calcopirita en venas hidrotermales de tipo meso a epitermal (KRAUSKPF, K, p. 497-8, 1967 y PARK, CH., p. 171, 1970) podemos utilizar las relaciones $Ag \times 100 / Ag + Zn + Cu$ y Cu/Zn para tener idea de las temperaturas de formación de las diferentes mineralizaciones.

En la realización del Mapa de Ocurrencias Minerales en el Departamento del Tolima (BUITRAGO, C., BUENAVENTURA, J., 1975) se elaboraron varios análisis espectrográficos de los filones de esta área, de los cuales se tomó el contenido de Ag, Pb, Zn y Cu, en cada una de las diferentes venas.

La Figura 10, muestra los intrusivos de pórfidos dacíticos y las mineralizaciones de Au y Ag, donde fue posible hacer el cálculo de las relaciones anteriormente mencionadas.

Si consideramos que los filones de Au y Ag en el área fueron emplazados a un mismo tiempo y que están genéticamente relacionados con el evento magmático que dio origen a la formación de los intrusivos de pórfidos dacíticos, podemos observar lo siguiente:

a) Una zona interna donde se encuentra la casi totalidad de los apófisis de pórfidos dacíticos que afloran en el área. En este mismo sector, la relación Cu/Zn es mayor que la relación $Ag \times 100 / Ag, Pb, Zn$ y Cu , en los filones, dando a entender que las mineralizaciones de Au y Ag se formaron

a temperaturas relativamente altas debido a su cercanía con los intrusivos que les dieron origen.

b) Dos zonas externas o marginales; una al norte continua y otra al sur interrumpida, donde la relación $Ag \times 100 / Ag + Pb + Zn + Cu$, en los filones, es mayor que la relación Cu/Zn , lo que significa que las venas hidrotermales en estos sectores se formaron a temperaturas relativamente más bajas comparadas con las de la zona interna y más alejadas de los cuerpos ígneos con los cuales están genéticamente relacionados. Es importante hacer notar la ausencia de intrusivos de pórfidos dacíticos en las zonas marginales, lo cual concuerda con la interpretación anterior.

c) Finalmente se debe puntualizar la posible existencia de una falla, no visible en el campo, con dirección aproximada N-S que sirva de control estructural de las mineralizaciones de estibina de Pajaritos y El Diamante, y que al mismo tiempo produzca la interrupción de la zona marginal sur con la cual están alineados (Fig. 10).

6. INTERPRETACION GEOQUIMICA DE SEDIMENTOS ACTIVOS

El agua superficial es el más importante agente de transporte de materiales. Los productos de meteorización y erosión llegan a los drenajes en forma de partículas sólidas y como sustancias en solución. La dispersión formada por las aguas corrientes superficiales está restringida a los cuacos del drenaje; el resultado es esencialmente una distribución lineal de los productos de meteorización, a diferencia de los modelos planares derivados de otros tipos de dispersión secundaria como en los suelos, o de patrones tridimensionales formados en la mayoría de los ejemplos de dispersión primaria, como en el caso de yacimientos hidrotermales (HAWKES, H., p. 300, 1961).

La carga transportada por las corrientes en cualquier punto del cauce, constituye

una muestra representativa de la zona drenada y su composición debe reflejar el promedio de composición química de las rocas de la cuenca. En consecuencia, materiales derivados de depósitos suficientemente grandes, pueden ser indicados por concentraciones mayores que el contenido medio en los sedimentos activos. Bajo condiciones favorables, análisis químicos de porciones solubles o sólidas de los materiales transportados por corrientes de agua pueden ser utilizados para evaluar el potencial minera de una determinada zona (HAWKES, H., p. 301, 1961).

En este estudio, fueron programados previamente, sobre el área escogida, el tipo de muestra, su localización y longitud máxima de los drenajes a muestrear.

Durante los años de 1972 y 1973 se recolectaron 1.055 muestras de sedimentos activos discriminados así: 537 de concentrados en batea y 518 de finos seleccionados.

El área cubierta tiene una extensión de 600 km². Las muestras fueron colectadas con espaciamiento aproximado de 500 m en los cauces de ríos y quebradas. En promedio se tomó una muestra de sedimento de cada fracción por km².

En algunos sitios, la programación del muestreo fue alterada debido principalmente a factores como topografía abrupta, deficiencias en mapas topográficos y zonas de deslizamientos.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Geoquímica del INGEOMINAS, por el método espectrográfico semicuantitativo para 33 elementos. Los resultados del contenido promedio, máximo, mínimo y medio de los distintos elementos en los sedimentos activos se encuentran relacionados en la Tabla 4.

Con los datos anteriores se elaboró un gráfico de concentración media de los elementos, en forma separada para la fracción fina y para la fracción pesada (Fig. 11). En este gráfico se observa lo siguiente:

- 1) En la mayoría de los elementos, los concentrados en batea-fracción pesada, tienen contenidos medios superiores comparados con los finos seleccionados, a excepción de Ba, Sr, Ga, Mo, y Pb que son menores y Be y Ag que son iguales en las dos fracciones.
- 2) Estroncio y Pb están principalmente concentrados en la fracción fina de los sedimentos activos. Estos elementos mostraron también valores altos en los materiales tobáceos.
- 3) Los elementos Ba, Cu, Mo y Ag, indicadores de mineralizaciones, presentan un contenido medio aproximadamente igual en las dos fracciones.

6.1. ANOMALIAS GEOQUÍMICAS EN SEDIMENTOS ACTIVOS

Anomalía es definida como una desviación de la uniformidad. Una anomalía geoquímica, más específicamente, es una desviación de los patrones geoquímicos que son normales en un área determinada. Para propósitos prácticos, las anomalías geoquímicas significativas, se caracterizan por tener valores altamente anormales en uno o varios elementos indicadores. Según Levinson, A. (p. 216, 1974), anomalía en exploración, es un área en donde las propiedades químicas de los materiales naturalmente acumulados pueden indicar la presencia de un depósito mineral.

En prospección geoquímica, para delimitar áreas anómalas de interés económico, es necesario primero establecer los valores de dos parámetros: background y threshold.

Background se define como el rango de valores representativos de la concentración media o normal de un elemento dado en un determinado material.

Threshold es el valor límite, superior al background, por encima del cual una población se considera anómala. Hawkes, H. y Webb, J. (p. 30, 1962) sugieren, que para

Elemento	Valores	Fracción Pesada N.M. = 537 ppm	Fracción Fina N.M. = 518 ppm	Elemento	Valores	Fracción Pesada N.M. = 537 ppm	Fracción Fina N.M. = 518 ppm
Fe	Pr. 77.400 Máx. 300.000 Mín. 5.000 Md. 70.000	32.800 150.000 10.000 30.000	32.800 150.000 10.000 30.000	Y	Pr. 68.4 Máx. 500 Mín. N Md. 50	69.5 70 N 15	
Ca	Pr. 30.000 Máx. 100.000 Mín. 1.000 Md. 30.000	10.900 50.000 2.000 10.000	10.900 50.000 2.000 10.000	Be	Pr. 0.32 Máx. 7.0 Mín. N Md. N	1.2 5 N 1	
Mg	Pr. 33.700 Máx. 100.000 Mín. 150 Md. 30.000	10.300 30.000 5.000 10.000	10.300 30.000 5.000 10.000	Mo	Pr. 1.1 Máx. 300 Mín. N Md. N	3.9 20 N L 5	
Ti	Pr. 11.500 Máx. 70.000 Mín. 700 Md. 10.000	3.900 15.000 1.500 3.000	3.900 15.000 1.500 3.000	Pb	Pr. 19.1 Máx. 1.500 Mín. N Md. N	13.1 500 N 10	
Ba	Pr. 430 Máx. 20.000 Mín. N Md. 150	390 1.500 70 300	390 1.500 70 300	Ag	Pr. 2.1 Máx. 300 Mín. N Md. N	0.4 30 N N	
Mn	Pr. 1.487 Máx. 10.000 Mín. 20 Md. 1.500	541.4 5.000 150 500	541.4 5.000 150 500	La	Pr. 449 Máx. G 2.000 Mín. N Md. 200	19 200 N 10	
V	Pr. 331 Máx. 1.000 Mín. N Md. 200	148.3 700 50 150	148.3 700 50 150	As	Pr. 103.5 Máx. 5.000 Mín. N Md. N	104.3 1.000 N N	
Sr	Pr. 66 Máx. 500 Mín. N Md. N	370.8 1.000 N 300	370.8 1.000 N 300	Au	Pr. 1.6 Máx. 300 Mín. N Md. N	N N N N	
Cu	Pr. 74.9 Máx. 1.000 Mín. N Md. 30	25.1 200 N 20	25.1 200 N 20	B	Pr. 2.1 Máx. 150 Mín. N Md. N	7 30 N N	
Zr	Pr. 523 Máx. 10.000 Mín. N Md. 300	108.8 500 30 100	108.8 500 30 100	Bi	Pr. 1.6 Máx. 300 Mín. N Md. N	5 20 N N	
Ni	Pr. 67.8 Máx. 500 Mín. N Md. 50	38.4 200 L 5 30	38.4 200 L 5 30	Cd	Pr. 1.2 Máx. 300 Mín. N Md. N	10.4 50 N N	
Co	Pr. 53.2 Máx. 300 Mín. N Md. 50	18.8 100 L 5 20	18.8 100 L 5 20	Sb	Pr. 8.4 Máx. 2.000 Mín. N Md. N	N N N N	
Cr	Pr. 263 Máx. 1.500 Mín. N Md. 200	127.2 700 15 100	127.2 700 15 100	Sn	Pr. 6.1 Máx. 70 Mín. N Md. N	N N N N	
Sc	Pr. 56.2 Máx. 200 Mín. N Md. 50	14.9 30 L 5 15	14.9 30 L 5 15	W	Pr. 3.9 Máx. 300 Mín. N Md. N	N N N N	
Ga	Pr. 25.3 Máx. G 2.000 Mín. N Md. L10	11.9 20 N N	11.9 20 N N	Zn	Pr. 134 Máx. 15.000 Mín. N Md. N	213.7 5.000 N N	

TABLA 4. Contenido promedio, máximo, mínimo y medio de los diferentes elementos en los sedimentos activos. Fracción pesada y fracción fina. Análisis espectrográfico. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima.

NOTA:
 M.N = número de muestras.
 N.M. = elementos no detectado en el límite inferior de detección.
 L = valor menor que el indicado a continuación de la L.
 G = valor mayor que el indicado a continuación de la G.

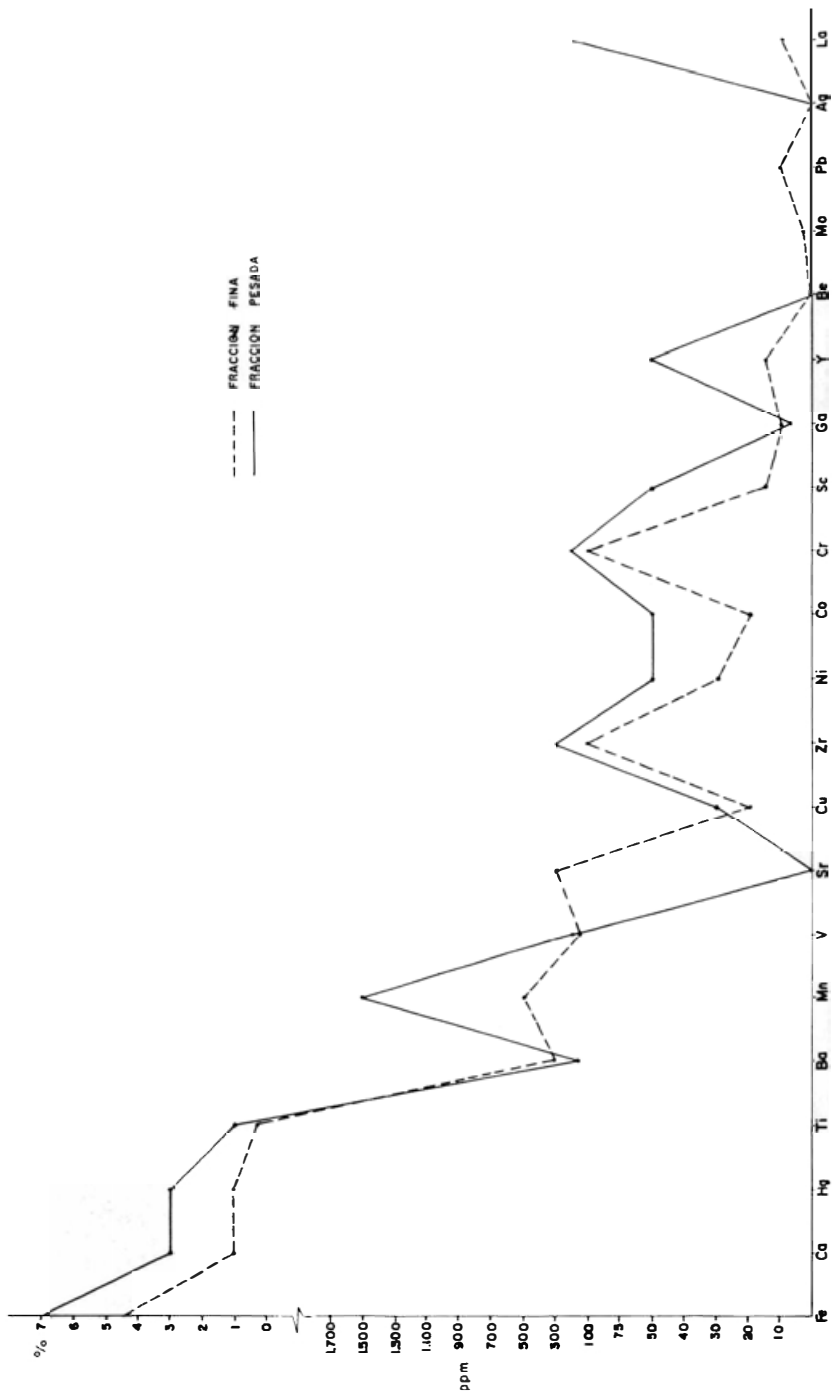


FIG. 11: Gráfico de concentración media de elementos. Sedimentos activos, fracción fina y fracción pesada, análisis espectrográfico.

una sola población, el threshold debe ser considerado como el valor de la mediana dos veces la desviación standard. La mejor aproximación es tomar como background el valor medio y como threshold, el valor por encima del 2.5% más alto de una población. En esta sección se interpretarán por separado los finos seleccionados y los concentrados en batea.

6.1.1. FINOS SELECCIONADOS

Las muestras de sedimentos activos -fracción fina- fueron tomadas en la parte central y superficial de los cauces de ríos y quebradas. En cada sitio se colectaron, en bolsas de polietileno, aproximadamente 200 gr. de material que pasara por tamiz No. 16. Posteriormente en el laboratorio se analizó la fracción menos No. 80.

Además de los análisis espectrográficos. las muestras de la fracción fina fueron analizadas para Sb y Mo por colorimetría, Au por absorción atómica y Hg por detector para mercurio. Estos análisis fueron elaborados por los químicos L. Barros de Ferreira, R. Gómez y A. Díaz.

La interpretación de los datos obtenidos de las 518 muestras de finos seleccionados se realizó en la siguiente forma:

- 1) Se averiguaron los valores de background y threshold para los diferentes elementos por medio de histogramas y curvas de frecuencia acumulativa, siguiendo las normas establecidas por Lepeltier (1967), (Figs. 12, 13, 14, 15 y 16). Los valores de background y threshold obtenidos estadísticamente aparecen en la Tabla 5.
- 2) En las curvas de frecuencia acumulativa, el background para Ba, Pb, Cu y Mo, se determinó tomando el valor medio (50%); en el caso de Hg, Sb, Au, Ag y Zn, este valor se obtuvo utilizando el límite inferior de detección de los respectivos análisis.

Elemento	(Tipo de Análisis)	Background (ppm)	Threshold (ppm)
Hg	(DM)	.06 (L.D.)	.27
Sb	(C)	1.0 (L.D.)	5
Au	(AA)	.05 (L.D.)	.3
Ag	(E)	.5 (L.D.)	2
Pb	(E)	8.5	15
Ba	(E)	320	800
Zn	(E)	200 (L.D.)	300
Cu	(E)	20	70
Sr	(E)	300	500
Mo	(C)	1.5	6

TABLA 5. Valores estadísticos de background y threshold -fracción fina-. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima.

NOTA: L.D. = Límite de detección.
 Tipo de análisis:
 AA = Absorción atómica
 C = Colorimetría
 DM = Detector para mercurio.
 E = Espectrográfico.

- 3) La curva de frecuencia acumulativa para Ba (Fig. 13), refleja la presencia de una sola población, por esta razón el threshold se tomó como el valor correspondiente al 2.5% más alto de la curva Para los otros elementos que presentan dos o más poblaciones, este valor se obtuvo en el punto de quiebre, entre la primera y la segunda población.
- 4) En las curvas de frecuencia acumulativa de Sb, Pb, Zn y Mo se observa una tercera población de valores altos pero erráticos, la cual ha sido en parte interpretada como contribuciones anormales del laboreo minero.
- 5) El background y threshold del Sr, debido a la falta de clases en sus valores, fueron calculados utilizando un gráfico de concentración vs número de muestras.
- 6) Se elaboraron luego mapas de drenaje a escala 1:50.000 y se localizaron los sitios de muestreo.

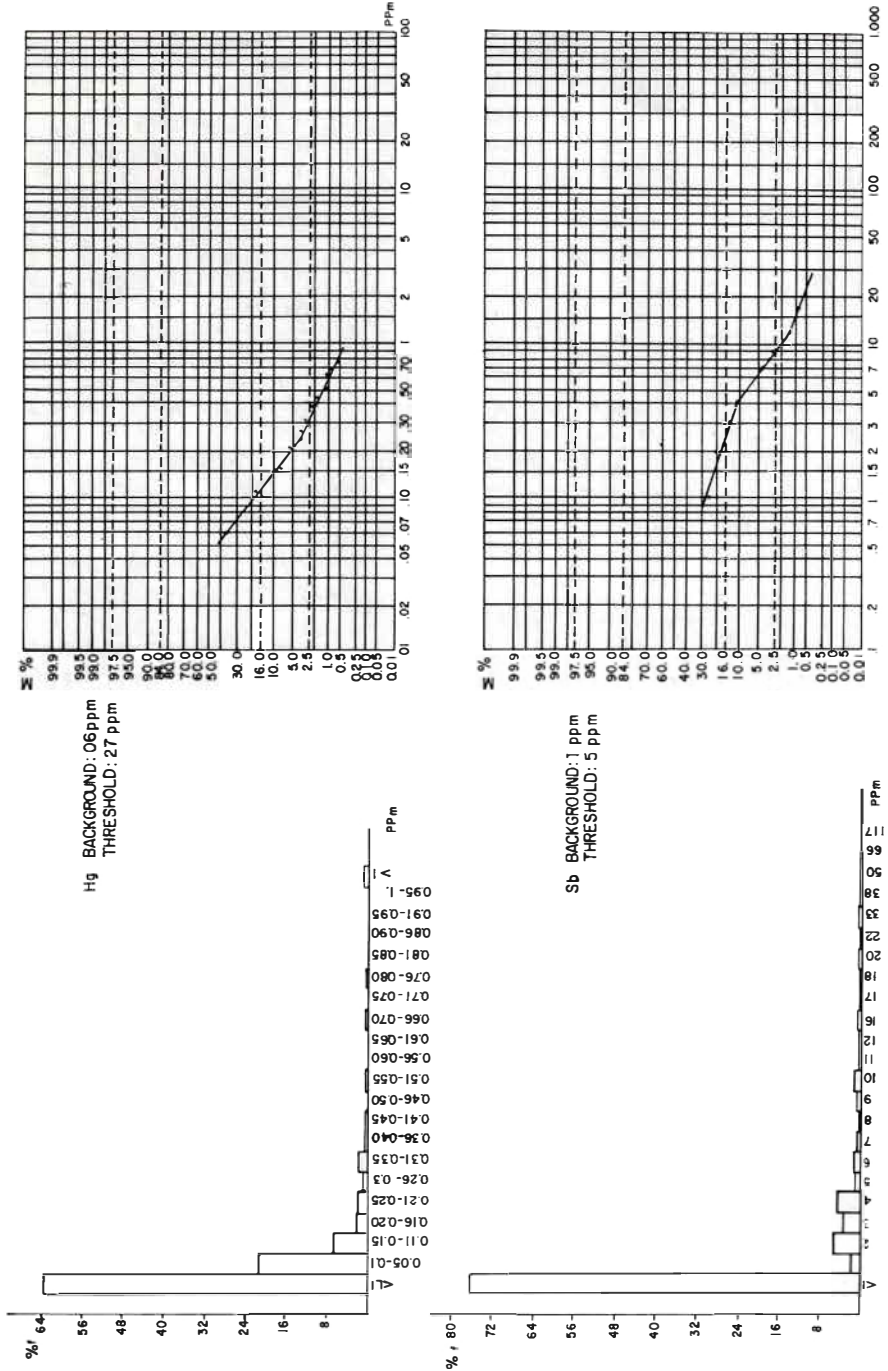
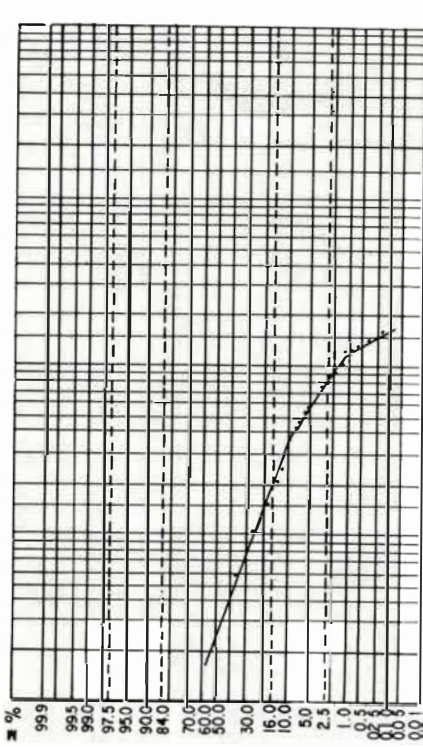
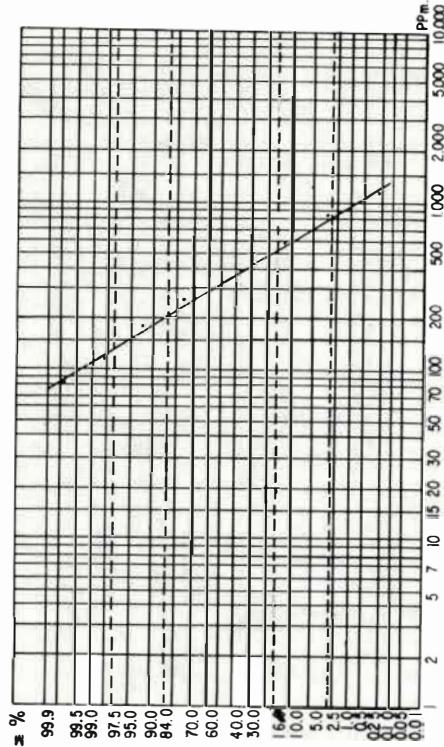


FIG. 12: Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Hg y Sb. Sedimentos activos, fracción fina.



Au BACKGROUND: .05 ppm
THRESHOLD: .3 ppm



Ba BACKGROUND: 320 ppm
THRESHOLD: 800 ppm

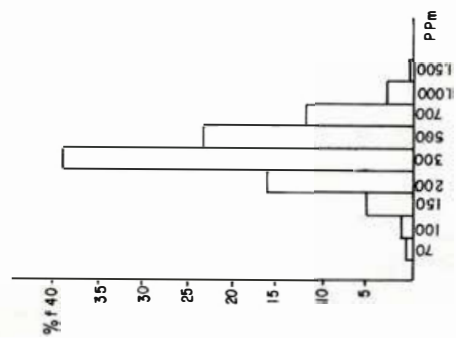
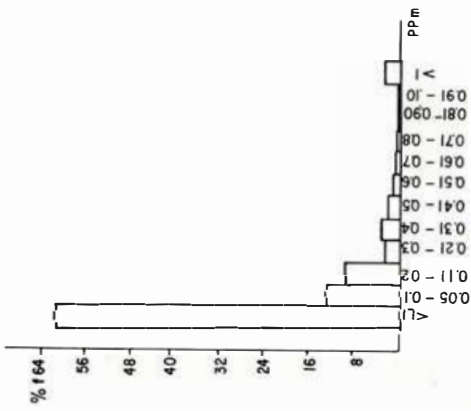


FIG. 13: Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Au y Ba. Sedimentos activos, fracción fina.

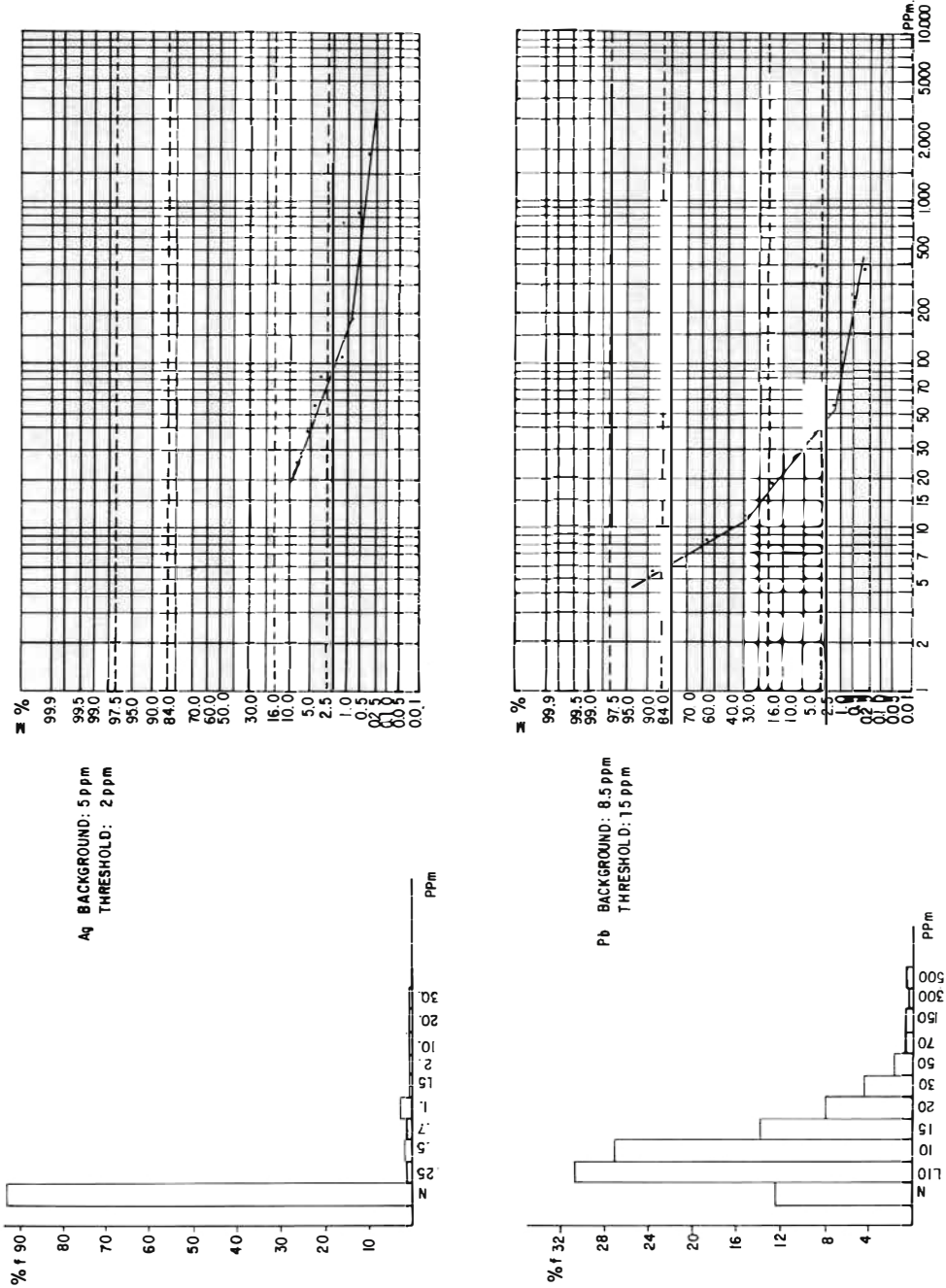


FIG 14: Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Ag y Pb Sedimentos activos, fracción fina

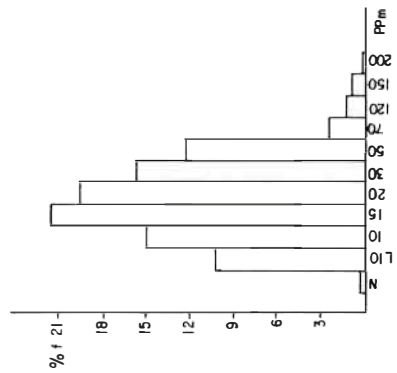
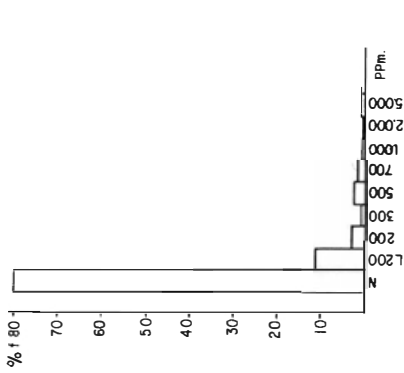
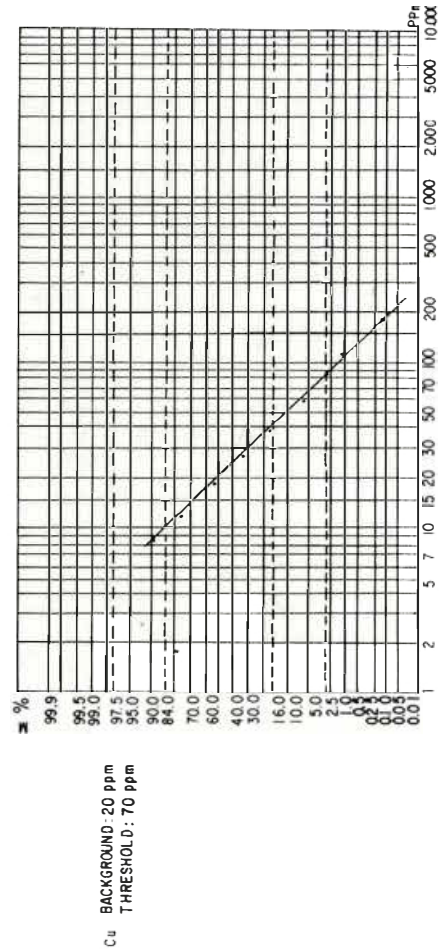
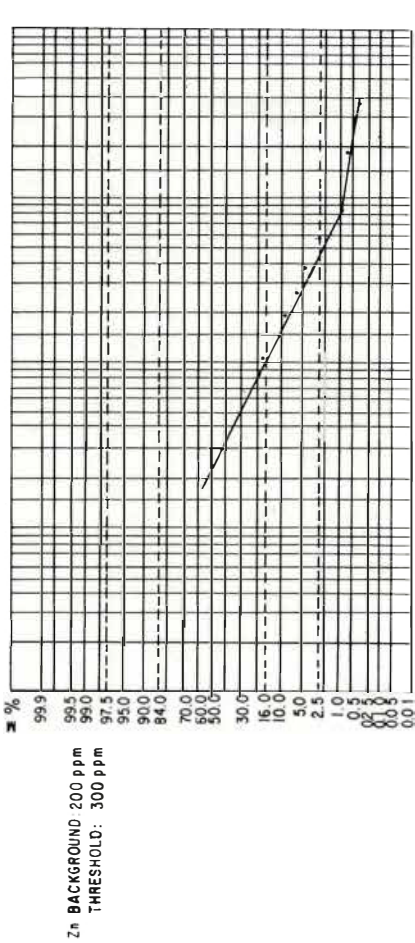


FIG. 15: Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Zn y Cu. Sedimentos activos, fracción fina.

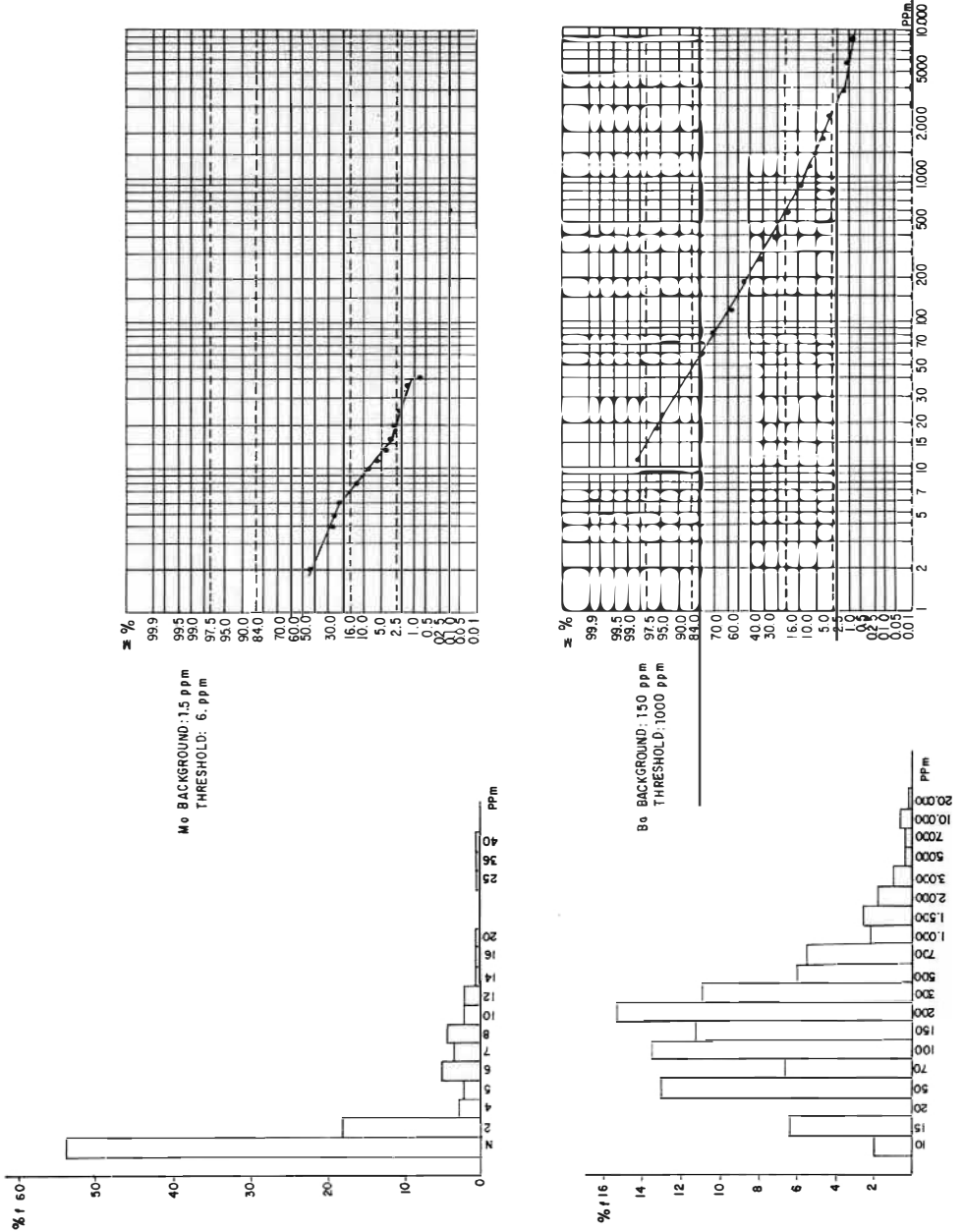


FIG. 16: Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Mo. Sedimentos activos, fracción fina y para Ba sedimentos activos, fracción pesada.

7. Se colocaron en los sitios de muestreo los valores en ppm de los elementos a interpretar (Hg, Sb, Au, Ag, Pb, Ba, Zn, Sr, Cu y Mo) y con valores a partir del threshold se encerraron las diferentes anomalías. Para cada elemento se elaboró un mapa (Figs. 17 al 26).

8. En la Tabla 6 se agrupan los resultados de los análisis en los finos seleccionados con sus respectivos porcentajes.

6.1.1.1. Anomalías geoquímicas para un solo elemento.- Mercurio: Figura 17. Solamente el 4.55% de las muestras presentan concentraciones anómalas con valores superiores a 0.27 ppm. Es notorio el aumento del contenido de Hg en muestras localizadas hacia el oeste del área y principalmente en drenajes que atraviesan la Falla de Aranzazu o Manizales y la parte sur de la Falla de La Palestina. Esto sugiere que posiblemente las mineralizaciones de Hg se formaron por emanaciones gaseosas a través de las fracturas de las fallas mayores. Sin embargo, los drenajes anómalos son escasos y de poca extensión. Cinco zonas anómalas están aparentemente relacionadas a la Falla de Manizales y tres están situadas en los nacimientos del río Bermellón, donde se encuentra la mina abandonada de El Cinabrio, única manifestación de Hg en el área. Al este del punto anterior, en la quebrada El Violín, se encuentra una pequeña anomalía (Plancha 244-I-D del IGAC). Si el Hg está emplazado en fracturas, este sitio vendría a corroborar la existencia de una falla con dirección N-S que explicaría la presencia de las mineralizaciones de Sb de Pajaritos y El Diamante, y además la interrupción de la zona marginal sur de bajas temperaturas en mineralizaciones de Au y Ag con las cuales está alineada.

El Hg, por la forma de distribución en el área, no es indicador de mineralizaciones de Sb ni de manifestaciones de Au y Ag. Los drenajes anómalos más promisorios para prospección de Hg son: 1) el afluente oriental del río Navarco situado al norte de la

plancha 243-II-A del IGAC y 2) el cauce inferior de la quebrada Santa Lucía, Plancha 225-III-D del IGAC.

Antimonio: Figura 18. El 6.75% de las muestras presentan valores anómalos. La distribución de Sb es más irregular que la de Hg, aunque también muestra cierta tendencia a concentrarse en drenajes que atraviesan las fallas mayores. Tres de las cuatro mineralizaciones de estibina, localizada en zonas de falla, están indicadas por valores anómalos. El Sb puede ser utilizado también como guía en la búsqueda de manifestaciones de Au y Ag, pero solamente de aquellas formadas a bajas temperaturas como ocurre con la mina de Montecristo I (Plancha 244-I-B del IGAC), localizada en la zona marginal norte y las minas de Bermellón, El Carmen y La Sonrisa, ubicadas en la zona marginal sur (plancha 244-I-D del IGAC). Los sitios más favorables para prospectar Sb, por la agrupación de valores altos y continuos, es la indicada por los drenajes anómalos localizados inmediatamente al este de la mina de La Sierra (Plancha 225-III-D del IGAC). Los drenajes anómalos de los otros elementos indicadores estudiados, aparecen separadamente en las Figuras del 19 al 26, pero debido a sus mutuas asociaciones no se trataron individualmente sino en forma conjunta como anomalías superpuestas.

6.1.1.2. Anomalías geoquímicas para elementos superpuestos.- Los elementos considerados en conjunto como indicadores de mineralizaciones de Au y Ag son: Sb, Au, Ag, Pb, Ba, Zn, Cu, Sr y Mo. Drenajes donde se superpone únicamente Sr y Pb no son tenidos en cuenta debido a sus altas concentraciones observadas en los materiales tobáceos.

En el área se presentan anomalías geoquímicas para dos o más elementos superpuestos (Fig. 27). Las zonas de drenaje anómalo más importantes por su longitud, consistencia y elementos superpuestos son los siguientes:

1. **Quebrada Cruz Gorda:** ubicada en la Plancha 225-III-D del IGAC, tiene

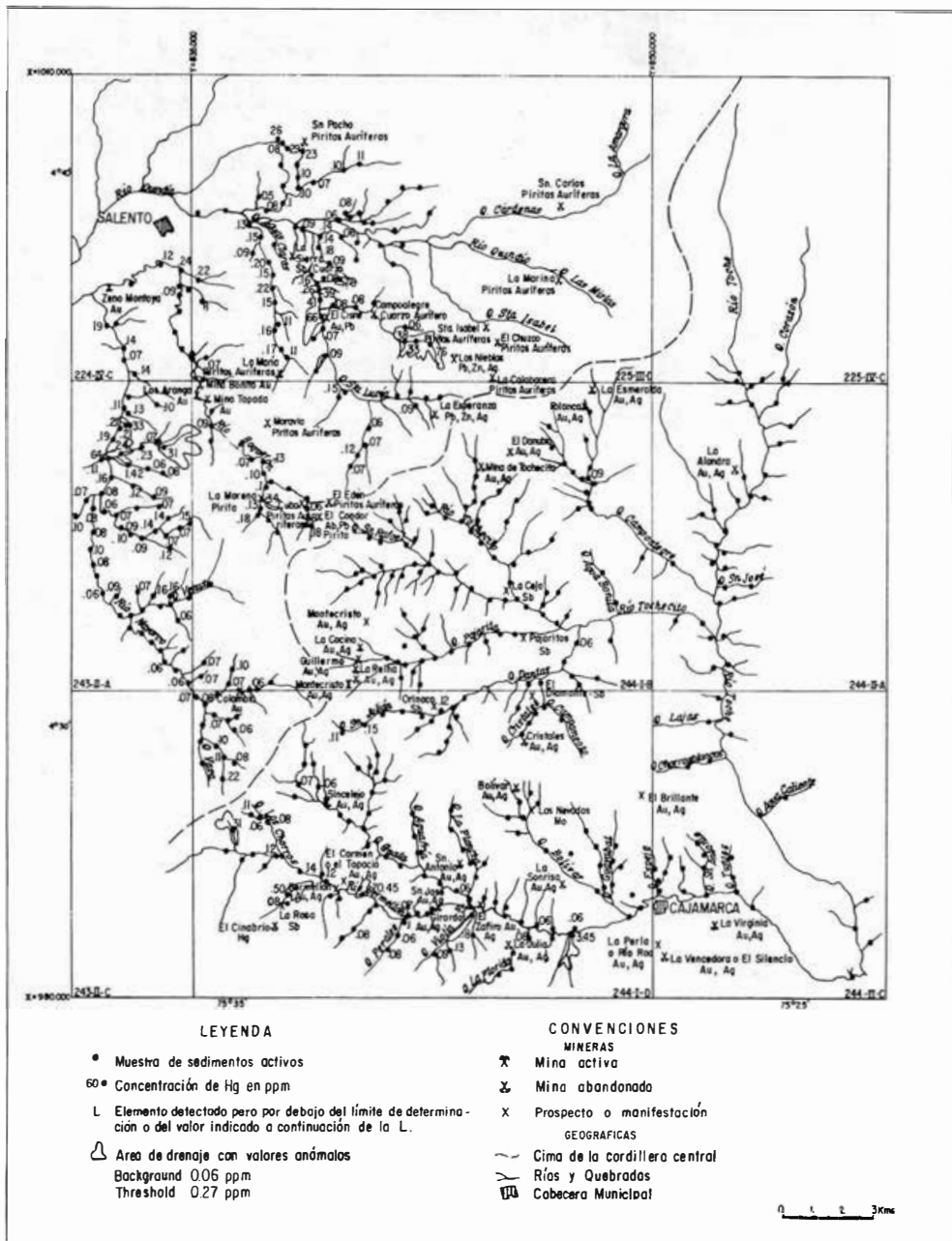


FIG. 17: Contenido de mercurio. Sedimentos activos, fracción fina. Detector para Hg.

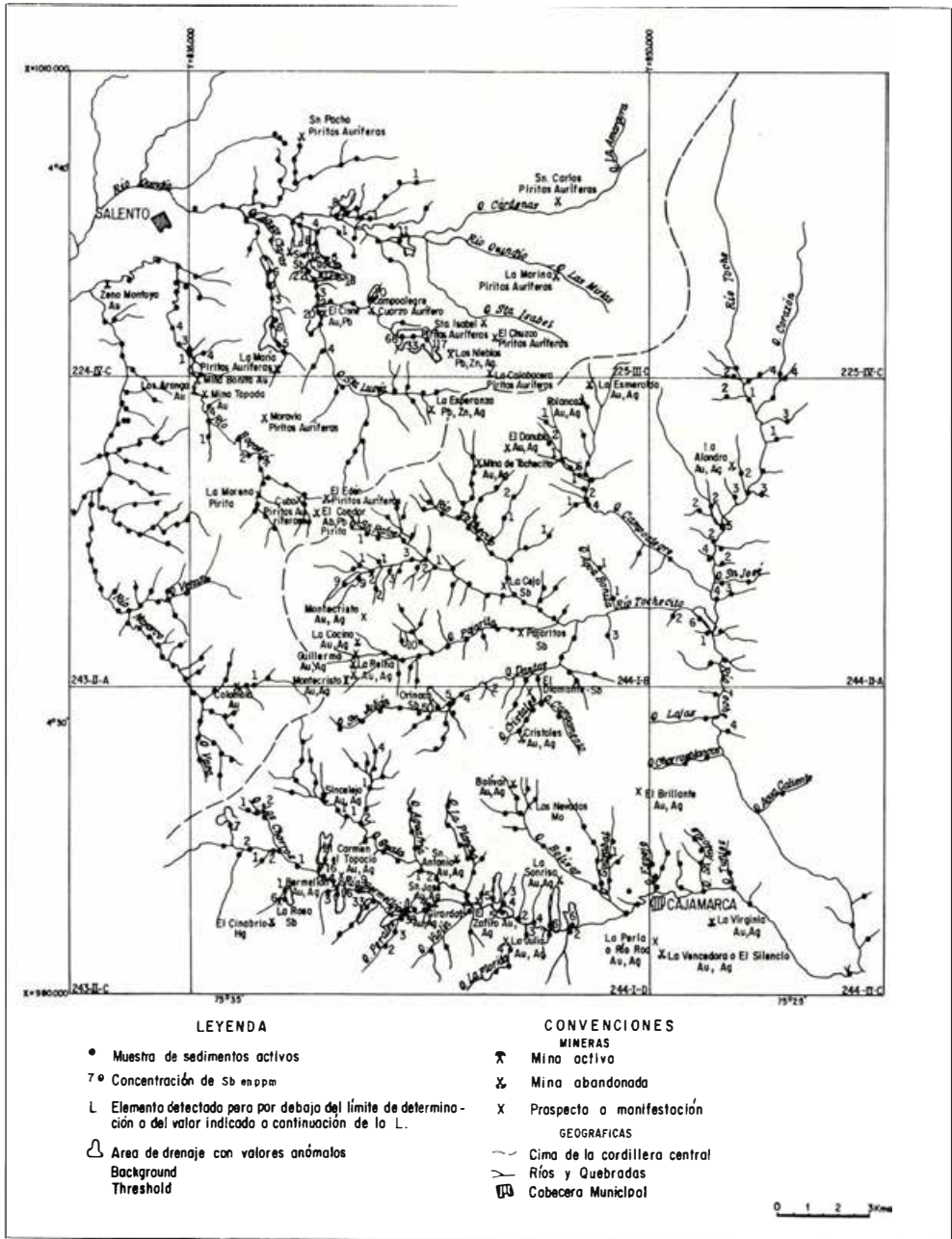


FIG. 18: Contenido de antimonio. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis colorimétrico.

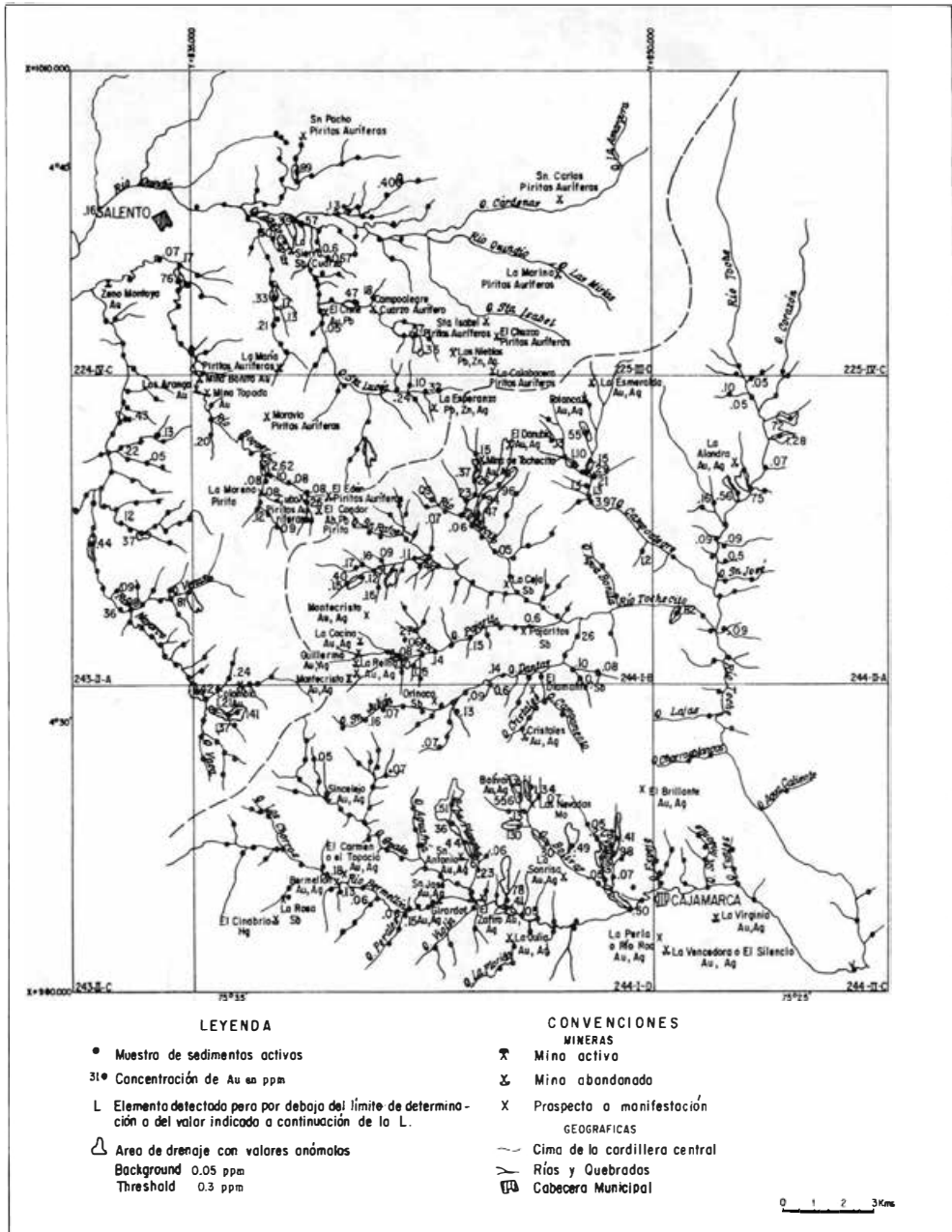


FIG. 19: Contenido de oro. Sedimentos activos, fracción fina. Absorción atómica.

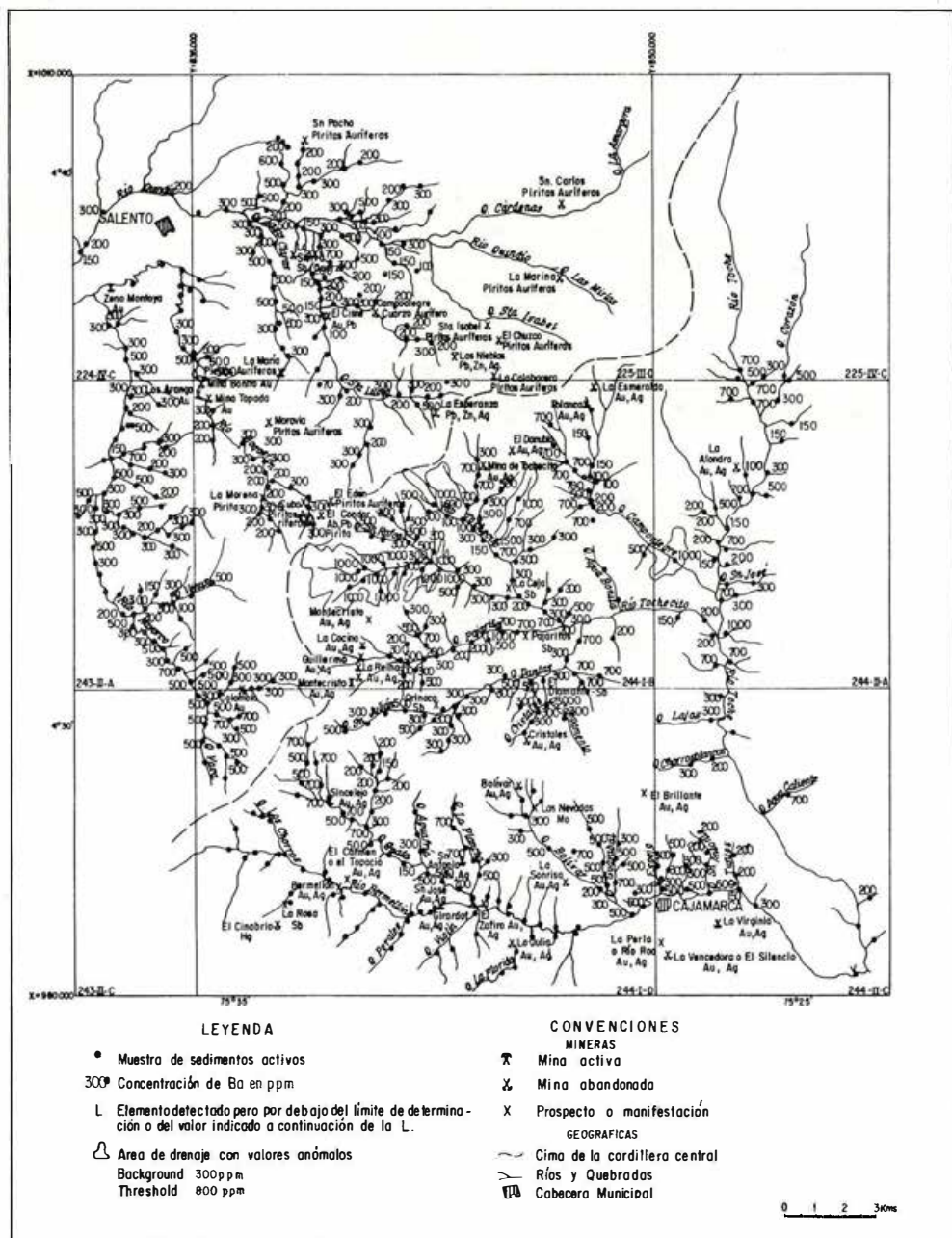


FIG.20: Contenido de bario. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico.

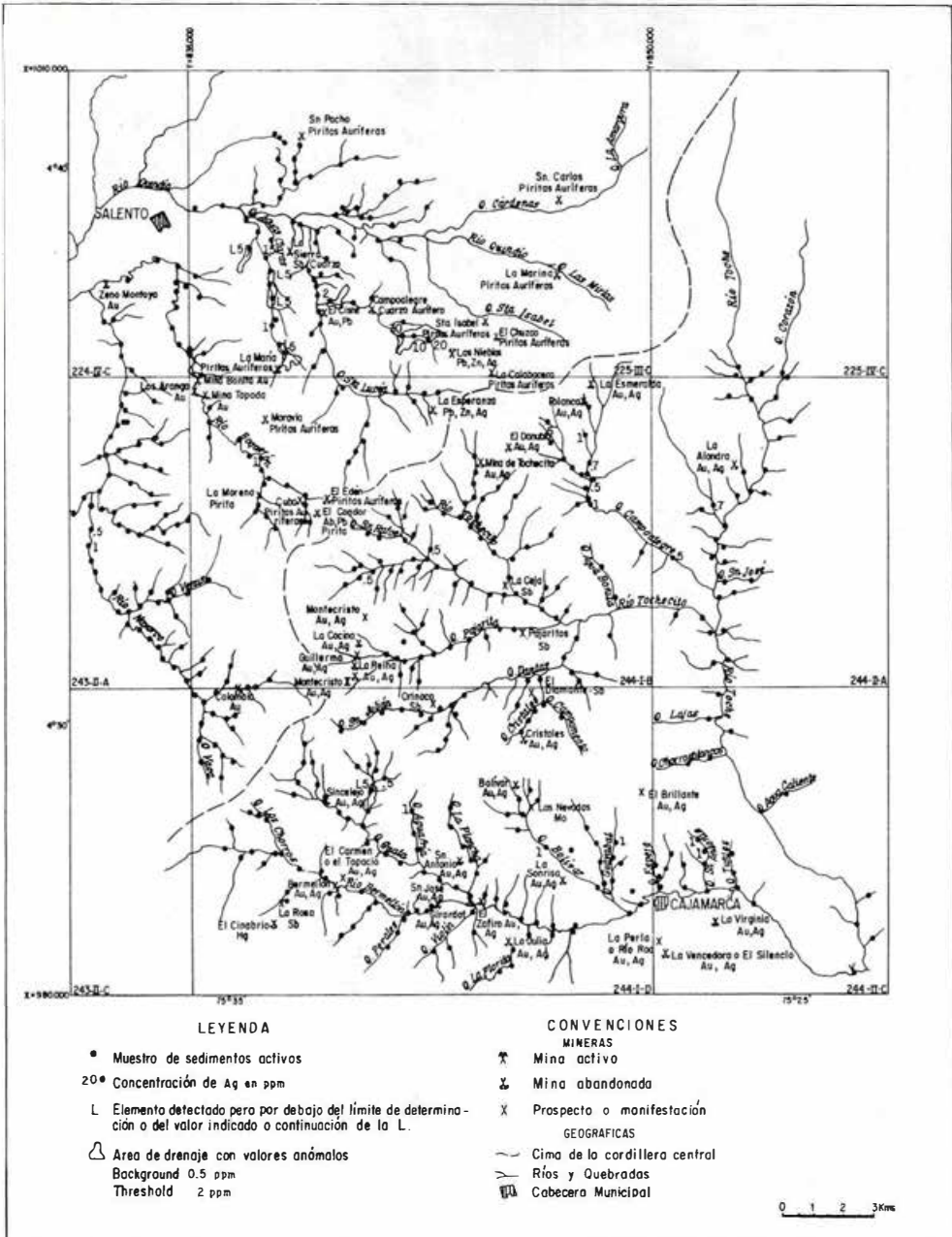


FIG. 21: Contenido de plata. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico.

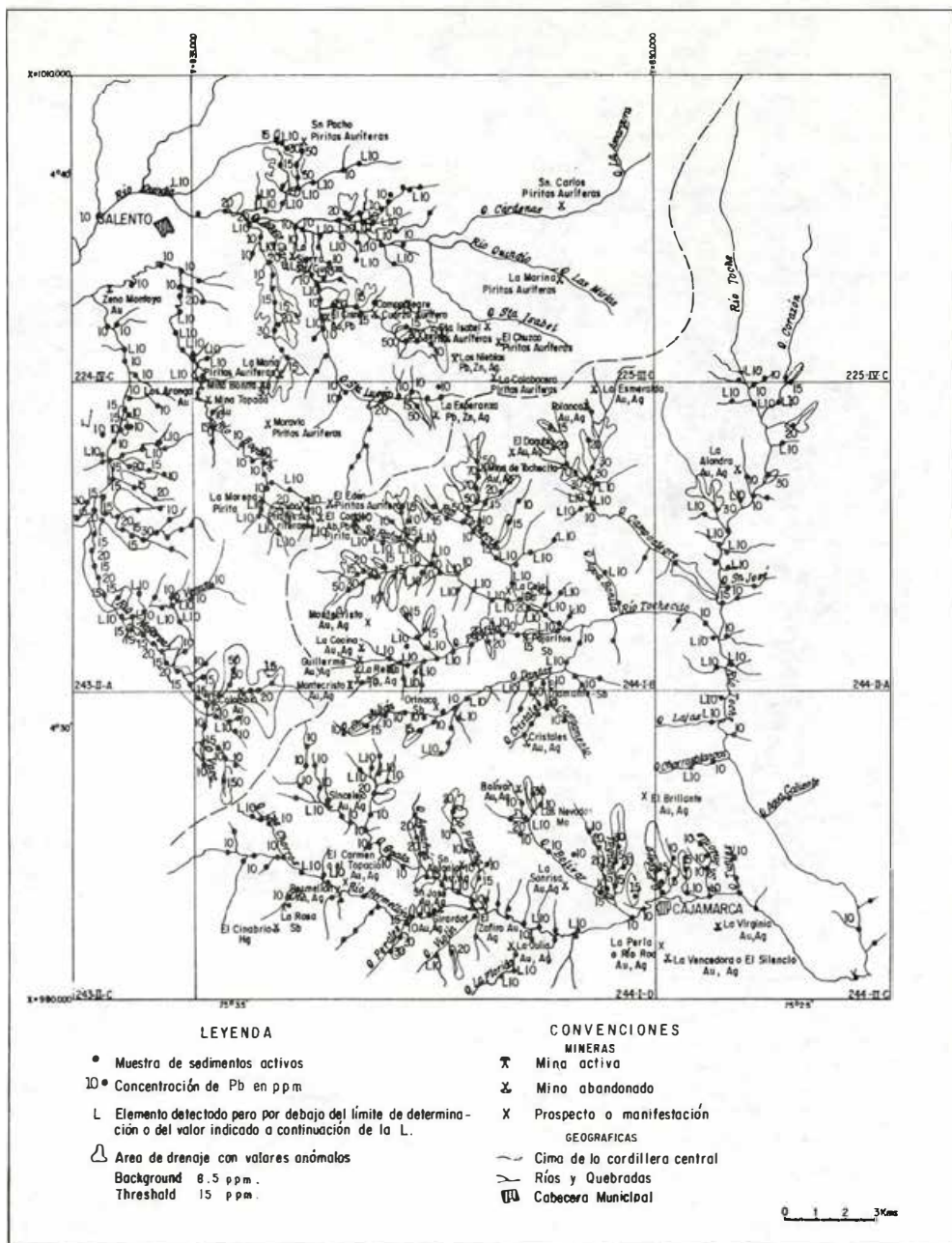


FIG. 22. Contenido de plomo. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico.

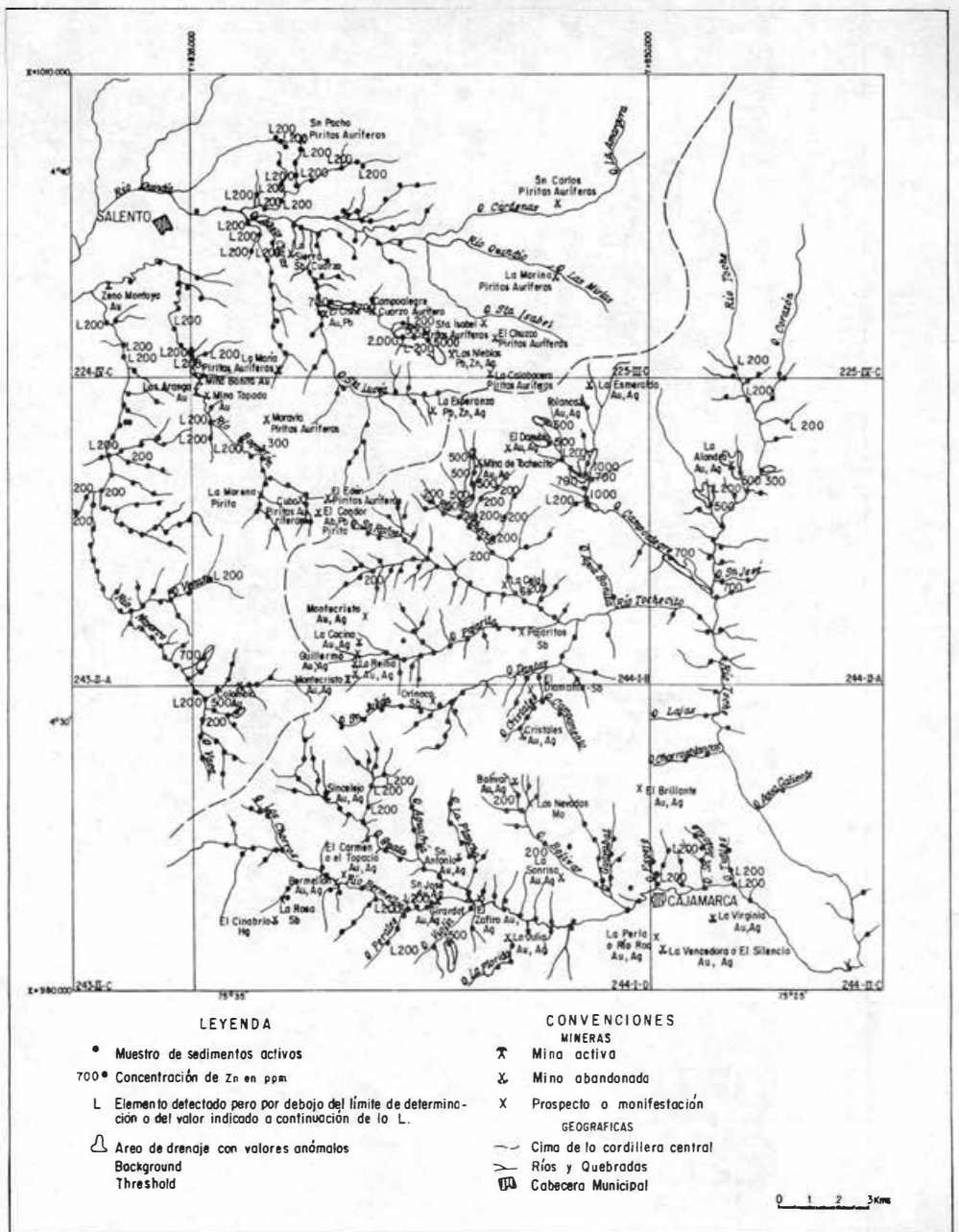


FIG. 23. Contenido de zinc. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico

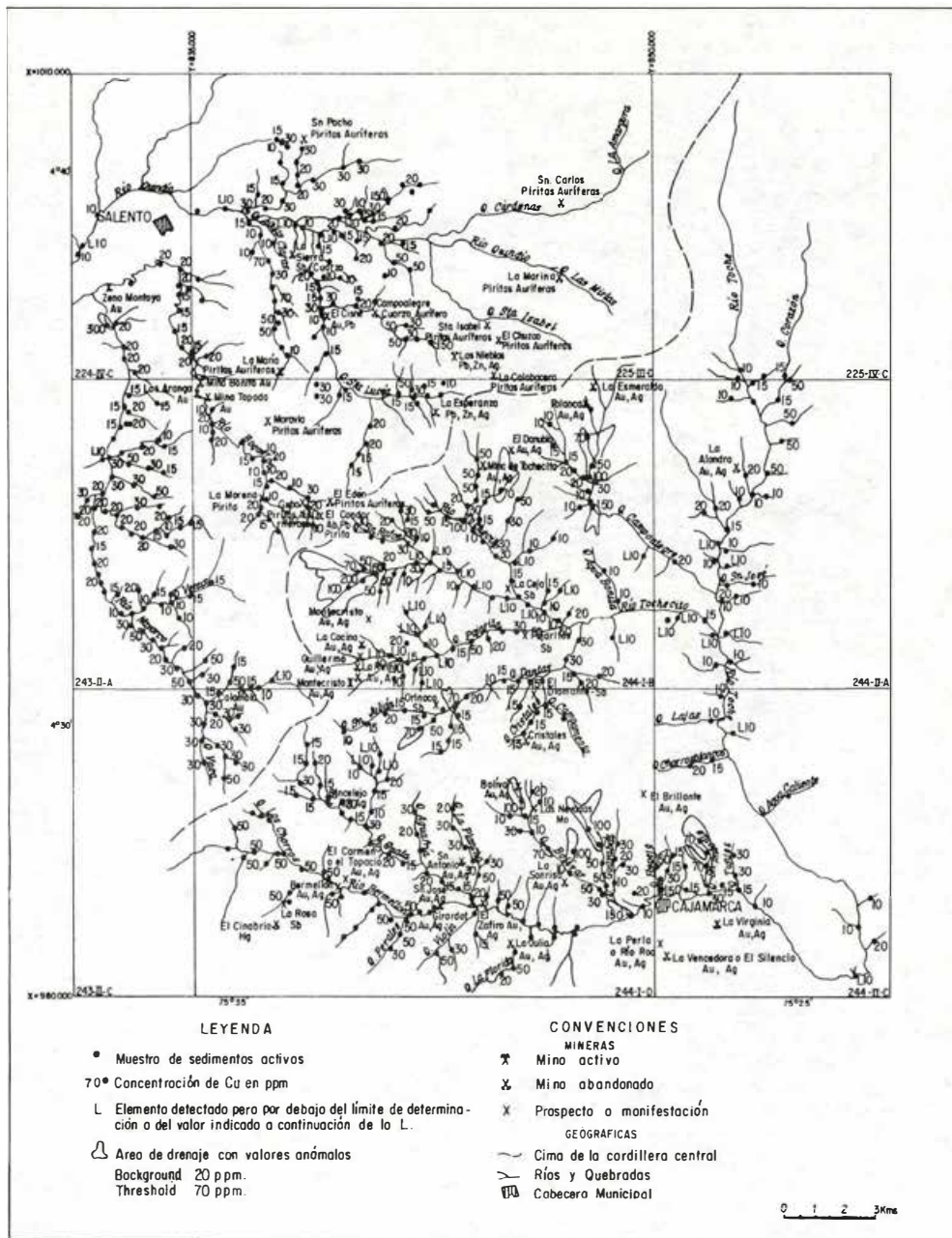


FIG. 24: Contenido de cobre. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico.

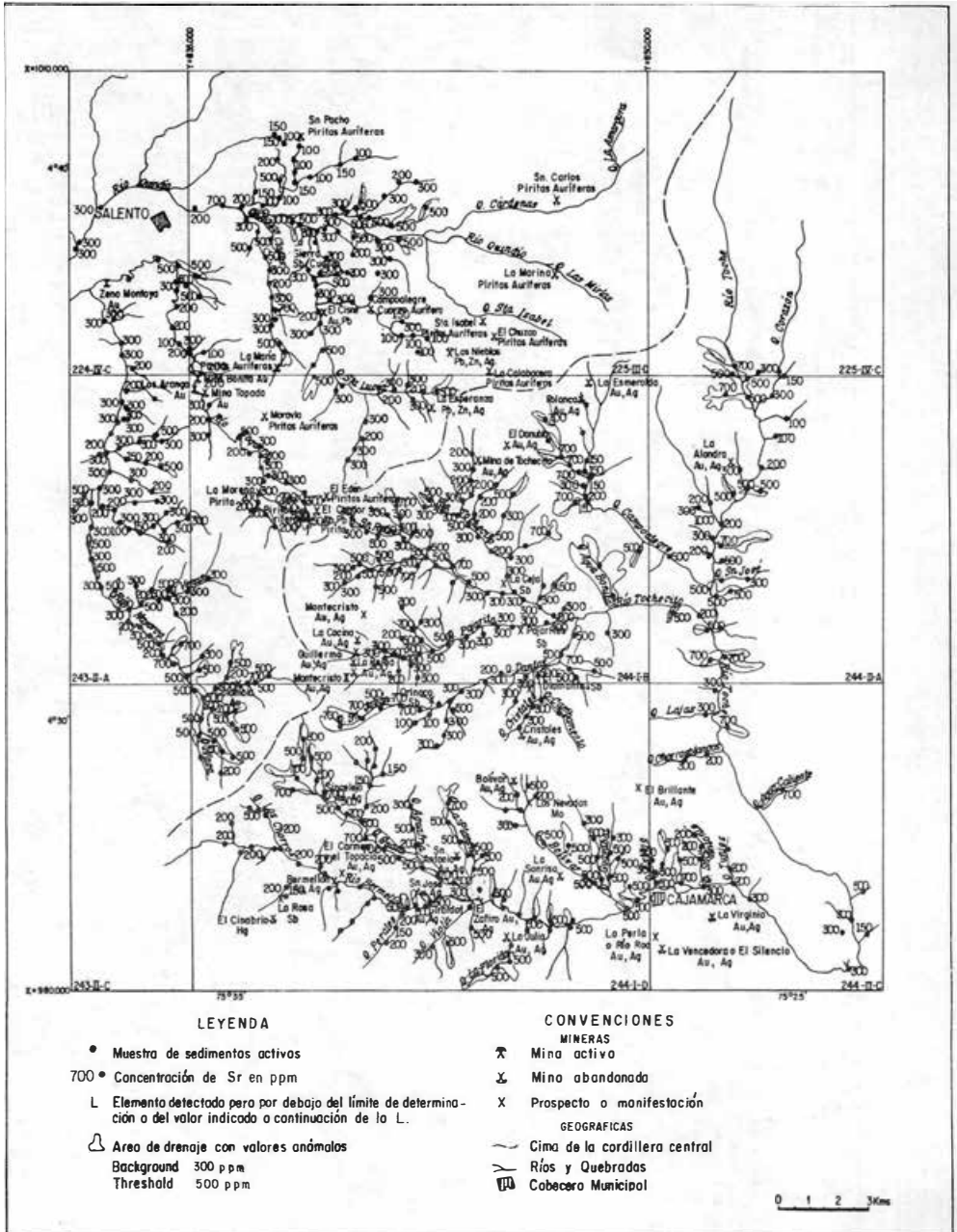


FIG. 25: Contenido de estroncio. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico.

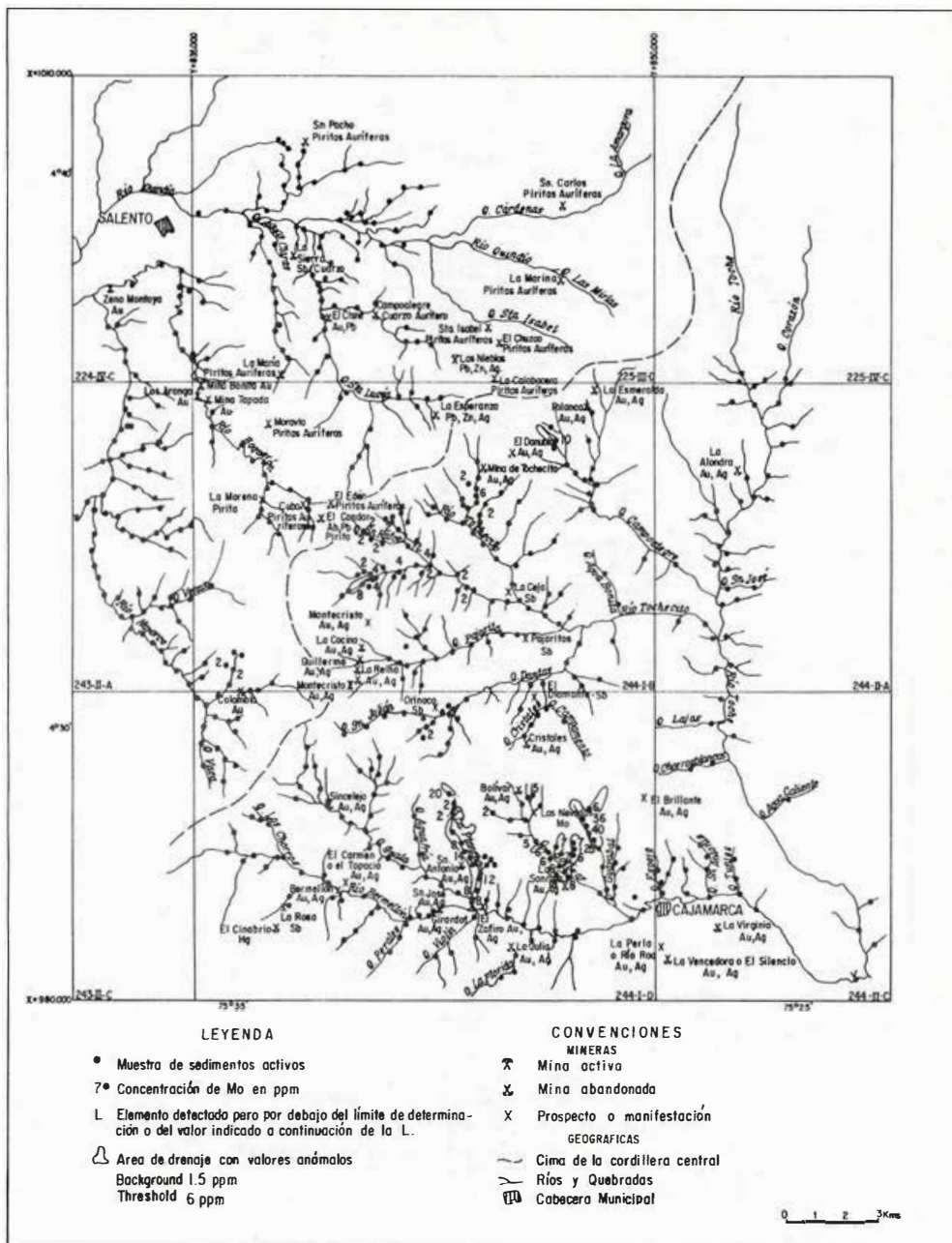


FIG. 26: Contenido de molibdeno. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis colorimétrico.

Elemento					
Hg	ppm	N - .06	.07-.26	>.26	
	%	68.0	27.45	4.55	
Sb	ppm	N - 1	2 - 5	6 - 12	> 12
	%	78.65	14.60	4.23	2.52
Au	ppm	N - .05	.06-.3	.31-1	> 1
	%	63.96	24.07	5.61	6.36
Ag	ppm	N - .5	.7 - 2	> 2	
	%	95.56	3.87	.57	
Pb	ppm	N - 10	15	20 - 50	> 50
	%	70.65	13.90	13.71	1.74
Ba	ppm	70 - 300	500 - 700	> 700	
	%	62.36	34.17	3.47	
Zn	ppm	N - L200	200 - 300	500 - 700	> 700
	%	91.50	3.67	3.86	0.97
Cu	ppm	N - 20	30 - 70	> 70	
	%	66.71	30.69	2.6	
Sr	ppm	N - 300	500	> 500	
	%	60.62	29.72	9.46	
Mo	ppm	N - 2	3 - 6	7 - 14	> 14
	%	71.97	10.60	13.63	3.80

TABLA 6: Intervalos de valores y porcentajes de concentración de los elementos indicados. Fracción Fina. Análisis espectrográficos, detector, absorción atómica y colorimetría. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima.

NOTA: N Elemento no detectado en el límite inferior de detección

L = Valor menor que el indicado a continuación de la L.

La primera columna representa valores inferiores al background. En las otras columnas, los valores de los intervalos fueron tomados en los puntos de quiebre de las curvas de frecuencia acumulativa (Fgs. 12 al 16).

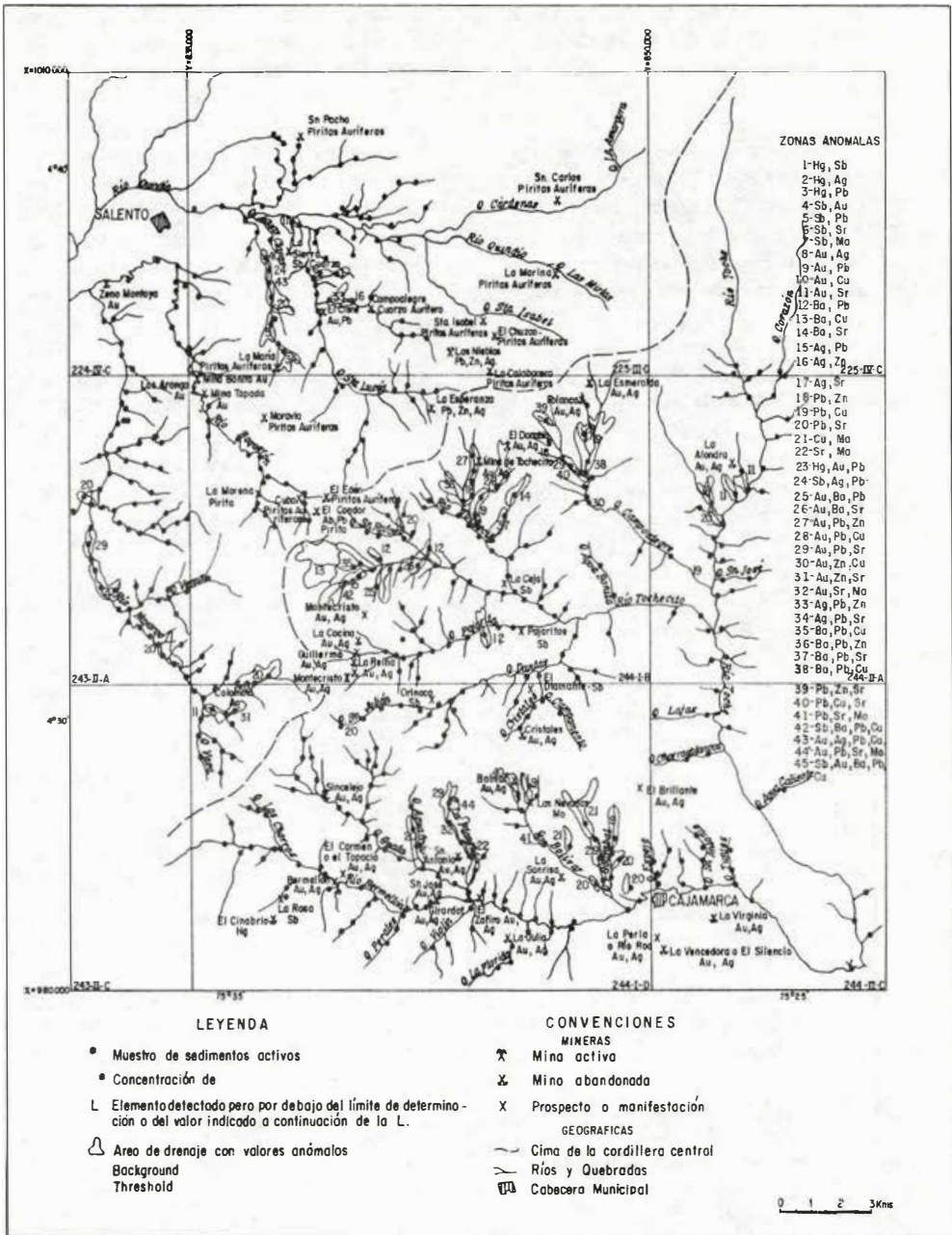


FIG. 27: Anomalías de elementos superpuestos. Sedimentos activos, fracción fina.

aproximadamente 4.5 km de longitud. El drenaje está formado por un conjunto de elementos superpuestos dentro de los cuales se destacan los siguientes grupos: Au-Ag-Pb-Cu, Sb-Ag-Pb, Pb-Cu-Sr, Ag-Pb-Sr, Sb-Pb y Ag-Sr.

Las anomalías descansan sobre esquistos cuarzo - sericíticos - grafitosos con lentes de esquistos clorítico - actinolíticos. En los nacimientos de la quebrada Cruz Gorda se encuentra la mina abandonada de Au La María.

2. Parte central y nacimiento de la quebrada Aguas Claras; se encuentra en la Plancha 225-III-D del IGAC, tiene en conjunto 6 km de longitud. El drenaje anómalo está formado por pequeñas anomalías que se distribuyen en la parte central y en los nacimientos de la quebrada Aguas Claras. Las series de elementos superpuestos son: Sb-Ag-Pb-Zn-Cu-Mo, Ag-Pb-Zn, Hg-Ag, Hg-Sb, Sb-Sr, Sb-Pb y Ag-Zn.

En la zona afloran esquistos negros, esquistos verdes y neises cuarzo-feldespáticos y se encuentran las minas de Au y Ag, El Cisne y Campoalegre y la mina activa Las Nieblas, explotada para Pb, Zn y Ag.

Algunas de las anomalías en este drenaje son el producto de contaminación del laboreo minero actual.

3. Parte media del río Navarco: ubicada aguas abajo de la confluencia de la quebrada Venus, en la Plancha 243-II-A del IGAC. Está formada por pequeñas anomalías que unidas tienen aproximadamente 6 km de longitud. Los elementos superpuestos son: Au-Pb-Sr. La zona anómala está sobre esquistos cuarzo-sericítico-grafitosos y lentes de esquistos clorítico-actinolíticos. No se conocen mineralizaciones cercanas.

4. Nacimiento del río Navarco: se en-

cuentra en las planchas 243-II-A, 244-I-B y 244-I-D del IGAC. El drenaje anómalo está constituido por pequeñas anomalías que agrupadas tienen 6.5 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Au-Pb-Sr, Au-Cu-Sr y Zn-Pb.

En la zona afloran esquistos negros, esquistos verdes, neises cuarzo-feldespáticos y mantos de tobas, además se encuentra la abandonada Colombia, de Au aluvial. Se desconoce la existencia de mineralizaciones de Au filoniano.

5. Nacimiento de la quebrada San Rafael: ubicada en la Plancha 244-I-B del IGAC, tiene en conjunto 8 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Sb-Au-Ba-Pb-Cu, Sb-Ba-Pb-Cu, Au-Ba-Sr, Ba-Pb-Cu, Ba-Pb, Ba-Cu y Ba-Sr.

El drenaje anómalo se encuentra sobre esquistos negros, esquistos verdes, lentes de cuarcitas y mantos tobáceos. En los alrededores está localizada la mina Montecristo I y posiblemente las prolongaciones de las minas El Edén y El Cóndor, las cuales fueron explotadas para Au y Ag.

6. Nacimiento del río Tochecito: se encuentra en la Plancha 244-I-B del IGAC, está formada por pequeñas anomalías que agrupadas tienen aproximadamente 8.5 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ba-Pb-Sr, Ba-Pb-Zn, Au-Pb-Cu, Au-Pb-Zn, Pb-Zn y Ba-Sr.

En los nacimientos del río Tochecito afloran esquistos cuarzo-sericítico-grafitosos, esquistos cloríticos-actinolíticos y mantos de tobas feldespáticas y se encuentran las minas de Tochecito y El Danubio, las cuales fueron explotadas para Au y Ag.

7. Nacimiento de la quebrada Campoalegre: ubicada en la Plancha 244-I-B

del IGAC; formada por pequeñas anomalías que tienen aproximadamente 4.5 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Pb-Cu-Sr; Pb-Zn-Sr, Pb-Zn-Cu, Au-Zn-Cu, Au-Pb-Sr, Au-Pb-Cu, Pb-Cu y Pb-Zn.

En la zona afloran esquistos cuarzo-sericítico - grafitosos, esquistos clorítico - actinolíticos, cuarcitas y mantos de tobas. En los nacimientos de la quebrada Campoalegre se encuentran las minas La Esmeralda y Polanco, las cuales fueron explotadas para Au y Ag.

8. **Afluentes río Toche:** se encuentra en la Plancha 244-II-A del IGAC, aguas arriba de la confluencia con la quebrada Campoalegre. Son anomalías que se localizan en los pequeños afluentes del río Toche y que unidas tienen aproximadamente 4.5 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Pb-Zn y Au-Sr.

Las anomalías se encuentran sobre esquistos cuarzo - sericítico - grafitosos con lentes de esquistos clorítico - actinolíticos, cuarcitas y mantos de tobas feldespáticas. En la zona de drenaje anómalo, únicamente aparece la mina La Alondra, la cual fue explorada para Au y Ag.

9. **Confluencia quebrada Campoalegre en el río Toche:** ubicada en la Plancha 244-II-A del IGAC y aguas arriba de la confluencia con la quebrada Campoalegre en el río Toche. Son dos anomalías que unidas tienen 2.3 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ba-Pb-Cu y Pb-Cu.

En el área afloran esquistos clorítico-actinolíticos con lentes de esquistos cuarzo - sericítico - grafitosos y mantos de cenizas volcánicas. No se conocen mineralizaciones cercanas a la zona de drenaje anómalo.

10. **Quebrada La Plancha:** se encuentra ubicada en la plancha 244-I-D del IGAC. En conjunto las zonas anómalas tienen aproximadamente 3 km de longitud y las series de elementos superpuestos son: Au-Pb-Sr-Mo, Pb-Sr-Mo, Au-Sr-Mo y Sr-Mo. En la zona de drenaje anómalo afloran esquistos cuarzo - sericítico - grafitosos, lentes de esquistos clorítico - actinolíticos y de cuarcitas, y pequeños apófisis de pórfidos dacíticos. En la zona intermedia baja de la quebrada La Plancha, se encuentra la mina abandonada de Au y Ag San Antonio.

11. **Quebrada Bolívar:** ubicada en la plancha 244-I-D; el drenaje anómalo tiene 3.5 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Zn-Sr-Mo, Cu-Mo, Zn-Cu y Au-Pb.

En el área de la quebrada Bolívar afloran rocas metamórficas del Grupo Cajamarca y pequeños apófisis de pórfidos dacíticos. En las cercanías se encuentran las minas Bolívar y Las Nevadas, las cuales fueron explotadas para Au y Ag.

12. **Quebrada Guayabal:** se encuentra en la Plancha 244-I-D del IGAC, las anomalías agrupadas tienen aproximadamente 5.2 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Au-Pb-Sr, Cu-Mo y Au-Pb.

En el área de la quebrada Guayabal afloran rocas metamórficas del Grupo Cajamarca y apófisis de pórfidos dacíticos. En los alrededores se encuentra la mina El Brillante, la cual fue explotada para Au y Ag.

13. **Río Bermellón y afluentes:** se encuentra ubicado en la Plancha 244-I-D del IGAC, en el cauce y afluentes del río Bermellón y entre las confluencias de las quebradas Campoalegre y Cristales. Las anomalías se encuentran dispersas y en con-

junto tienen 2.5 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Pb-CuSr, Sb-Sr y Mo-Sb.

El río Bermellón atraviesa rocas metamórficas del Grupo Cajamarca, mantos tobáceos y en sus alrededores aparecen las minas abandonadas El Cinabrio de Hg, La Rosa de Sb y las minas El Carmen o El Topacio, Girardot, San José, El Zafiro y La Julia, las cuales fueron explotadas para Au y Ag.

De las zonas de drenaje con anomalías geoquímicas de elementos superpuestos, se destacan por su longitud, consistencia y ausencia de mineralizaciones: la parte media y nacimientos del río Navarco. En segundo plano de importancia está la parte alta de la quebrada La Plancha.

6.1.2. CONCENTRADOS EN BATEA

Para complementar este estudio y a la vez averiguar la utilidad, en prospección geoquímica, de la fracción pesada de los sedimentos activos, se analizaron 537 muestras de concentrados en batea tomadas de la parte central y profunda posibles en los cauces de ríos y quebradas. En cada sitio se colectaron aproximadamente 200 grm de material. Posteriormente la fracción -80 -no magnética- fue analizada por espectrografía.

Por sus características mineralógicas, fueron escogidos como elementos indicadores Ag, As, Pb, Ba, Zn, Cu, Sr y Mo. La interpretación de los valores obtenidos a partir de los análisis se realizó en la siguiente forma:

1. Se averiguaron los valores de background y threshold para los diferentes elementos por medio de histogramas de frecuencia y curvas de frecuencia acumulativa (Figs. 16, 28 y 29), siguiendo las normas establecidas por Lepeltier, C. (1967). Estos resultados figuran en la Tabla 7.

Elemento	Background ppm	Threshold ppm
Ag	.5 (L.D.)	2
As	200 (L.D.)	> 200
Pb	2 (L.D.)	20
Ba	150	1.000
Zn	200 (L.D.)	300
Cu	35	100
Sr	100 (L.D.)	200
Mo	5 (L.D.)	> 5

TABLA 7: Valores estadísticos de background y threshold, de los elementos indicados. Análisis espectrográfico. Fracción pesada. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima.

NOTA: L.D. = Límite inferior de detección.

—o—

2. En las curvas de frecuencia acumulativa, el background para Pb, Ba y Cu se determinó tomando el valor medio (50%). En el caso de Ag, As, Zn, Sr y Mo, este valor se obtuvo utilizando el límite inferior de detección del espectrógrafo.
3. Dado el escaso número de clases mostrado por los valores de As y Sr, el threshold se determinó a partir de diagramas de concentración vs. número de muestras. Para los otros elementos, esta información se obtuvo de los gráficos de frecuencia acumulativas en el valor correspondiente al punto de quiebre entre la primera y la segunda población.
4. Se elaboraron mapas de drenaje a escala 1:50.000 y con el valor del threshold se encerraron las diferentes anomalías. Para cada elemento se elaboró un mapa (Figs. 30 a 36).
5. En la Tabla 8, se agrupan los resultados de los análisis espectrográficos de los elementos en los concentrados en batea con sus respectivos porcentajes.

Los elementos indicadores en la fracción pesada, debido a sus mutuas asociacio-

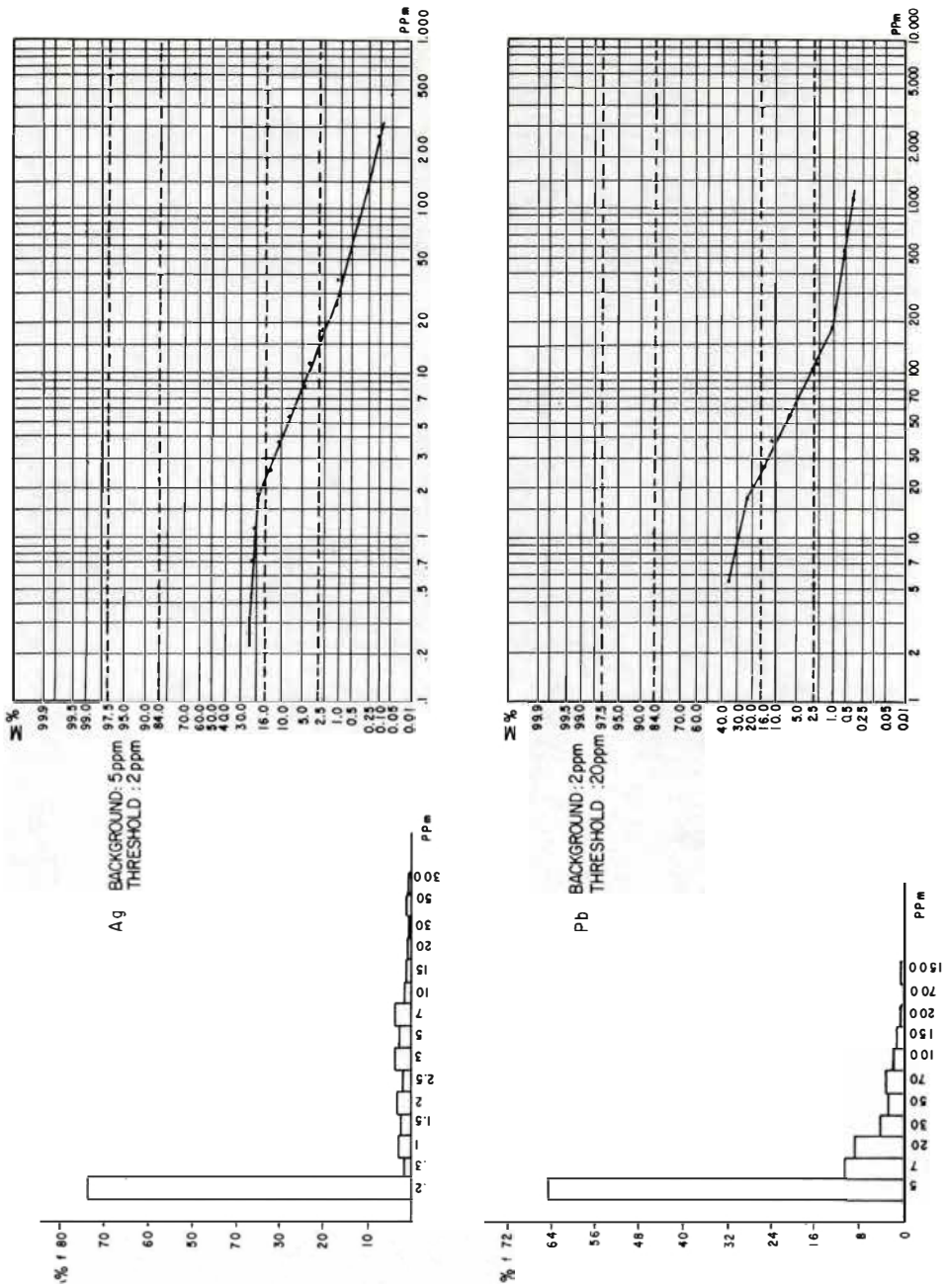


FIG. 28: Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Ag y Pb. Sedimentos activos, fracción pesada.

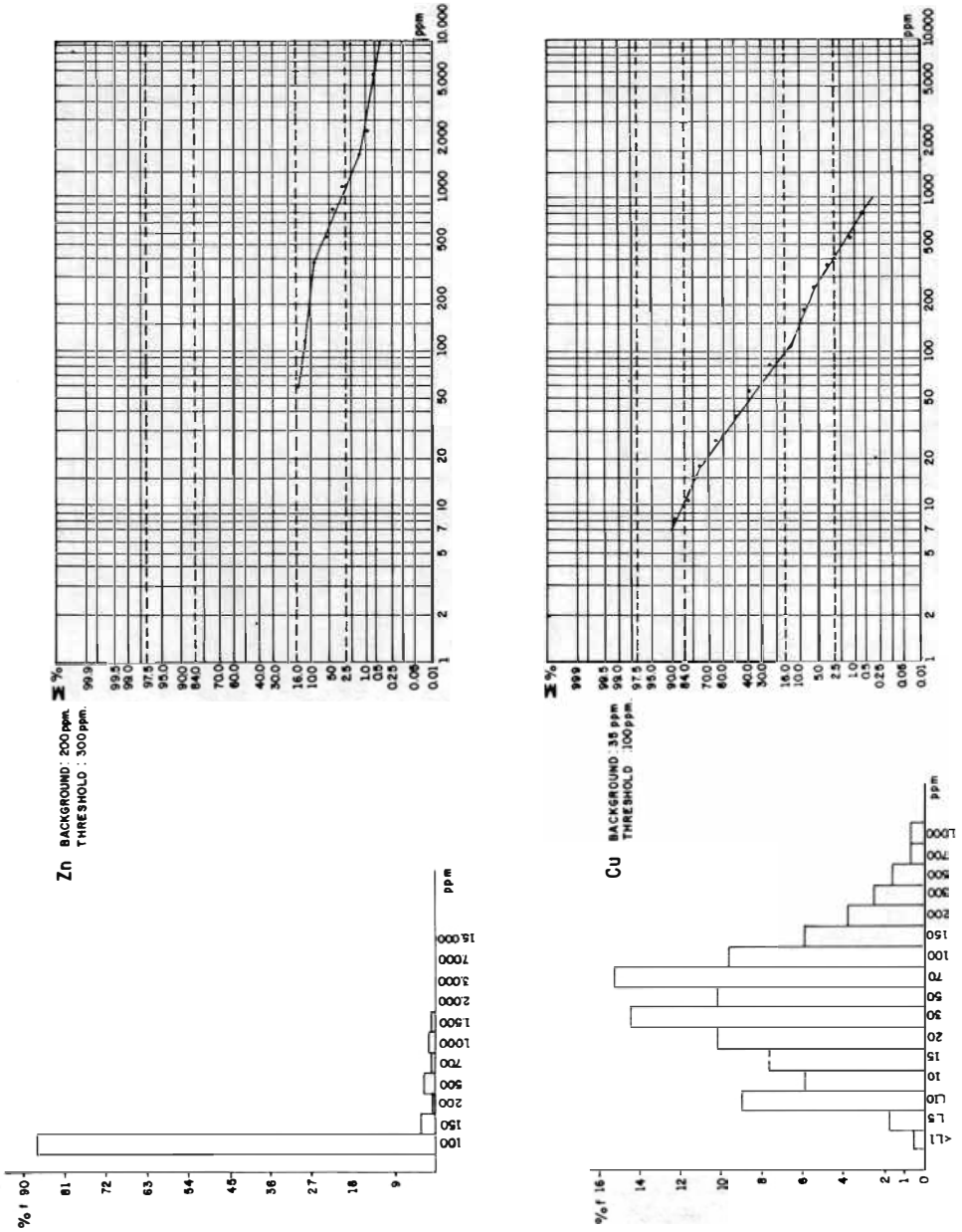


FIG. 29. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Zn y Cu. Sedimentos activos, fracción pesada.

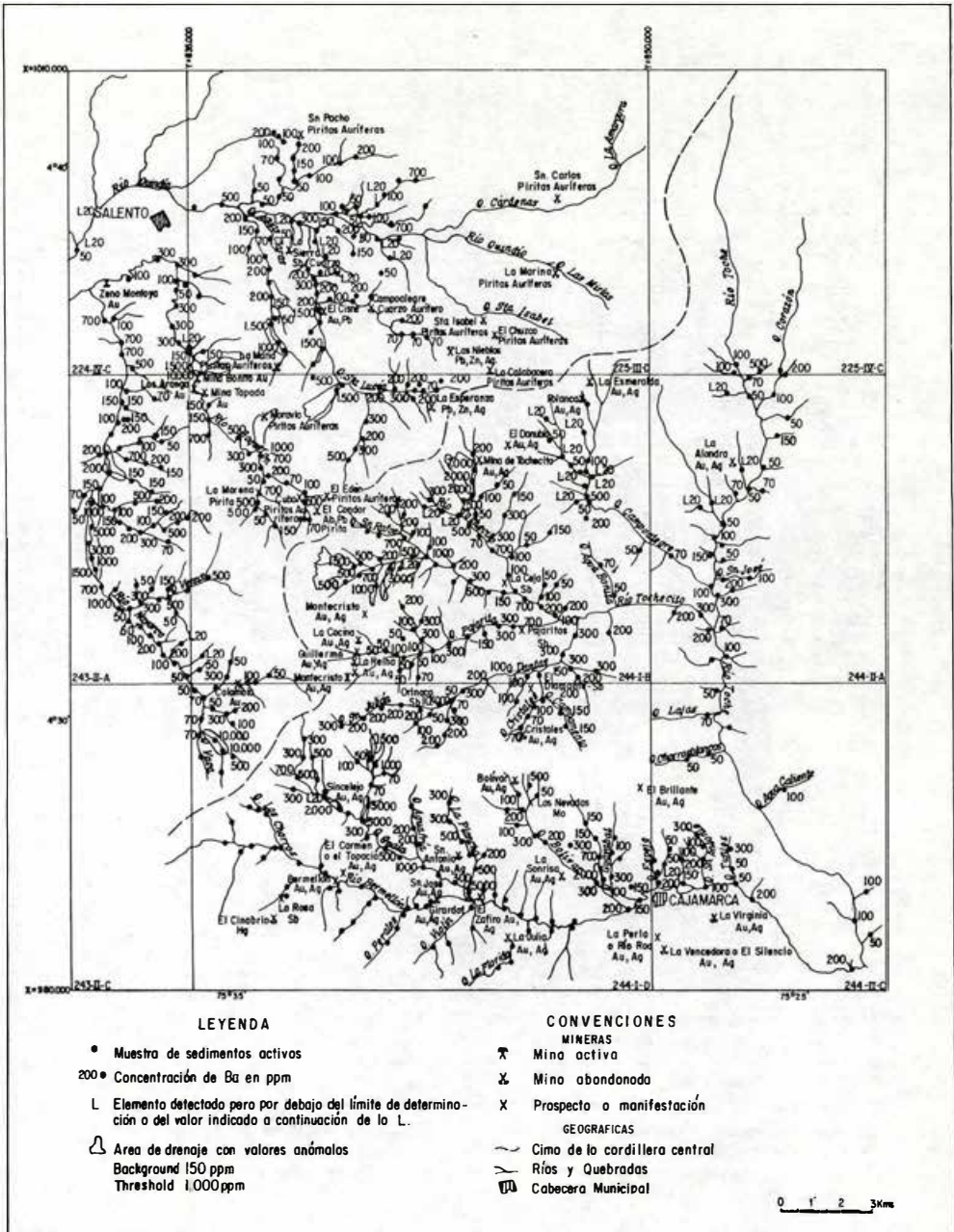


FIG. 30: Contenido de Bario. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis Espectrográfico.

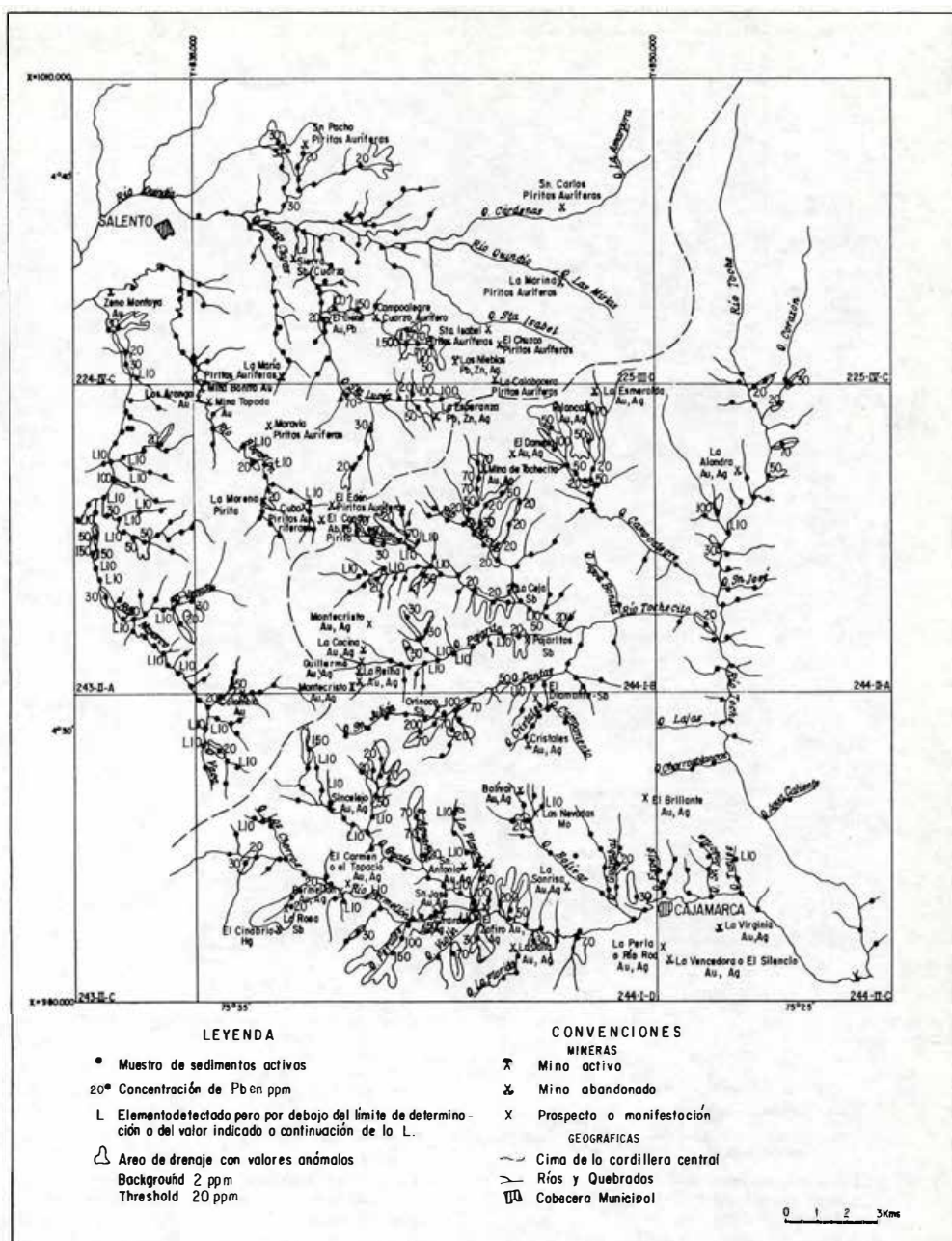


FIG. 32: Contenido de plomo. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis espectrográfico.

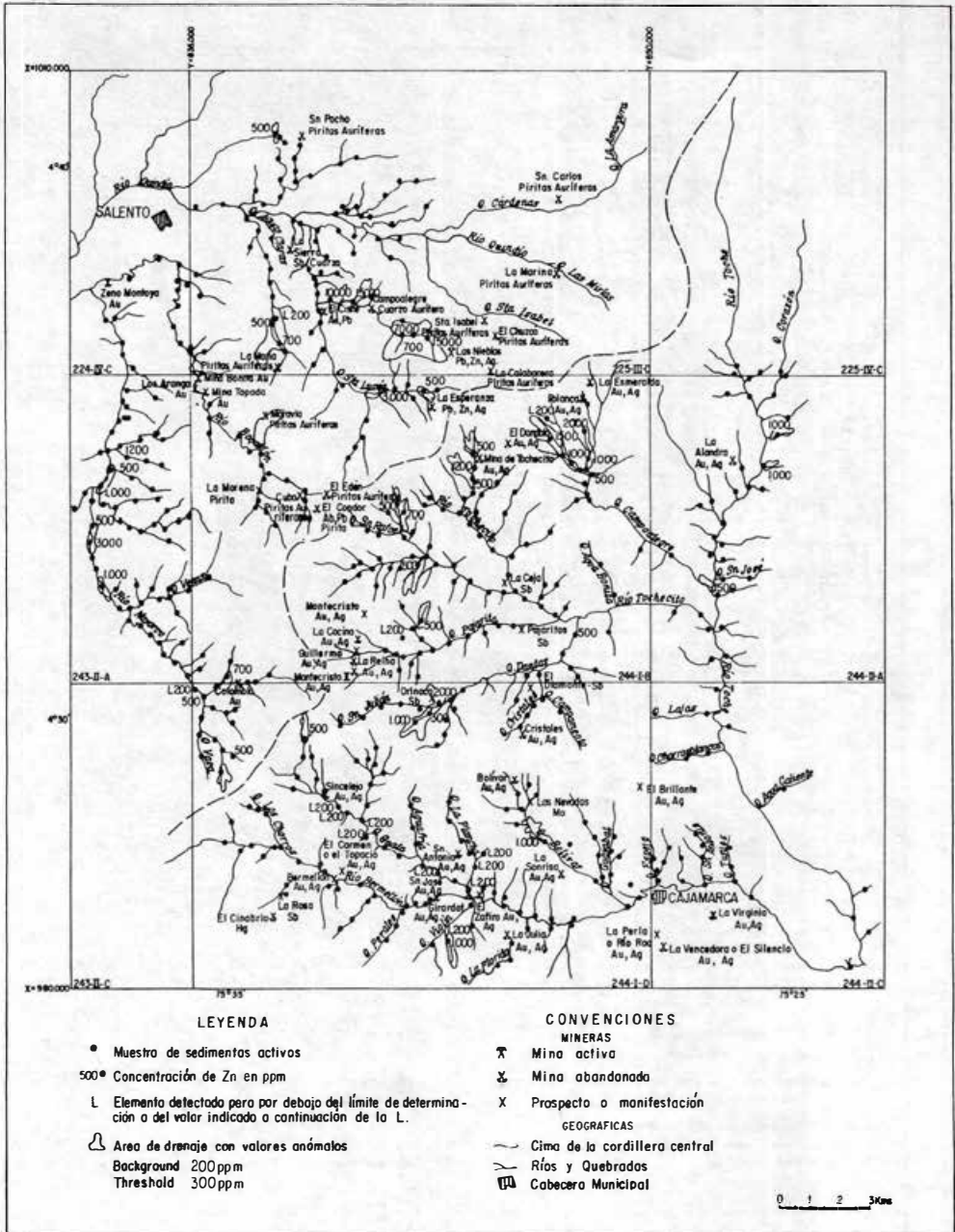


FIG. 33: Contenido de zinc. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis espectrográfico.

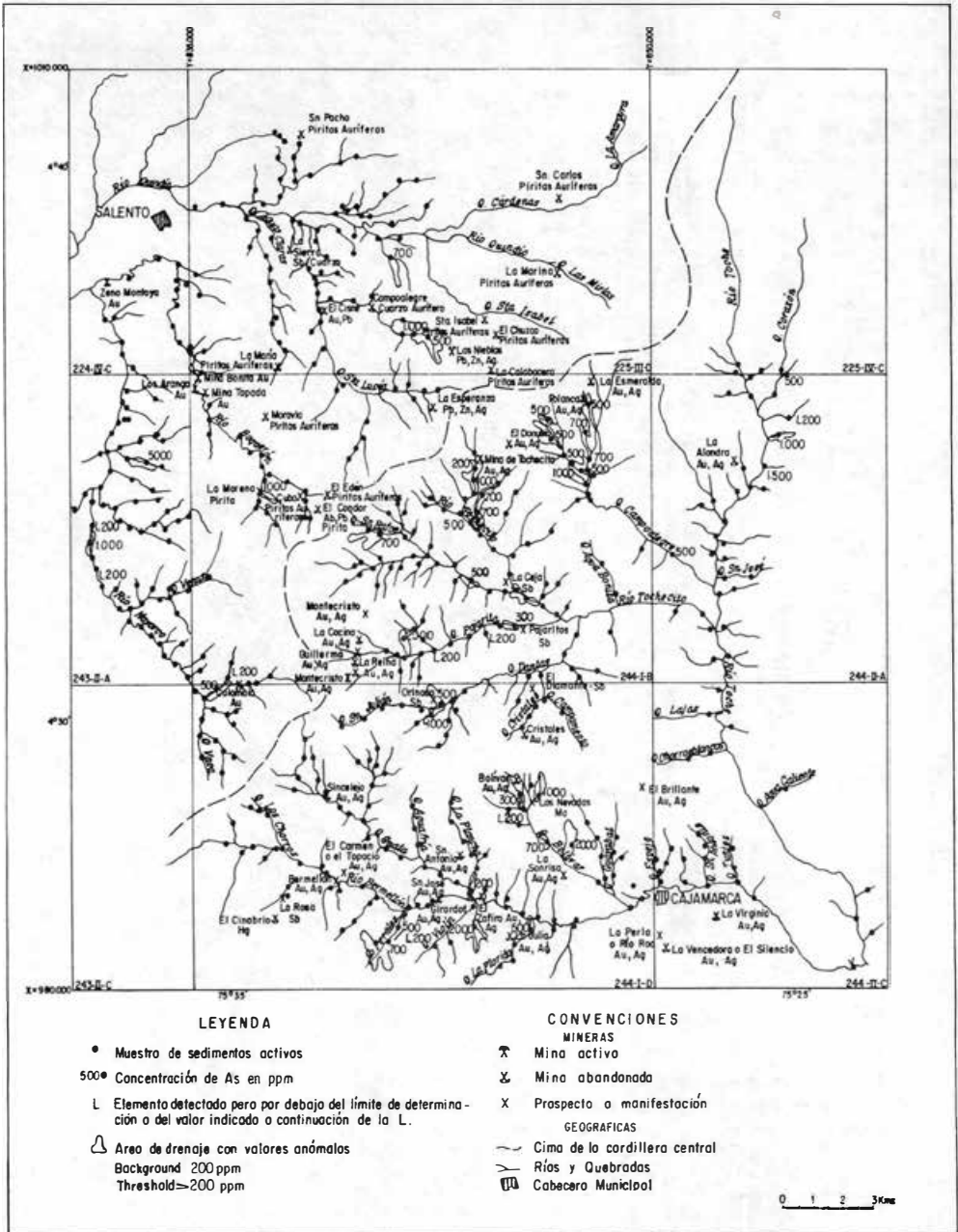


FIG. 35: Contenido de Arsénico. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis espectrográfico.

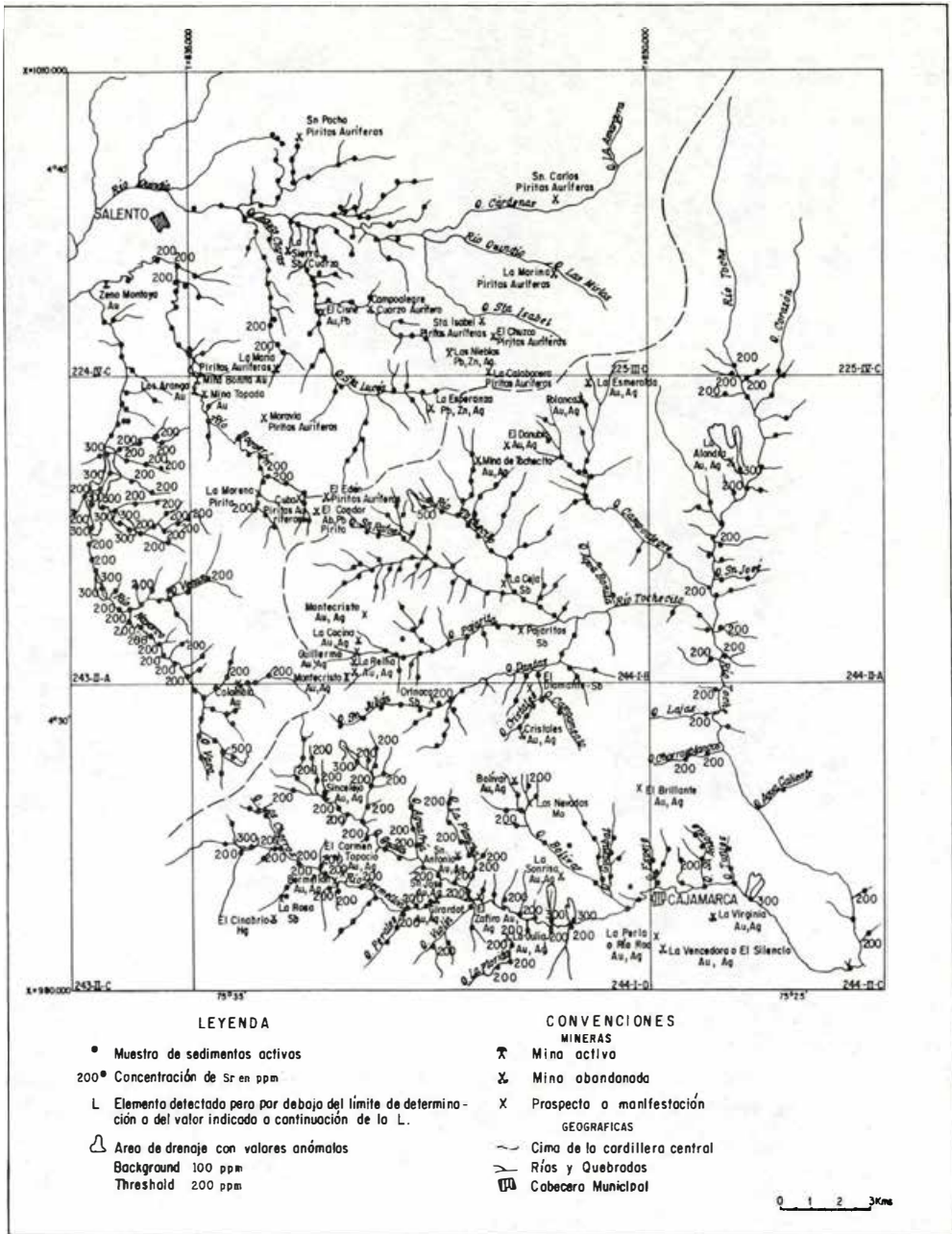


FIG. 36: Contenido de estroncio. Sedimentos activos, fracción pesada. Análisis espectrográfico.

Elemento

Ag	ppm	N – L.5	1 – 2	2.5 – 20	> 20
	%	75.43	7.99	15.19	1.39
As	ppm	N – L 200	200	> 200	
	%	91.42	.19	8.39	
Pb	ppm	N	L 10 – 20	30 – 150	> 150
	%	64.23	19.88	14.80	1.09
Ba	ppm	N – 150	200 – 1000	1500 – 3000	> 3000
	%	53.03	40.15	5.25	1.57
Zn	ppm	N – L 200	500	> 500	
	%	91.42	2.92	5.66	
Cu	ppm	N – 30	50 – 100	150 – 300	> 300
	%	50.28	34.89	11.89	2.94
Sr	ppm	N	200	> 200	
	%	68.61	27.30	4.09	

TABLA 8 : Intervalos de valores y porcentajes de los elementos indicadores. Fracción pesada. Análisis espectrográficos. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca Tolima.

NOTA: N Elemento no detectado en el límite inferior.

L = Valor menor que el indicado a continuación de la L.

La primera columna representa valores inferiores al background. En las otras columnas, los valores de los intervalos fueron tomados en los puntos de quiebre de las curvas de frecuencia acumulativa (Figs. 16, 28 y 29).

nes no se trataron individualmente sino en forma conjunta como anomalías superpuestas.

6.1.2.1. Anomalías geoquímicas para elementos superpuestos.- Las anomalías de elementos superpuestos más importantes obtenidas a partir de concentrados en batea, son las siguientes (Fig. 37):

- 1. Quebrada Cruz Gorda:** ubicada en las planchas 225-III-C y 244-I-B del IGAC; son pequeñas anomalías localizadas en los nacimientos de la quebrada Cruz Gorda y que unidas tienen aproximadamente 2.5 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ba-Ag-Zn-Cu, Ag-Pb-Zn-Cu y Au-Ag.

La anomalía descansa sobre esquistos cuarzo-sericíticos con lentes de esquistos clorítico-actinolíticos. En los nacimientos de la quebrada Cruz Gorda se halla la mina La María, la cual fue explotada para Au.

- 2. Parte central y nacimientos de la quebrada Agua Clara:** se encuentra ubicada en la Plancha 225-III-D del IGAC, tiene en conjunto aproximadamente 3.5 km de longitud. El drenaje anómalo está formado por los siguientes grupos de elementos: Ag-Pb-Zn-Cu-As, Ag-Pb-Zn, Ba-Ag-Pb y Ag-Zn.

En la zona de la anomalía afloran rocas del Grupo Cajamarca y neises cuarzo-feldespáticos. En las cercanías se encuentran las minas abandonadas de Au y Ag El Cisne, Campoalegre y la mina activa Las Nieblas, explotada para Pb-Zn-Ag.

Algunas de las anomalías en esta zona de drenaje son el producto de contaminación producida por el laboreo minero actual.

- 3. Parte media del río Navarco:** está ubicada aguas abajo de la confluencia

de la quebrada Venus, en la Plancha 243-II-A del IGAC y tiene aproximadamente 8 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ag-Pb-Zn-Cu-As, Ba-Pb-Zn-Cu-Sr, Ag-Pb-Cu-As, Ba-Ag-Cu-Sr, Ba-Ag-Pb-Cu, Ag-Pb-Zn-Cu, Ag-Cu-As, Pb-Cu-Sr, Ag-Pb-Cu y Ba-Cu-Sr.

Las anomalías descansan sobre rocas del Grupo Cajamarca. El drenaje anómalo del río Navarco es uno de los más importantes del área, debido a su longitud y a la ausencia de mineralizaciones conocidas.

- 4. Quebrada San Rafael:** se encuentra ubicada en la Plancha 244-I-B del IGAC, las anomalías están localizadas en el cauce de la quebrada del mismo nombre en algunos de sus afluentes, y unidas tienen aproximadamente 6.5 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ag-Pb-Zn-Cu, Ba-Ag-Pb-Zn, Ag-Cu-As, Ag-Pb-Cu, Pb-Cu, Ag-As y Ba-Cu.

El drenaje anómalo se halla sobre rocas del Grupo Cajamarca y mantos tobáceos, en sus alrededores están la mina Montecristo I y posiblemente las prolongaciones de las minas El Edén y El Cóndor, las cuales fueron explotadas para Au-Ag.

- 5. Nacimiento del río Tohecito:** ubicada en la Plancha 244-I-B del IGAC, tiene aproximadamente 4.2 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ba-Ag-Pb-Cu-As, Ag-Pb-Cu-As y Ba-Zn-Cu-As.

En los nacimientos del río Tohecito afloran esquistos cuarzo-sericítico-grafíticos, esquistos clorítico-actinolíticos y mantos de tobas feldespáticas. Se encuentran en los alrededores las minas de Tohecito y El Danubio, las cuales fueron explotadas para Au-Ag.

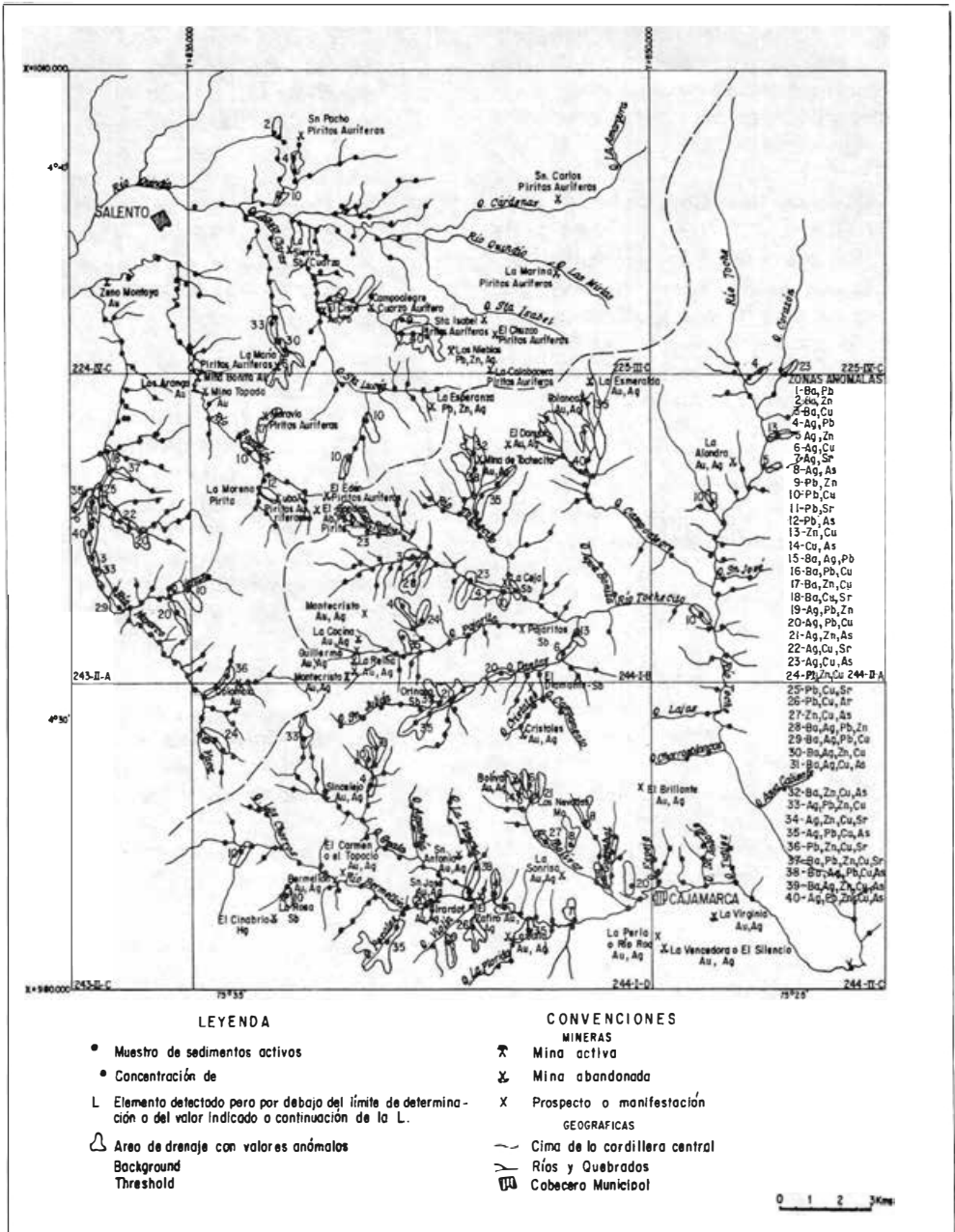


FIG. 37: Anomalías de elementos superpuestos. Sedimentos activos, fracción pesada.

6. **Nacimiento de la quebrada Campoalegre:** se encuentra en la Plancha 244-I-B del IGAC; en conjunto tiene aproximadamente 5 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ag-Pb-Zn-Cu-As y Ag-Pb-Cu-As.

La anomalía descansa sobre rocas del Grupo Cajamarca y mantos tobáceos. En los nacimientos de la quebrada Campoalegre se hallan las minas La Esmeralda y Polanco, las cuales fueron explotadas para Au-Ag.

7. **Afluentes río Toche:** ubicada en las planchas 225-IV-C y 244-II-A del IGAC, en el cauce de algunos pequeños afluentes y aguas arriba de la confluencia de la quebrada Campoalegre. En conjunto, las zonas anómalas tienen 2.5 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ag-Cu-As, Zn-Cu, Ag-Zn y Ba-Cu.

El drenaje se encuentra sobre esquistos cuarzo-sericítico-grafitosos, esquistos clorítico-actinolíticos, cuarcitas y mantos de tobas feldespáticas. En los alrededores únicamente se encuentra la mina abandonada de Au-Ag de La Alondra.

8. **Nacimientos y afluentes quebrada Guala:** se encuentra en la Plancha 244-I-D del IGAC. Son pequeñas anomalías dispersas que tienen aproximadamente 3 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ag-Pb-Zn-Cu, Ba-Ag-Pb-Cu-As, Ba-Pb-Cu, Pb-Cu, Ag-Pb y Ba-Pb.

En el área de la quebrada Guala afloran rocas metamórficas del Grupo Cajamarca, tobas feldespáticas y pórfidos dacíticos. En las cercanías se encuentran las minas abandonadas de Au-Ag Sincelejo, San Antonio y San José.

9. **Quebrada Dantas:** ubicada en las planchas 244-I-B y 244-I-D del IGAC; son anomalías dispersas y en-

trelazadas, que en conjunto tienen aproximadamente 5.2 km de longitud.

Las series de elementos superpuestos son: Ba-Ag-Zn-Cu-As, Ag-Pb-Zn-Cu, Ag-Pb-Cu, Zn-Cu y Ag-Cu.

La quebrada Dantas está localizada sobre esquistos cuarzo-sericítico-grafitosos, esquistos clorítico-actinolíticos, cuarcitas y mantos irregulares de tobas feldespáticas.

Dentro de esta zona de drenaje se hallan las minas abandonadas de Cristales y El Diamante de Au-Ag y Sb respectivamente.

10. **Río Bermellón y afluentes:** se encuentra en la Plancha 244-I-D en el cauce y afluentes del río Bermellón y entre las confluencias de las quebradas Campoalegre y Perales. Las anomalías se encuentran dispersas en una longitud de 7 km aproximadamente y agrupadas tienen 5.3 km. Las series de elementos superpuestos son: Ba-Ag-Pb-Cu-As, Ag-Pb-Cu-As, Pb-Cu-As, Ag-Pb-Cu, Pb-Zn, Ag-Sr y Ag-Pb.

El río Bermellón atraviesa rocas metamórficas del Grupo Cajamarca y en sus alrededores aparecen las minas abandonadas de El Cinabrio de Hg, La Rosa de Sb y las minas de El Carmen o El Topacio, Girardot, San José, El Zafiro y La Julia, las cuales fueron explotadas para Au-Ag.

11. **Quebrada Bolívar:** ubicada en la Plancha 244-I-D, tienen aproximadamente 2.6 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Zn-Cu-As, Ag-Zn-As, Cu-As, Ag-As y Ag-Cu.

En el área afloran rocas metamórficas del Grupo Cajamarca y pequeños apófisis de pórfidos dacíticos. En los alrededores se encuentran las minas abandonadas Bolívar y Las Nevadas, las cuales fueron explotadas para Au-Ag.

12. **Quebrada Guayabal:** se encuentra en la Plancha 244-I-D del IGAC; tiene aproximadamente 2 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ag-Pb-Cu, Ag-Cu y Ba-Cu.

La quebrada Guayabal corta rocas metamórficas del Grupo Cajamarca y pórfidos dacíticos y en sus alrededores se encuentra la mina abandonada de Au-Ag El Brillante.

13. **Nacimiento río Boquerón:** ubicada en la Plancha 244-I-B del IGAC; tiene en conjunto 3 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Ba-Zn-Cu, Pb-As y Pb-Cu.

En el nacimiento del río Boquerón afloran neis cuarzo-feldespáticos, anfíbolitas, esquistos cuarzo-sericítico-grafitosos y lentes de cuarcitas y se encuentran las minas abandonadas de Au-Ag El Edén, El Cóndor, Cuba, La Morena y Moravia.

14. **Nacimiento del río Navarco:** se encuentra en las planchas 244-I-B y 244-I-D del IGAC; son dos anomalías que en conjunto tiene 3 km de longitud. Las series de elementos superpuestos son: Pb-Zn-Cu-Sr y Pb-Zn-Cu.

En la zona anómala afloran esquistos cuarzo-sericítico-grafitosos, esquistos clorítico-actinolíticos, neises cuarzo-feldespáticos y mantos de tobas en las cercanías se localizan la mina abandonada Colombia, de Au aluvional.

15. **Nacimiento quebrada Santa Lucía:** ubicada en la Plancha 244-I-B del IGAC; son tres anomalías que agrupadas tienen 1.8 km de longitud y están distribuidas en los nacimientos de la quebrada del mismo nombre.

Las series de elementos superpuestos son: Ag-Pb-Cu, Ag-Pb-Zn y Pb-Cu.

En la zona de las anomalías afloran rocas metamórficas del Grupo Cajamarca y se encuentra el prospecto La Esperanza, el cual es de Pb-Zn-Ag.

De las zonas de drenaje con anomalías geoquímicas superpuestas se destacan por su longitud, consistencia, elementos superpuestos y ausencia de mineralizaciones: la parte media y el nacimiento del río Navarco. En segundo plano de importancia están: parte alta de los nacimientos de la quebrada San Rafael, afluente sur en el nacimiento de la quebrada Dantas y afluentes norte en el nacimiento de la quebrada Guala.

Como se ha podido apreciar en esta sección, los drenajes anómalos obtenidos a partir de análisis espectrográficos de la fracción fina y de la fracción pesada de los sedimentos activos, son muy similares (comparar Figs. 27 y 37). Por consiguiente se debe utilizar preferentemente para futuras exploraciones, la fracción fina. Esta porción presenta menos problemas en el muestreo y en la elaboración de los análisis.

7. ZONAS DE DRENAJE ANOMALO MAS IMPORTANTES

En esta sección se tratará de hacer una recopilación más simplificada de la información suministrada por los capítulos precedentes en lo referente a posibles zonas anómalas de interés económico para futuras prospecciones más específicas y detalladas.

Como se ha podido observar, en la interpretación geoquímica de los sedimentos activos, las anomalías obtenidas a partir de muestras analizadas por espectrografía, son muy similares tanto en la fracción fina como en la fracción pesada. Por esta razón no se discutirá esta última y se sugiere que para futuras exploraciones no se tenga en cuenta, puesto que los concentrados en bate, a pesar de presentar mayores concentraciones relativas, sus análisis son más dispendiosos y se puede incurrir en errores adicionales al momento del muestreo.

Aparentemente en el área ocurren tres épocas diferentes de emanaciones hidrotermales mineralizadas: 1. Filones de Au y Ag con polisulfuros, posiblemente conectados genéticamente con los cuerpos intrusivos de pórfidos dacíticos, 2. Manifestaciones de mercurio, relacionadas principalmente a la Falla de Aranzazu y 3. Mineralizaciones de estibina, emplazadas en la zona de fracturas de las fallas mayores.

La Figura 38 muestra en forma sintetizada las más importantes áreas anómalas de elementos superpuestos indicadores de manifestaciones de Au y Ag y anomalías individuales de Hg y Sb como guías, estas, últimas, de sus respectivas mineralizaciones.

Como puede observarse en este mapa, la casi totalidad de las mineralizaciones conocidas están indicadas por zonas anómalas de magnitud media tanto en tamaño como en concentración de valores altos; si se comparan las anteriores anomalías con los drenajes anómalos donde se desconocen ocurrencias minerales, se advierte que son muy similares tanto en tamaño como en extensión, por consiguiente debe esperarse que las nuevas mineralizaciones tengan dimensiones semejantes a las ya explotadas en el área. Aunque, zonas anómalas aledañas a minas conocidas tienen importancia económica, solo se indicarán a continuación para investigaciones futuras, los drenajes anómalos más promisorios que no estén directamente relacionados a ocurrencias minerales conocidas (Fig. 38).

Oro y Plata

1. Parte alta de la quebrada La Plancha; Está ubicada en la Plancha 244-I-D, tiene 3 km de longitud y los elementos superpuestos son: Au-Pb-Sr y Mo. En la parte inferior de la quebrada se encuentra la mina abandonada de Au y Ag San Antonio (Anomalía 23).
2. Parte media y nacimiento del río Navarco: está localizada en las planchas 243-II-A, 244-I-B y 244-I-D, tienen

una longitud aproximada de 3.5 km y los elementos superpuestos son: Sb-Au-Sr-Cu y Ba. En el nacimiento se encuentra la mina de Au de aluvión de Colombia (anomalías 18 y 24).

Mercurio

1. Afluente oriental parte media del río Navarco: está situado al norte de la Plancha 243-II-A y tiene 2.5 km de longitud. El elemento indicador es Hg (Anomalía 1).
2. Parte baja de la quebrada Santa Lucía, ubicada en la Plancha 225-III-D, tiene 1 km de longitud y los elementos anómalos son: Hg y Sb. Al este se encuentra la mina de Au y Pb de El Cisne (Anomalía 13).

Antimonio

1. Parte media y afluentes orientales de la quebrada Aguas Claras: Plancha 225-III-D, longitud 3 km, elementos anómalos: Sb u Hg. 1 km al oeste se encuentra la mina de Sb de La Sierra (anomalías 5 y 17).

En la Tabla 9, están compilados los valores mínimos y máximos de los diferentes elementos en los drenajes anómalos, fracción fina, encontrados en el área.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de prospección geoquímica, realizado en base de análisis de muestras de rocas, de filones y de sedimentos activos, en los municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima, condujo a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. En la zona se advierte un marcado predominio de rocas metamórficas del Grupo Cajamarca y de materiales tobáceos, y en menor proporción rocas ígneas tanto intrusivas como ex-

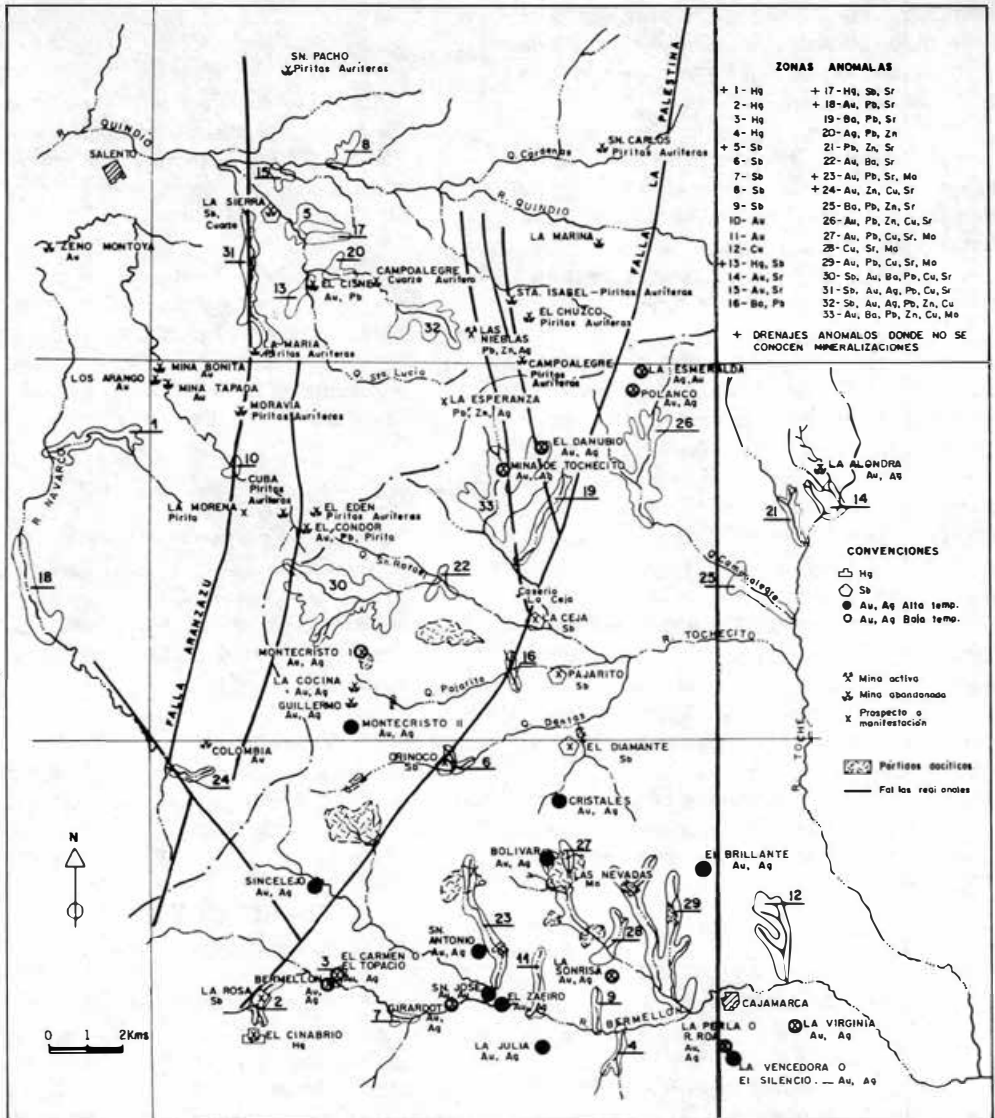


FIG. 38: Zonas de drenaje anómalos más importantes. Sedimentos activos, fracción fina.

No. NOMBRE DEL DRENAJE ANOMALO	Hg		Sb		Au		Ba		Ag		Pb		Zn		Cu		Sr		Mo	
	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.	Min-Max.
1 Afluente oriental parte media río Navarco	.23-1.42																			
2 Afluente sur parte alta río Bermellón	08-50																			
3 Afluente norte parte alta río Bermellón	--70.54																			
4 Afluente sur parte media río Bermellón	--3.45																			
5 Parte media y afluentes orientales de la quebrada Aguas Claras			8-22																	
6 Parte alta quebrada Dantas			5-50																	
7 Parte media río Bermellón			7-38																	
8 Afluente norte río Bermellón			8- 8																	
9 Afluente norte parte media río Bermellón			6-7																	
10 Parte alta río Boquerón			--2.62																	
11 Afluente norte río Bermellón			.41-.68																	
12 Quebrada San Antonio																				
13 Parte baja quebrada Santa Lucía	41-.66	12-20														70-70				
14 Afluente oeste del río Toche			.56-.75																	
15 Afluente sur del río Quindío			.39-.57																	
16 Afluente norte y sur quebrada Pajaritos																				
17 Afluente oriental quebrada Aguas Claras	.08-.76	17-18																		
18 Parte media río Navarco																				
19 Afluente nacimiento río Toche			.09-.44																	
20 Parte alta quebrada Aguas Claras																				
21 Afluente oeste del río Toche																				
22 Parte alta quebrada San Rafael																				
23 Quebrada La Plancha			.11-.46																	
24 Nacimiento río Navarco			.23-.75																	
25 Confluencia de la quebrada Campoalegre en el río Toche			1.21-1.41																	
26 Nacimientos quebrada Campoalegre			.13-5.97																	
27 Nacimientos quebrada Bolívar			.13-5.56																	
28 Afluente norte quebrada Bolívar																				
29 Quebrada Guayabal			.05-.98																	
30 Nacimientos quebrada San Rafael			.09-.40																	
31 Quebrada Cruz Gorda			.13-.33																	
32 Nacimientos quebrada Aguas Claras			.35-.57																	
33 Nacimientos río Toche			.07-.96																	

TABLA 9: Valores mínimos y máximos en las anomalías para un elemento y en las anomalías superpuestas para dos o más elementos. Sedimentos activos - fracción fina. Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima.

NOTA: N = Elemento no detectado en el límite inferior de detección.

L = Valor menor que el indicado a continuación de la L.

* Anomalía.

ciables entre sí por el contenido medio de: Fe, Ca, Mg, Ti, Ba, Mn, V, Sr, Cu, Zr, Ni, Co, Cr, Sc, Ga, Y, Be, Mo, Pb, Ag y La.

Los diagramas triangulares mostraron que las mejores guías para separar esquistos verdes de esquistos negros son los elementos trazas: Ba, Sr y Cr.

2. El conjunto de rocas ígneo-metamórficas aflora en el 56% del área, mientras que las tobas están expuestas en un 30%. Las primeras presentan mayor resistencia a la meteorización y erosión que las tobas. Estas últimas están compuestas de materiales sueltos fácilmente transportables por corrientes de agua; por esta razón, el aporte de las tobas, es mayor en la formación de los sedimentos activos.
3. Si la interpretación geoquímica se realiza únicamente en base de rocas metamórficas, valores superiores a 500 ppm en Ba, 100 ppm en Sr, 30 ppm en Cu, 1 ppm en Mo, 10 ppm en Pb y 1 ppm en Ag, pueden ser indicadores de mineralizaciones de Au y Ag.
4. En el área se presentan, aparentemente, tres clases diferentes de mineralizaciones hidrotermales: a) oro y plata; b) antimonio, y c) mercurio.

a) Las mineralizaciones de Au y Ag son de tipo meso a epitermal y están compuestas principalmente por cuarzo, pirita, argentita, galena, blenda y calcopirita. Estos filones están posiblemente relacionados genéticamente con intrusiones de pórfidos dacíticos.

Comparando la distribución de los cuerpos de pórfidos dacíticos con las relaciones $Ag \times 100/Ag + Pb + Zn + Cu$ y Cu/Zn de los filones, se observa lo siguiente: 1) los apófisis de pórfidos dacíticos

afloran en forma discontinua en un sector restringido del área. En esta misma zona se agrupan las mineralizaciones de Montecristo II, Cristales, Bolívar, Sincelejo, El Brillante, San Antonio, San José, El Zafiro y La Julia, las cuales muestran que la relación $Ag \times 100/Ag + Pb + Zn + Cu$ en cada una de ellas es menor a la relación Cu/Zn . Esto indica que los anteriores filones se formaron a temperaturas relativamente altas debido a la proximidad de los intrusivos que les dieron origen. 2) bodeando la zona anterior, se encuentran las mineralizaciones de La Esmeralda, Polanco, El Danubio, Tohecito, Montecristo I, Bermellón, El Carmen, La Sonrisa, La Perla y La Virginia las cuales tienen relaciones de $Ag \times 100/Ag + Pb + Zn + Cu$ mayores que las relaciones Cu/Zn . En este sector marginal no afloran pórfidos dacíticos, lo cual podría indicar que los filones se formaron a temperaturas bajas y en zonas un poco distantes de los cuerpos ígneos.

- b) Las mineralizaciones de Sb son de tipo epitermal de forma lenticular, con espesores no mayores de 20 cm, y están constituidos principalmente por cuarzo y estibina.

Estos filones, junto con las anomalías de Sb, están restringidos a zonas de fracturas asociadas a las fallas de Aranzazu y La Palestina, y posiblemente relacionadas genéticamente con las intrusiones de andesita porfirítica.

- c) Solamente se encuentra una ocurrencia de Hg, formada por cuarzo, calcita y cinabrio, sin embargo, se presentan algunas anomalías de este elemento cercanas a la Falla de Aranzazu, lo cual hace suponer que estas mineralizaciones se formaron por emanaciones gaseosas en zonas de fracturas.

5. Los elementos indicadores de las diferentes mineralizaciones en sedimentos activos, son los siguientes: a) Hg para manifestaciones de cinabrio, b) Sb para filones con estibina, y c) anomalías superpuestas de dos o más elementos, tales como Au, Sb, Ag, Pb, Sr, Zn, Ba, Cu y Mo, indicadores de mineralizaciones de Au y Ag.
 - a) Nacimiento de la quebrada San Rafael: tiene en conjunto 8 km de longitud. Los elementos anómalos son: Sb, Au, Ba, Pb, Cu y Sr. En los alrededores están localizadas las minas de Au y Ag de Montecristo I, El Edén y El Cóndor.
 - b) Nacimiento del río Tohecito: tiene 8.5 km de longitud. Los elementos anómalos son: Au, Ba, Pb, Zn, Cu y Mo. En las cercanías se encuentran las minas de Au y Ag de Tohecito y El Danubio.
 - c) Nacimiento de la quebrada Campoalegre: tiene 4.5 km de longitud. Los elementos anómalos son: Au, Pb, Zn, Cu y Sr. En los alrededores están las minas de Au y Ag de La Esmeralda y Polanco.
 - d) Quebrada Guayabal: tiene 5.2 km de longitud. Los elementos anómalos son: Au, Pb, Cu, Sr y Mo. En su nacimiento está localizada la mina de Au y Ag de El Brillante.
6. Las anomalías individuales de Pb y Sr, no fueron tenidas en cuenta debido a las altas concentraciones de esos elementos mostradas en los materiales tobáceos. Por lo tanto, valores anómalos de Pb y Sr están indicando la contribución normal de las tobas a los sedimentos activos y no mineralizaciones de Au y Ag.
7. Aunque la fracción pesada, muestra concentraciones medias más altas que la fracción fina, en la mayoría de los elementos, sus respectivas anomalías son muy semejantes. Por esta razón se sugiere utilizar, únicamente, la fracción fina en futuras exploraciones de áreas similares, ya que esta fracción presenta menos problemas en el muestreo y en la elaboración de los análisis.
8. La casi totalidad de las mineralizaciones conocidas están indicadas por drenajes anómalos de magnitud media, tanto en tamaño como en concentración de valores altos. Estas anomalías son muy similares en extensión a zonas anómalas en donde no se conoce la presencia de mineralizaciones. Por lo tanto, debe esperarse que las nuevas ocurrencias minerales tengan dimensiones similares a las ya explotadas en el área.
9. Los drenajes anómalos más importantes asociados a mineralizaciones conocidas, donde debe intensificarse la exploración, con el fin de encontrar nuevas zonas mineralizadas o prolongaciones de las ya existentes, son las siguientes:
 - a) Parte alta de la quebrada La Plancha: tiene 3 km de longitud y los elementos anómalos superpuestos son: Au, Pb, Sr y Mo.
 - b) Parte media y nacimiento del río Navarco: tiene en conjunto una longitud aproximada de 3 km. Los elementos anómalos son: Sb, Au, Pb, Cu y Ba.
 - c) Afluente oriental parte media del río Navarco: tiene 2.5 km de longitud. El elemento anómalo es Hg.
 - d) Parte baja de la quebrada Santa Lucía: tiene 1 km de longitud. Los elementos anómalos son Hg y Sb.
10. Los drenajes anómalos más promisorios, que no están relacionados a mineralizaciones conocidas son los siguientes:
 - a) Parte alta de la quebrada La Plancha: tiene 3 km de longitud y los elementos anómalos superpuestos son: Au, Pb, Sr y Mo.
 - b) Parte media y nacimiento del río Navarco: tiene en conjunto una longitud aproximada de 3 km. Los elementos anómalos son: Sb, Au, Pb, Cu y Ba.
 - c) Afluente oriental parte media del río Navarco: tiene 2.5 km de longitud. El elemento anómalo es Hg.
 - d) Parte baja de la quebrada Santa Lucía: tiene 1 km de longitud. Los elementos anómalos son Hg y Sb.

- e) Parte media y afluentes orientales de la quebrada Aguas Claras: tiene en conjunto 3 km de longitud. Los elementos anómalos son: Sb y Hg.
11. En el área de Salento y Cajamarca, merecen estudiarse con más detenimiento, principalmente las anomalías del afluente oriental del río Navarco para Hg y la parte media y afluentes orientales de la quebrada Aguas Claras para Sb. Sin embargo, en la Cordillera Central existen zonas anómalas con mejores perspectivas que la mayoría de las encontradas en este estudio, las cuales tendrán primacía para investigaciones detalladas.
- ### 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS
- BARRERO, D., KASSEN, T., ALVAREZ, J., 1969.- *Actividad Ignea y Tectónica en la Cordillera Central, durante el Meso-Cenozoico*. Ingeominas, Bol. Geol. Bogotá. 17 (1-3): 145-173.
- BARRERO, D., VESGA, C., J., et al., 1972.- *Mapa Geológico del Cuadrángulo K-9 (Armero) y Mitad Sur del Cuadrángulo J-9 (La Dorada)*. Ingeominas, Of. Reg. Ibagué. (Documento interno).
- BUITRAGO, C. J., BUENAVENTURA, J., 1975.- *Ocurrencias Minerales en la Región Central del Departamento del Tolima*. Ingeominas, Inf. 1672. Bogotá. 837 p.
- GOLDSCHMIDT, V. M., 1958.- *Geochemistry*. Alex Muir. Oxford. 730 p.
- HAWKES, H. E., 1961.- *Principles of Geochemical Prospecting*. U. S. Geol. Surv. Bull. 1000-F. Washington. 355 p.
- HAWKES, H.E., WEBB, J. S., 1962.- *Geochemistry in Mineral Exploration*. Harper and Row. New York. 415 p.
- HERD, D. G., 1974.- *Glacial and Volcanic Geology of the Ruiz-Tolima Volcanic Complex. Cordillera Central, Colombia*. University of Washington. Doctor of Philosophy dissertation. Seattle 79. p.
- KASSEN, T., MOSQUERA, D., BUITRAGO, C., 1971.- *Prospección Geoquímica al Este de Salento, Departamento del Quindío*. Ingeominas, Inf. 1597, Bogotá. 39 p.
- KRAUSKOPF, K. B., 1967.- *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill. New York. 721 p.
- LEPELTIER, C., 1967.- *Tratamiento Estadístico de Datos Geoquímicos*. Naciones Unidas, Proyecto Minero, Apéndice III-1, Guatemala. 25 p.
- LEVINSON, A.A., 1974.- *Introduction to Exploration Geochemistry*. Applied Publishing Ltd. Calgary. 612 p.
- MARVIN, R. F., MEHNERT, H. H., MERRITT, 1973.- *U. S. Geology Survey, Isotope Geology Branch*. Analytical Report 356. Denver. 1 p.
- MASON, B., 1966.- *Principles of Geochemistry*. 3th edition, John Willey and Sons, New York. 329 p.
- MOSQUERA, D., BUITRAGO, C., 1971.- *Ocurrencias Minerales del Departamento del Quindío*. Ingeominas. Inf. 1599. Bogotá. 67 p.
- MOSQUERA, D., et al., 1973.- *Mapa Geológico del Area entre los Municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima*. Ingeominas. Of. Reg. Ibagué. (Documento interno).
- NELSON, H. W., 1956.- *Contribution to the Geology of the Central and Western Cordillera of Colombia in the Sector Between Ibagué and Cali*. Ser. Geol. Nat. Bogotá. 89 p.
- PARK, Ch. F. Jr., MACDIARMID, R. A., 1970.- *Ore Deposits*. 2th edition. W. H. Freeman and Co. San Francisco. 522 p.
- PEREZ, H., LOZANO, H., 1975.- *Prospección Geoquímica en los Municipios de Samaná y Pensilvania, Caldas*. Ingeominas. Inf. 1674. Bogotá. 48 p.
- STANTON, R. L., 1972.- *Ore Petrology*. McGraw-Hill. New York, 713 p.

**PROSPECCION GEOQUIMICA Y GENESIS DEL MERCURIO EN EL
FLANCO OCCIDENTAL DE LA CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA
MUNICIPIOS DE ARANZAZU, SALAMINA Y PACORA
DEPARTAMENTO DE CALDAS**

Informe 1793

Por:

HERNANDO LOZANO Q., HUMBERTO PEREZ S., CARLOS J. VESGA G.

**Instituto Nacional de Investigaciones
Geológico-Mineras**

1979

CONTENIDO

Página

RESUMEN	85
1. INTRODUCCION Y DESCRIPCION DEL AREA	85
1.1. LOCALIZACION	87
2. GEOLOGIA REGIONAL	87
2.1. OCURRENCIAS MINERALES	89
3. PROSPECCION GEOQUIMICA REGIONAL	90
3.1. MUESTREO	91
3.2. ANALISIS	92
3.3. TRATAMIENTO ESTADISTICO	92
3.4. GRAFICOS DE CONCENTRACION MEDIA	93
3.5. INTERPRETACION	96
3.6. ANOMALIAS	101
3.6.1. MERCURIO	101
3.6.2. BARIO	101
3.6.3. COBRE	108
3.6.4. PLATA	108
3.6.5. PLOMO	108
3.6.6. ZINC	108
3.7. ZONAS ANOMALAS	108
4. MINA DE MERCURIO DE LA NUEVA ESPERANZA	110
4.1. LOCALIZACION	110
5. GEOLOGIA	111
5.1. ROCAS SEDIMENTARIAS	111
5.1.1. METAGRAUVACAS NEGRAS	111
5.1.2. METAGRAUVACAS CALCAREAS	111
5.1.3. METAGRAUVACAS GRISES	111
5.2. ROCAS VOLCANICAS	111
5.2.1. DOLERITAS	111
5.2.2. ANDESITAS	111
5.3. MINERALIZACIONES	113
5.4. EXPLOTACION Y PRODUCCION	114
6. PROSPECCION GEOQUIMICA DE LA MINA	115
6.1. TRATAMIENTO ESTADISTICO	115
6.1.1. INTERPRETACION	119
7. GEOLOGIA Y PROSPECCION GEOQUIMICA DETALLADA DEL SEC- TOR COMPRENDIDO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ARANZAZU Y PACORA	126
7.1. GEOLOGIA	126
7.1.1. ROCAS METASEDIMENTARIAS	127
7.1.1.1. <i>Grauvacas Negras</i>	127
7.1.1.2. <i>Grauvacas Grises</i>	127
7.1.1.3. <i>Shales</i>	129
7.1.2. ROCAS IGNEAS	130
7.1.2.1. <i>Doleritas</i>	130
7.1.2.2. <i>Andesitas</i>	131
7.1.3. FOSILES (?)	132
7.1.4. SISTEMAS DE FRACTURAS	133

	Página
7.1.5. SISTEMAS DE FALLAS	134
7.2. PROSPECCION GEOQUIMICA DETALLADA	134
7.2.1. PROSPECCION GEOQUIMICA CON SEDIMENTOS ACTIVOS FINOS	136
7.2.2. GEOQUIMICA DE ROCAS	145
7.2.2.1. Corte No. 1	145
7.2.2.2. Corte No. 2	145
7.2.2.3. Corte No. 3	145
7.2.2.4. Corte No. 4	153
7.2.2.5. Zona 1	155
7.2.2.6. Zona 2	155
7.2.2.7. Zona 3 1	155
7.2.2.8. Zona 4	155
8. GENESIS DEL MERCURIO EN EL FLANCO OCCIDENTAL DE LA CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA	155
8.1. ASPECTOS GENERALES	155
8.2. FORMA DE PRESENTACION DEL MERCURIO EN LA MINA DE LA NUEVA ESPERANZA	158
8.3. DEPOSITACION Y GENESIS DEL MERCURIO	159
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	168

FIGURAS

1. Mapa índice mostrando la localización del área estudiada	87
2. Mapa geológico generalizado del sector Manizales - Salamina	88
3. Histogramas y curvas de distribución de frecuencias acumuladas para Hg y Ba. Sedimentos activos fracción fina. Análisis Espectrográfico para Ba y detector para Hg. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	94
4. Histogramas para Cu, Ag, Pb y Zn y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Cu. Análisis espectrográfico. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	95
5. Gráficos de concentración media de elementos, rocas ígneas y metasedimentarias. Análisis Espectrográfico. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	100
6. Gráficos de concentración media de elementos en rocas y en sedimentos activos, fracción fina. Análisis Espectrográfico. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	101
7. Contenidos de mercurio. Sedimentos activos, fracción fina detector para Hg, malla -80	102
8. Contenido de bario. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis Espectrográfico, malla -80	103

	Página
9. Contenido de cobre. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis Espectrográfico, malla -80	104
10. Contenido de plata. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis Espectrográfico, malla -80	105
11. Contenido de plomo. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis Espectrográfico, malla -80	106
12. Contenido de zinc. Sedimentos activos. Fracción fina. Análisis Espectrográfico, malla -80	107
13. Anomalías geoquímicas	109
14. Localización de la mina de mercurio La Nueva Esperanza	110
15. Mapa geológico de los alrededores de la mina de mercurio La Nueva Esperanza	112
16. Localización de las transversas del muestreo de suelos. Mina La Nueva Esperanza, Aranzazu, Caldas	116
17. Gráfico e histograma para la determinación de threshold y background. Mercurio. Análisis por absorción atómica. Suelos. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	117
18. Gráfico de la curva de intervalos de concentración vs. número de muestras de mercurio. Suelos. Detector de Hg. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu	118
19. Gráfico de concentración media de elementos en suelos. Análisis Espectrográfico de mercurio. Mina La Nueva Esperanza, Aranzazu, Caldas	121
20. Corte geológico y concentración de Hg en los diferentes tipos de rocas. Detector de Hg. Quebrada La Esperanza, costado sur. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipios de Aranzazu	121
21. Corte geológico y concentración de Hg en rocas, transversa No. 3. Detector de Hg. Quebrada La Esperanza, costa norte. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu	122
22. Corte geológico y concentración de Hg en rocas. Detector de Hg. Carretera El Roblal. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu	122
23. Corte geológico y concentración para Hg en rocas. Detector para Hg. Túneles 4 y 6. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu	123
24. Mapa geológico detallado	128

25. Fotografías de secciones delgadas de metasedimentos. Grauvacas negra. Muestras (HP 5550 - IGM 102512) (HP 5551 - IGM 102513) (HL - 4254A - IGM 100246) (CB 3219 - IGM 102483)	129
26. Fotografías de secciones delgadas de metasedimentos. Grauvacas grises. Muestras (HL 4181 - IGM 100228) (CB 3157 - IGM 102477) (HP 5355 - IGM 101704) (HP 5509 - IGM 101714)	130
27. Fotografías de secciones delgadas de metasedimentos. Shales. Muestras (CB 3138 - IGM 102471) (HL 4138 - IGM 100214). Filonitas: rocas calcáreas con abundantes espejos de falla (CB 3170 - IGM 102479)	131
28. Fotografías de secciones delgadas de rocas ígneas. Doleritas. Muestras (HL 4213 - IGM 100238) (HL 4155 - IGM 100227) (CB 3152 - IGM - 102475)	132
29. Fotografías de secciones delgadas de rocas ígneas. Andesitas. (HP 5398 - IGM 101707) (HL 5436 - IGM 100241) (HL 4209 - IGM 100237) (HP 5577 - IGM 102517)	133
30. Fotografías de secciones delgadas. Formas ovaladas que parecen fósiles en fragmentos de shales (HP 5551 - IGM 102513) y en jirones cloritizados embebidos en diabasas (HL 4213 - IGM 100238)	134
31. Mapa de fracturas	135
32. Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Mercurio. Análisis por detector. Finos seleccionados. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	137
33. Gráfico e histograma para la determinación de threshold y background. Antimonio. Análisis colorimétrico. Finos seleccionados. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	138
34. Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y Background. Arsénico. Análisis colorimétrico. Finos seleccionados. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	139
35. Contenido de mercurio. Sedimentos activos. Fracción fina. Detector para Hg. Malla -80	140
36. Contenido de antimonio. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis colorimétrico. Malla -80	141
37. Contenido de arsénico. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis colorimétrico. Malla -80	142
38. Anomalías de Hg, As y Sb. Sedimentos activos, fracción fina	143
39. Mapa geológico detallado con anomalías de mercurio	144

40. Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Mercurio, análisis por detector rocas. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	146
41. Gráficos de histograma para determinación de threshold y background. Arsénico. Análisis colorimétrico rocas. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	147
42. Gráficos e histograma para la determinación de threshold y background. Antimonio. Análisis colorimétrico rocas. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	148
43. Contenido de mercurio. Rocas. Detector para Hg. Malla -80	149
44. Contenido de arsénico. Rocas. Análisis colorimétrico, malla -80	150
45. Contenido de antimonio. Rocas. Análisis colorimétrico, malla -80	151
46. Ubicación de los cortes geológicos	152
47. Corte geológico y contenido de Hg, Sb, As en rocas. Cinturón de mercurio, municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	153
48. Corte geológico y contenido de Hg, Sb, As, en rocas. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	154
49. Zonas de interés para mercurio	156
50. Mapa generalizado que muestra los cinturones mercuríferos en el mundo . .	157
51. Esquemas geológico y concentración de mercurio en suelos. Mina La Nueva Esperanza. Aranzazu, Caldas	160
52. Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media. Finos seleccionados concentrados y roca. Análisis Espectrográfico. Malla 16. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	163
53. Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media. Finos seleccionados concentrados y roca. Análisis Espectrográfico. Malla 30. Cinturón de mercurio. Municipio de Aranzazu, Salamina y Pácora	164
54. Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media. Finos seleccionados concentrados. Malla 50. Cinturón de mercurio. Municipio de Aranzazu, Salamina y Pácora	165
55. Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media. Finos seleccionados concentrados y roca. Análisis Espectrográfico. Malla 80. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora	166

56. Estudio de orientación geoquímica. Gráficos de concentración media y promedio. Finos seleccionados y rocas. Mallas 80-50-30-16. Mercurio 168

TABLAS

1. Límite inferior de detección de los elementos que analiza el espectrógrafo de emisión, marca Jarrel Ash, modelo Wadsworth 92
2. Valores estadísticos de background y threshold. Sedimentos activos. Fracción fina. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora 93
3. Intervalos de valores y porcentajes de concentración de elementos indicadores. Sedimentos activos. Fracción fina. Análisis espectrográfico y detector para mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora 96
4. Contenido promedio, máximo y mediano de 34 elementos en sedimentos activos. Fracción fina y en rocas ígneas y metasedimentarias. Análisis espectrográfico. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora 97
5. Producción de mercurio en la mina de La Nueva Esperanza, Aranzazu (Información suministrada por Américo Marán) 114
6. Contenido promedio, máximo, mínimo y mediano de 21 elementos en suelos. Análisis espectrográfico. Area de la mina de La Nueva Esperanza, Aranzazu 120
7. Comparación de las concentraciones de Hg con Fe, Ca, Mg, Ti, Ba, Mn, V, Sr, Cu, Zr, Ni, Co, Cr, Sc, Ga, Y, Be, Mo, Pb, Ag, y La en suelos. Análisis detector para Hg, espectrográfico para los elementos restantes. Area de la mina de Hg de la Nueva Esperanza, Aranzazu 125
8. Estudio de orientación geoquímica con sedimentos activos finos, concentrados, rocas, en mallas 80, 50, 30, 16. Análisis de Hg, As, Sb. Cinturón mercurífero Aranzazu, Salamina 167

ANEXO

1. Estudio de orientación geoquímica 161

RESUMEN

El flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia, en el sector comprendido entre los municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora en el departamento de Caldas, se realizó un programa de prospección geoquímica y geología que se cumplió en tres etapas: a) Prospección regional en 450 km². b) Prospección detallada en 270 km². c) Prospección mina de La Nueva Esperanza. En esta investigación se colectaron un total de 776 muestras de sedimentos activos, 268 rocas y 183 de suelos los cuales fueron analizados por espectrografía y por detector para Hg y colorimetría para As y Sb; se elaboraron también estudios petrográficos en 94 muestras.

Se encontró un cinturón anómalo para Hg que tiene 1 km de ancho y 25 km de longitud con dirección norte-sur, en el cual queda incluida la mina de La Nueva Esperanza cuya mineralización consta esencialmente de mercurio activo. Esta anomalía está relacionada al contacto andesitas - metasedimentos que pertenecen a la formación Quebradagrande. El origen del mercurio nativo se debe posiblemente a vapores cargados con mercurio elemental y deficientes en H₂S que acompañaron emanaciones volcánicas submarinas las cuales se depositaron conjuntamente con los materiales clásticos y orgánicos que formaron el conjunto sedimentario - volcánico de la formación Quebradagrande. Posteriormente, el mercurio migró debido a las altas temperaturas que se presentaron durante la intrusión de cuerpos andesíticos, hasta localizarse finalmente en niveles calcáreos que favorecían su acumulación junto con venas de cuarzo, cinabrio, pirita, calcita y dolomita.

1. INTRODUCCION

Los primeros indicios sobre las mineralizaciones de mercurio, en el flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia, en el departamento de Caldas, fueron mencionados muy superficialmente por Lleras Codazzi, R. (1930). Datos más concretos sobre el descubrimiento de mineralizaciones

de mercurio nativo en La Esperanza, municipio de Aranzazu, fueron aportados por Sarmiento, R. (1949), Sarmiento, A. (1950) y Hubach, E. (1951). Harrington, J. y López, J. (1953) describen los rudimentarios métodos de laboreo en esta mina y suministran las primeras cifras sobre producción de mercurio. Morer, J. y Nicholls, E. (1958), además de describir el estado de explotación de la mina La Esperanza, proporcionan datos sobre nuevas manifestaciones de mercurio en el municipio de Aguadas. Wokittel, R. (1957; 1958) presenta ya un estudio más minucioso de la mina de La Esperanza, indicando métodos de explotación, reservas preliminares y posible génesis de la mineralización. López, J. (1971) sugiere que mejorando las técnicas de explotación de la mina de La Nueva Esperanza se puede alcanzar una producción alta y sostenida por varios años. Hall, R. (1972) recomienda estudios geológicos detallados de los sitios mineralizados y una investigación en base de suelos y sedimentos activos para detectar zonas anómalas en el posible cinturón mercurífero localizado entre las poblaciones de Aranzazu y Aguadas. Lozano, H. y McCarthy, H. (1974) demuestran la utilidad de análisis adecuados en muestras de suelos en la prospección geoquímica para mercurio en el área de la mina La Nueva Esperanza.

La producción de mercurio en Colombia en el presente siglo, salvo esporádicas explotaciones en la manifestación de El Cinabrio, también conocida como El Quindío o Bermellón localizada en el departamento del Tolima, se ha basado exclusivamente en la explotación del mercurio nativo de la mina de La Nueva Esperanza, descubierta en 1948 y situada al norte del municipio de Aranzazu en el departamento de Caldas. Esta mineralización está constituida principalmente por mercurio nativo en venas de cuarzo, calcita y pirita con algunas pequeñas impregnaciones de cinabrio. La mayoría de los autores que han estudiado esta mineralización están de acuerdo en atribuirle un origen volcánico, además, gran parte de ellos, han notado la irregular abundancia de mercurio nativo comparado con el cinabrio y presentan algunas discrepancias respecto al origen

del mercurio nativo. Wokittel, R. (1958) dice que el yacimiento de la Esperanza corresponde a una zona volcánica mineralizada con cinabrio que se extiende desde el Perú hasta California (U.S.A.) y que está relacionada a intrusiones y extrusiones neo-terciarias de andesitas y rocas afines. En esta zona, agrega el autor, el mineral más común en el cinabrio y el mercurio nativo es muy escaso, sin embargo reconoce que el yacimiento de La Nueva Esperanza presenta la particularidad de tener mercurio nativo como mineral predominante en ves de cinabrio, como generalmente ocurre en estos yacimientos.

Este fenómeno lo explica por la oxidación del cinabrio, cuyo contenido posiblemente aumenta a profundidad. Radelli, L. y Pagnacco, P. (1962) explican la abundancia de mercurio nativo de esta mineralización como debido a una movilización en donde por fenómenos tectónicos post-genéticos, los minerales de mercurio deben haber sido removidos de su sede original y haber invadido los esquistos en los cuales el sulfuro se redujo dando a una importante impregnación de mercurio nativo.

Dado que en la mina de La Nueva Esperanza, la relación mercurio nativo cinabrio ha permanecido aproximadamente invariable en el transcurso de su explotación y que esta mineralización es la única en producción en el país, la zona en estudio se presenta como la más promisoría e importante para una investigación detallada.

Los objetivos principales de este estudio están encaminados a determinar posibles zonas anómalas para mercurio en el sector comprendido entre los municipios de Aranzazu y Pácora que pueden tener posibilidades de ser explotadas en un futuro próximo y así aumentar la producción tan exigua que muestra el país en la actualidad. Por otra parte, se trata de establecer cuál es la génesis y los mecanismos que influyen en la formación un poco irregular del mercurio nativo y el escaso contenido de cinabrio. Por último, se trata de determinar cuáles muestras son

las más útiles y representativas en la prospección geoquímica de mercurio, para utilizarlas en zonas con condiciones geológicas semejantes. Para alcanzar estos propósitos se programó y realizó una investigación en base a tres fases principales:

1. Cartografía geológica y prospección geoquímica en un área de 450 km². De las muestras colectadas se escogieron 35 rocas y 165 de sedimentos activos, y se analizaron por espectrografía y por detector para mercurio.
2. Estudios geológicos y geoquímicos detallados de la mineralización de La Nueva Esperanza. Se colectaron 183 muestras de suelos, 28 muestras de finos seleccionados y 23 muestras de roca, las cuales se analizaron por detector para mercurio y por espectrografía.
3. Estudios geológicos y geoquímicos detallados en un área de 270 km² donde las investigaciones regionales muestran las mejores perspectivas. Se colectaron 613 muestras de sedimentos activos y 210 muestras de roca. Se analizaron para Hg, As y Sb y además se realizaron estudios petrográficos en 94 muestras de roca.

También se realizó un estudio piloto en muestras de roca y sedimentos activos -fracción fina y pesada- los cuales se analizaron para Hg, As y Sb en fracciones comprendidas entre los tamaños de malla 16-30, 30-50, 50-80 y menor de 80, con el fin de comparar estos resultados con la fracción standard (-80) y determinar cuál fracción en el área es la más conveniente para futuras exploraciones de mercurio.

En la recolección de muestras colaboraron los siguientes geólogos del INGEOMINAS, Regional Ibagué: Pérez, H., Lozano, H., Buitrago, C., Hernández, F., Mosquera, D., Marín, P. y Pulido, O.

Esta investigación para reconocer las posibilidades de mercurio en un sector del

flanco occidental de la Cordillera Central, se programó en marzo de 1974 por iniciativa del Dr. Jaime Cruz B., Subdirector de Asuntos Regionales del INGEOMINAS con la asesoría del Sr. McCarthy, H., y la posterior colaboración de Learned, R.

1.1. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA

El área estudiada se encuentra localizada al noreste del departamento de Caldas; comprende casi la totalidad de los municipios de Aranzazu y Salamina y parte del municipio de Pácora. Tiene una extensión de 450 km² y está ubicada en las planchas 187-ID, 187-III-B, 187-III-D y 206-I-B del IGAC. Geográficamente está limitada por las coordenadas 5°30'3" y 5°16'18" de latitud norte y 75°32'26" y 75°25'8" de longitud oeste (Fig. 1).

La región está ubicada en el flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia, su relieve es abrupto con pendientes fuertes y pronunciadas y los cursos de aguas superficiales corresponden a la vertiente hidrográfica oriental del río Cauca. Las altitudes varían entre 800 y 2500 m sobre el nivel del mar. El clima es subtropical húmedo con temperaturas que varían entre 13 y 25°C. La precipitación pluvial es mayor de 2000 mm por año y la vegetación es de bosques naturales, cultivos y pastos para ganado.

La zona tiene alta densidad de población y abundantes vías de comunicación.

2. GEOLOGIA REGIONAL

Los rasgos geológicos de este sector son complicados pero interesantes, debido a la variedad de ambientes que proporcionan datos importantes para investigar los procesos geológicos que dieron lugar a la formación de las cordilleras Central y Occidental. En este aparte no vamos a profundizar en las descripciones de las diferentes unidades roca que afloran en el área, puesto que fueron estudiadas por González, H., 1976, y Mosquera,

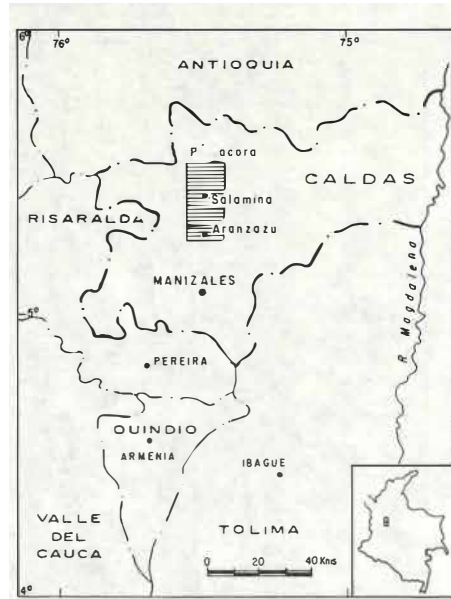


FIGURA 1: Mapa índice mostrando la localización del área estudiada.

ra, D., 1978, sino que daremos una visión de la litología y de los diferentes ambientes de formación.

Para facilitar este propósito vamos a dividir el área según sus características geológicas y tectónicas en tres partes: a) Zona Occidental, b) Zona de Falla de Romeral y c) Zona Oriental (Fig.2).

a) Zona Occidental:

Está localizada al oeste del trazo de Falla de Romeral y se caracteriza por contener una secuencia de rocas ígneas de composición básica y ultrabásica que intruyen rocas metamórficas representadas por esquistos cuarzo-micáceos-grafitosos del Grupo Arquía.

Las rocas básicas están constituidas por cuerpos alargados de composición que varía entre dioritas y gabros. Además, afloran algunos stocks monzodioríticos.

Las rocas ultrabásicas están compuestas por peridotitas que han sufrido procesos de serpentinización y que en algunos sitios toman aspecto esquistoso debido a cizallamiento. El cuerpo de mayor extensión está

localizado en los alrededores de Filadelfia. Aparentemente este conjunto de rocas básicas y ultrabásicas son de edad cretácica e hicieron parte de una plataforma marina emergida por procesos tectónicos. Se encuentran también en este sector, suprayaciendo las rocas mencionadas, algunos rezaos de sedimentos terciarios compuestos por conglomerados gruesos formados por cuarzo y chert, junto con algunos estratos de areniscas y arcillolitas. Se presentan además, cuerpos hipoabisales de pórfidos dacíticos.

b) Zona de Falla de Romeral:

Se da este nombre a la franja más central del área limitada por los trazos de Falla de Romeral al oeste y de Manizales al este. Esta última falla se encuentra en este sector cubierta por flujos de lodo recientes.

Las características más importante de esta zona son el intenso fracturamiento y el predominio de rocas pertenecientes a la Formación Quebradagrande. Aunque en general, en toda el área se observa efectos dinámicos, en la zona de Falla de Romeral se hacen más fuertes, produciendo gran cizallamiento y fallamiento con dirección preferencial nort-sur, estos factores dificultan la cartografía y la clasificación de las rocas.

En la formación Quebradagrande se pueden diferenciar los miembros sedimentarios y volcánico reconocidos en otras localidades. Los sedimentos están formados por estratos de grauvacas negras y grises de grano medio a fino, limolitas, lentes de calizas y cherts. El miembro volcánico está representado por intercalaciones de derrames lávicos submarinos que tienen composición básica a intermedia, donde son más frecuentes las diabasas.

Las rocas de la formación Quebradagrande son materiales inmaduros y representan la típica depositación en ambientes de fosas profundas. Esta unidad junto con las rocas básicas y ultrabásicas que afloran al oeste de la Falla de Romeral conforman el llamado Complejo Ofiolítico del Río Cauca.

c) Zona Oriental:

Está localizada hacia el este de la formación Quebradagrande y del trazo de la Falla de Manizales. En este sector afloran rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas intrusivas y extrusivas con edades que oscilan entre el Paleozoico y el Terciario. Hacia el sur se encuentra un conjunto de rocas con metamorfismo dinámico-térmico denominado Grupo Cajamarca y compuestos por esquistos negros, cuarzo-sericiticos-graftitosos, esquistos verdes y cuarcitas. Al Noreste de Manizales afloran el Intrusivo Néisico de composición cuarzodiorítica con biotita y moscovita. Al norte se encuentran arcillolitas carbonáceas con fósiles de plantas pertenecientes a la formación Valle Alto y la cuarzodiorita del Batolito de Sonsón de edad jurásica. Aparentemente en el Cretáceo se depositaron en forma discordante los conglomerados y lutitas de la formación Abejorral y hacia el sur intruyendo el Grupo Cajamarca se encuentra el stock de Manizales de composición cuarzodiorítica. Finalmente, en el Terciario se presentan flujos de lava andesítica y rocas piroclásticas que cubren gran parte del área. En consecuencia la zona oriental es completamente diferente a las otras zonas, ya que las rocas que afloran en este sector posiblemente se formaron en un ambiente de plataforma continental.

En resumen, el área estudiada está situada en una zona de contacto o de choque entre dos placas, una oceánica al occidente y otra continental al oriente que por eventos tectónicos dieron origen a la Cordillera Central y como consecuencia se formó una fosa profunda o "trench" en la parte media, donde se depositaron derrames lávicos junto con sedimentos que dieron origen a grauvacas, calizas y cherts.

2.1. OCURRENCIAS MINERALES

Se describen someramente las mineralizaciones conocidas en el área, las cuales fueron estudiadas durante la elaboración del Mapa de Ocurrencias Minerales en el departamento de Caldas (López, J., 1971) (Fig. 2).

Las mineralizaciones metálicas son de origen hidrotermal de tipo meso a epitermal principalmente.

Las mineralizaciones no metálicas corresponden a carbón (Prospecto El Brillante) y talco (Prospecto Doctrinas).

Las mineralizaciones metálicas que se encuentran en el área se pueden agrupar en la siguiente forma:

1. Mercurio nativo y cinabrio en una franja longitudinal que se presenta entre las localidades de Filadelfia y Pácora, se mencionan las mineralizaciones de La Nueva Esperanza, Balmoral, El Porvenir y El Mico.
2. Cobre y molibdeno en la manifestación calentaderos ubicada en el municipio de La Merced.
3. Plata, en la manifestación El Corozo localizada en el municipio de Salamina.

De las ocurrencias metálicas mencionadas, debido a su importancia, se describen únicamente las siguientes:

1. Mina de mercurio La Nueva Esperanza: ubicada en el municipio de Aranzazu al norte - noroeste del caserío de Alegrías. Se llega a las explotaciones por un carreteable desde Alegrías al sitio Manzanillo y de allí se continúa a pie por media hora aproximadamente.

La mineralización es de mercurio nativo y cinabrio en ganga de piritita, cuarzo y calcita y ocurre en los metasedimentos del grupo Quebradagrande. El depósito fue formado bajo condiciones epitermales a teletermales, rellena una microbrecha con dirección noreste y concordante con la foliación.

La génesis del yacimiento es bastante compleja y en la actualidad existen dos teorías acerca de su origen:

- a) Según Américo Marán (1971) el cinabrio presente en la mina La Nueva Esperanza es secundario y se formó a partir del mercurio nativo y la alteración de las pirititas preexistentes por parte de las soluciones que depositaron la calcita y el mercurio nativo.
 - b) Según Harrington, J. (1953), Wokittel (1958), Morer, J. (1958), Radelli, L. (1962) y Rivera, A. (1969) el mercurio se formó a partir del cinabrio y se espera que este último aumente en profundidad, (LOPEZ, J., 1971).
2. Prospecto Doctrinas (Talco): ubicado al suroeste de la localidad de La Merced sobre el carreteable que conduce al caserío de La Felisa. El talco se originó por alteración de las serpentinas que son frecuentes en el área.

Los talcos de esquistos y serpentinas, aunque son bastantes impuros por los altos contenidos de hierro, actualmente tienen aceptación principalmente en las fábricas de pinturas, caucho y como material inerte para fungicidas.

3. PROSPECCION GEOQUIMICA REGIONAL

Actualmente los sedimentos activos son el tipo de muestra más ampliamente utilizado en exploración geoquímica regional. El propósito de la prospección en base de estos materiales, es el de descubrir rápidamente y a bajo costo posibles áreas anómalas que puedan reflejar yacimientos minerales.

Una muestra de sedimento activo correctamente tomada, debe representar la composición química natural del sector que drena, y el tamaño del área, efectivamente cubierto por esta muestra, está restringido a la longitud del cauce. Sin embargo, existen muchos factores que alteran la composición de un sedimento, pero en condiciones normales, una mineralización se debe reflejar si el muestreo se ha realizado a una escala adecuada.

El conocimiento geológico del área y el comportamiento del elemento prospectado, junto con las anteriores observaciones generales, son factores que se deben tener en cuenta para determinar más acertadamente el método de análisis y así contar con bases suficientes para una interpretación más correcta.

3.1. MUESTREO

Además de los factores ya señalados, en la escogencia de los sedimentos activos como el tipo de muestra más representativo para prospectar mercurio en esta zona, se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones que favorecen su utilización.:

1. El drenaje es un enrejado subparelelo de densidad media con cauces pequeños, profundos y uniformemente distribuidos en toda el área.
2. En este sector las rocas están fuertemente fracturadas y cizalladas, lo cual repercute en una abundante carga activa en las quebradas, producto de una intensa erosión mecánica.

La toma de las muestras en esta etapa del estudio, estuvo condicionada a las labores de cartografía geológica regional de las planchas 187-I-D, 187-III-B y 187-III-D del IGAC. Por esta razón no se estableció previamente un distanciamiento fijo entre los diferentes sitios de muestreo, pero se escogió la escala inferior en el reconocimiento geoquímico regional de 1 muestra por cada 2,5 a 5 km² y así obtener un cubrimiento razonablemente completo de área (BRADSHAW, P., et al., 1972).

La fracción fina de los sedimentos activos se escogió en lugar de la fracción pesada debido a las siguientes ventajas:

1. Facilidad, rapidez y homogeneidad del muestreo.
2. Teóricamente los minerales de mercurio, debido a su densidad, tienen tendencia a acumularse preferencialmente en la frac-

ción pesada de los sedimentos activos. Pero una muestra de estos materiales, para que sea representativa, es necesario tomarla de la parte central y más profunda del cauce, lo que conllevaría mucho tiempo.

Durante la recolección de las muestras se tuvieron en cuenta las siguientes normas:

1. Las muestras se tomaron de la parte más superior y central de los depósitos de sedimentos activos presentes en las quebradas y en lo posible al mismo lado del cauce.
2. Se evitó muestrear cauces con agua turbia debido a la gran cantidad de material en suspensión transportados por las corrientes.
3. No se tomaron muestra en sitios con derrubios de pendiente o coluviones.
4. Se muestrearon preferencialmente cauces con longitudes menores de 8 km.
5. En lo posible, se tomó un tamaño de material uniforme procurando que éste estuviera por debajo del nivel del agua.
6. Se evitó coleccionar muestras inmediatamente aguas abajo de caminos y carreteras.

En bolsas de polietileno se empacaron aproximadamente 200 grm. de material de tamaño de malla No. 16. Luego del secado, que tuvo una duración de 8 días a temperatura ambiente, se analizó en el laboratorio la fracción -80 de estas muestras.

Para prospección regional se coleccionaron en total 163 muestras de sedimentos activos en un área de 450 km², o sea una muestra por cada 2.8 km². Además, se tomaron 35 muestras de roca. Las labores de campo se realizaron durante el mes de marzo de 1974 y en ellas colaboraron los geólogos Marín, P., Mosquera, D. y Pérez, H.

3.2. ANALISIS

Una consideración importante en un programa de reconocimiento geoquímico es el de obtener la mayor información posible de un área a partir de relativamente pocas muestras. Por esta razón es esencial elaborar análisis tanto del elemento buscado como de otros elementos, con el fin de lograr un mejor entendimiento de la mineralización y determinar probables relaciones genéticas entre los diferentes elementos.

Las muestras de sedimentos activos fueron analizadas en el detector para mercurio según técnica de Vaughn y McCarthy, H. Jr., 1964. Los sedimentos activos y las rocas se analizaron también por el método espectrográfico semicuantitativo para 33 elementos. Estos análisis fueron elaborados en la Sección de Geoquímica de la Subdirección de Investigaciones Químicas del INGEOMINAS por los químicos García, V.J., Roa, F. y Díaz, A. Esta sección dispone de un espectrógrafo de emisión marca Jarrel Ash, modelo wadsworth de 1.5 m de largo, dispersión lineal de 10.8 agstroms por mm y rata de dispersión de 15.000 ranuras por pulgada.

Los límites inferiores de detección del espectrógrafo para diferentes elementos aparecen en la Tabla 1.

3.3. TRATAMIENTO ESTADISTICO

El objetivo de la exploración geoquímica es el de encontrar zonas anómalas que puedan conducir a la ubicación de yacimientos minerales. Para delimitar estas zonas es necesario primero establecer por medios estadísticos los valores de dos parámetros: Background y Threshold.

Aunque la terminología estadística utilizada en prospección, es conocida ampliamente, es conveniente precisar algunos términos usados en esta investigación:

Frecuencia: es el número de veces que un individuo se repite dentro de una clase determinada.

Elemento	Límite de detección (ppm)	Elemento	Límite de detección (ppm)
Fe	500	La	20
Mg	200	Mo	5
Ca	500	Ni	5
Ti	20	Nb	10
Mn	10	Pb	10
Ag	0,5	Pd	5
Au	10	Pt	30
As	200	Sb	100
B	10	Sc	5
Ba	20	Sn	10
Be	1	Sr	100
Bi	10	V	10
Cd	20	W	50
Co	5	Y	10
Cr	10	Zr	10
Cu	5	Zn	200
Ga	10		

TABLA 1: Límite inferior de detección de los elementos que analiza el espectrógrafo de emisión, Marca Jarrel Ash, Modelo Wadsworth.

—o—

Clases: Es la ordenación o agrupación de los valores en ppm de un elemento determinado, según la amplitud dada por el método de procesamiento de muestras utilizado (KASSEM, T., 1970).

Promedio: El promedio de un conjunto de datos es la sumatoria de los productos resultantes del valor de las clases por sus respectivas frecuencias, dividido por el número total de individuos.

Mediana: La mediana de un conjunto de datos arreglados en orden de magnitud es el valor central o la media aritmética de dos valores centrales (SPIEGEL, R., 1961).

Anomalía: Se define como una desviación de la uniformidad. Una anomalía geoquímica, más específicamente, es una desviación de los parámetros geoquímico que son normales en un área determinada. Para propósitos prácticos, las anomalías geoquímicas significativas, se caracterizan por

tener valores altamente anormales (contenido alto o bajo) en uno o varios elementos indicadores (HAWKES, H. y WEBB, J., 1962).

Background: Es el rango de valores representativo de la concentración media o nominal de un elemento dado en un determinado material. Se calcula como el valor correspondiente a la mediana en una curva de distribución de frecuencias acumulativas. El término background se conoce igualmente como valor normal (Vn).

Threshold: Es el valor límite por encima del cual un conjunto de datos se consideran anómalos. Para una sola población el threshold se considera como el valor medio más dos veces la desviación standard, o más exactamente la cantidad que exceda el 2.5% más alto de la curva de distribución de frecuencias acumuladas (HAWKES, H. y WEBB, J., 1962). Cuando se encuentran dos o más poblaciones, este valor se toma de la curva como el correspondiente al punto de quiebre inmediatamente superior al background, si la distribución es positiva. El término threshold se conoce también como valor umbral (Vu).

Con el fin de establecer posibles relaciones en las mineralizaciones, se calcularon los valores de background y threshold para Hg y los correspondientes a Ag, Pb, Ba, Zn y Cu (Tab. 2). Los valores para Hg, Cu y Ba, se calcularon utilizando las normas establecidas por Lepeltier, C. (1967) y sus respectivos histogramas y curvas de distribución de frecuencia acumulativa se encuentran en las figuras 3 y 4. Los valores de background y threshold para Pb, se calcularon únicamente en base al histograma debido a la escasez de clases (Fig. 4) Para Ag y Zn, se tomó como threshold el límite inferior de detección del espectrógrafo (Fig. 4). Los intervalos de valores y sus respectivos porcentajes de concentración de los elementos indicadores se encuentran referenciados en la Tabla 3.

Los valores máximos, mínimos, promedios y medianos de todos los elementos analizados por espectrografía en fracción en

Elemento	Tipo de análisis	Background (ppm)	Threshold (ppm)
Hg	(D.M.)	0,08	0,38
Ag	(E)	N	L 0,5 (L.D.)
Pb	(E)	10 (L.D.)	20
Ba	(E)	300	1000
Zn	(E)	N	L 200 (L.D.)
Cu	(E)	30	70

TABLA 2: Valores estadísticos de background y threshold. Sedimentos activos - fracción fina. Geoquímica regional. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

NOTA:

- LD = Límite de detección.
- N = Elemento no detectado en el límite inferior de detección.
- L = Valor menor que el indicado a continuación de la L. Tipo de Análisis.
- DM = Detector para mercurio.
- E = Espectrográfico.

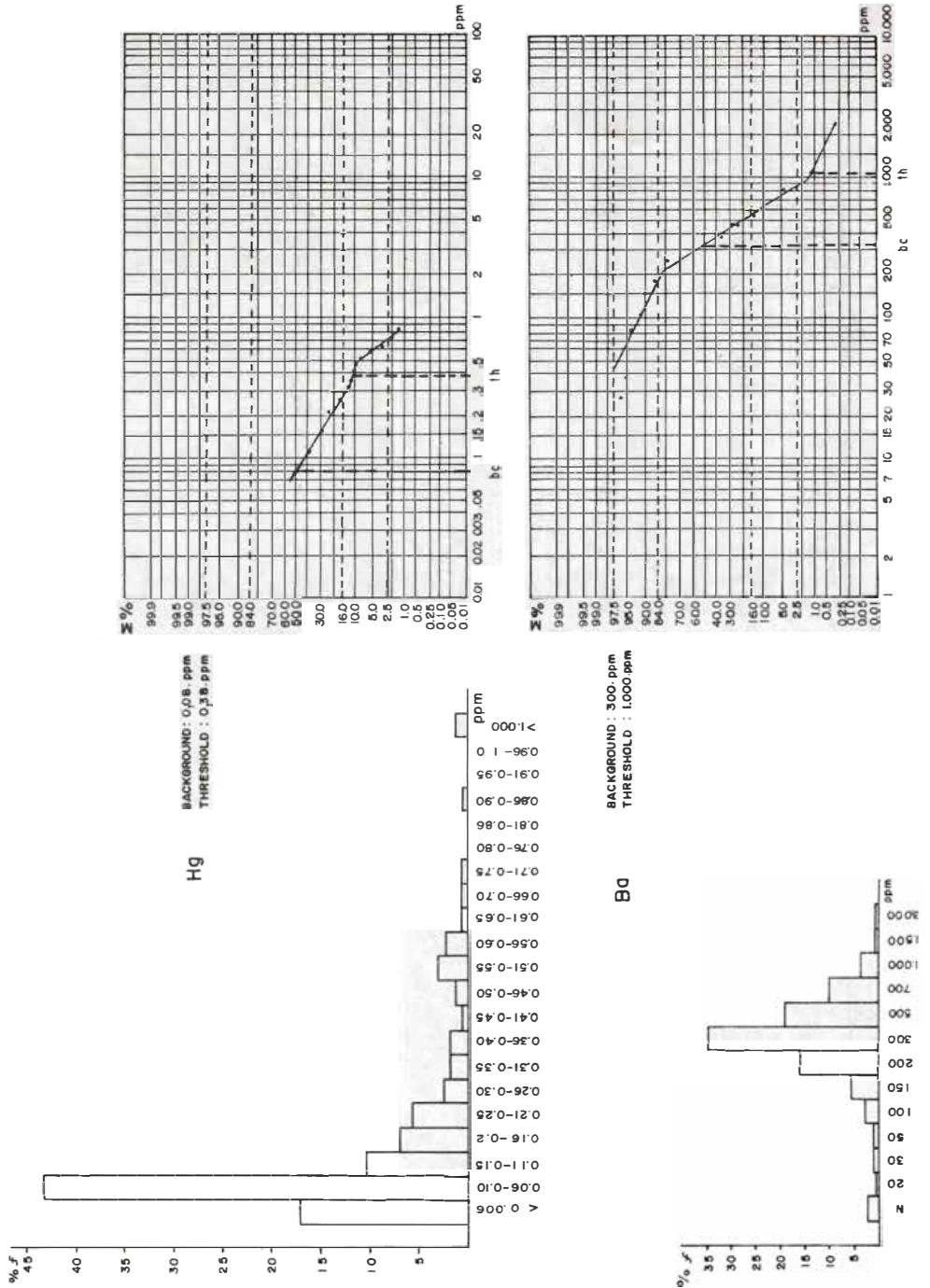
—o—

la fracción fina de los sedimentos activos y en rocas figuran en la Tabla 4.

3.4. GRAFICOS DE CONCENTRACION MEDIA

Antes de interpretar la distribución de las anomalías de los elementos que pueden estar relacionados a las mineralizaciones de mercurio, analizaremos brevemente la contribución de las rocas a los sedimentos activos y como se comportan en general los elementos dentro de estos materiales.

Como ya se ha mencionado, en el área afloran metasedimentos, principalmente grauvacas algunas veces calcáreas, intruidas por rocas ígneas compuestas por doleritas, andesitas y variedades afines. El porcentaje de roca aflorante para los metasedimentos es 55% y para las rocas ígneas es de 45%. La Figura 5 muestra el contenido medio de los elementos para estos tipos de rocas. En esta figura se observa claramente que el contenido medio de Fe, Ca, Mg, Mn y Co es sensiblemente menor en los metasedimentos en comparación con las rocas ígneas, únicamente el contenido de Cr es ligeramente mayor en los metasedimentos, los restantes elementos presentan concentraciones relativamente iguales en las dos rocas.



Elemento		1a. Columna	2a. Columna	3a. Columna
Hg*	ppm	N - 0.08	0,09 - 0.38	0.38
	%	44.78	44.17	11.05
Ag	ppm	N	L 0.5	0.50
	%	83.44	4.90	11.66
Pb	ppm	N - L 10	10 - 20	20
	%	66.26	32.52	1.22
Ba	ppm	N - 300	500 - 1000	1000
	%	65.64	33.13	1.23
Zn	ppm	N	L 200	L 200
	%	90.18	4.29	5.53
Cu	ppm	L 10 - 30	50 - 70	70
	%	72.39	25.15	2.46

TABLA 3: Intervalos de valores y porcentajes de concentración de elementos indicadores. Sedimentos Activos - fracción fina- análisis espectrográfico y detector para mercurio. Geoquímica regional. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

NOTA :

- N = Elemento no detectado en el límite inferior de detección
- L = Valor menor que el indicado a continuación de la L
- = Mayor que
- * = Análisis por detector

La primera columna contiene intervalos de valores que varían desde N hasta el valor del background. La segunda columna presenta intervalos de valores mayores al background e iguales al valor del threshold. La tercera columna tiene valores mayores al threshold.

—o—

Las rocas aflorantes de un área, debido a los factores de meteorización y erosión, son los principales aportantes a los sedimentos activos, y su composición química debe estar reflejada en estos materiales. En la Figura 6 se comparan las concentraciones medias de los sedimentos activos con las correspondientes a las rocas, calculadas estas últimas, en base a sus respectivas áreas aflorantes. En esta figura se aprecia cómo el contenido de los diferentes elementos en los sedimentos activos es un reflejo bastante fiel de la composición de las rocas, aunque existen ligeras diferencias que pueden obedecer al diferente comportamiento químico de estos elementos en las rocas y en los sedimentos

activos. Por ejemplo, los elementos más solubles como son Ca, Mg y Cu, muestran valores comparativamente más bajos en los sedimentos activos, pero elementos más estables, ya sean como óxidos o haciendo parte de minerales independientes, presentan concentraciones mayores en los sedimentos activos, este es el caso de Fe, Ba, Mn, Zr, Ni, Co y Cr.

3.5. INTERPRETACION

Los depósitos de mercurio en general se clasifican como mineralizaciones de tipo epitermal, relacionadas a cuerpos ígneos po-

TIPO DE MUESTRA				
Elemento	Valores	Rocas		
		Sedimentos Activos- Fracción Fina NM= 163 ppm	Igneas NM= 19 ppm	Metasedimentarias NM= 16 ppm
Fe	Pr.	22.454	25.527	15.312,5
	Máx.	70.000	50.000	30.000
	Mín.	10.000	10.000	1.500
	Md.	20.000	20.000	15.000
Ca	Pr.	4.899	14.489	14.625
	Máx.	15.000	50.000	200.000
	Mín.	1.500	300	200
	Md.	5.000	15.000	1.000
Mg	Pr.	7.494	24.184	9.246,9
	Máx.	70.000	100.000	50.000
	Mín.	1.500	1.500	150
	Md.	5.000	15.000	7.000
Ti	Pr.	4.251	3.368	2.200
	Máx.	10.000	7.000	5.000
	Mín.	500	2.000	500
	Md.	3.000	3.000	2.000
Ba	Pr.	383,3	287,9	355,6
	Máx.	3.000	500	1.000
	Mín.	N	N	20
	Md.	300	200	200
Mn	Pr.	746	792,1	355,1
	Máx.	1.000	3.000	2.000
	Mín.	200	150	L 10
	Md.	500	700	150
V	Pr.	177,1	177,9	272,5
	Máx.	500	300	700
	Mín.	30	30	70
	Md.	200	200	200
Sr	Pr.	178,5	186,8	168,1
	Máx.	700	700	1.000
	Mín.	N	N	N
	Md.	150	150	150
Cu	Pr.	33,1	84,7	49,4
	Máx.	150	150	70
	Mín.	L 10	20	20
	Md.	30	50	70
Zr	Pr.	155,9	135,3	195,7
	Máx.	700	700	700
	Mín.	N	70	10
	Md.	100	100	150
Ni	Pr.	63,9	39,7	27,9
	Máx.	1.000	150	100
	Mín.	L 5	5	L 5
	Md.	30	20	30
Co	Pr.	20,4	22,6	6
	Máx.	70	50	20
	Mín.	5	3	N
	Md.	20	20	L 5

Tabla 4.

Continúa

Continuación Tabla 4.

Elemento	Valores	TIPO DE MUESTRA		
		Sedimentos Activos- Fracción Fina NM= 163 ppm	Ígneas NM= 19 ppm	Rocas Metasedimentarias NM= 16 ppm
Cr.	Pr.	170,1	85,4	102,5
	Máx.	2.000	300	500
	Mín.	20	N	10
	Md.	100	30	70
Sc.	Pr.	18,4	22,1	12,8
	Máx.	30	50	30
	Mín.	L 5	5	N
	Md.	20	20	10
Ga	Pr.	7,5	9,2	7,9
	Máx.	15	15	15
	Mín.	N	N	N
	Md.	L 10	10	10
Y	Pr.	16,3	14,7	25,9
	Máx.	50	20	70
	Mín.	N	N	N
	Md.	15	15	20
Be	Pr.	0,9	0,6	0,6
	Máx.	2	1	1,5
	Mín.	N	N	N
	Md.	L 1	L 1	L 1
Mo	Pr.	3,6	2,7	12,9
	Máx.	20	7	70
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	L 5
Pb	Pr.	8,6	19,3	34,3
	Máx.	70	70	100
	Mín.	N	L 10	N
	Md.	L 10	20	20
Ag	Pr.	0,2	0,8	1,5
	Máx.	1,5	7	10
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	L 0,5
La	Pr.	13,6	10,5	17,9
	Máx.	150	20	100
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N
As	Pr.	103,7	N	N
	Máx.	700	N	N
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N
Au	Pr.	N	N	N
	Máx.	N	N	N
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N

Continúa

Continuación Tabla 4.

Elemento	Valores	TIPO DE MUESTRA		
		Sedimentos Activos- Fracción Fina NM= 163 ppm	Igneas NM= 19 ppm	Rocas Metasedimentarias NM = 16 ppm
B	Pr.	7,2	N	14,7
	Máx.	50	N	50
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	10
Bi	Pr.	5,1	N	N
	Máx.	15	N	N
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N
Cd	Pr.	10,3	N	11,2
	Máx.	20	N	30
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N
Sb	Pr.	N	N	N
	Máx.	N	N	N
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N
Sn	Pr.	N	N	N
	Máx.	N	N	N
	Mín.	N	N	N
W	Pr.	N	N	N
	Máx.	N	N	N
	Mín.	N	N	N
Zn	Pr.	123,6	N	137,5
	Máx.	1.500	N	500
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N
Nb	Pr.	N	N	N
	Máx.	N	N	N
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N
Pd	Pr.	N	N	N
	Máx.	N	N	N
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N
Pt	Pr.	N	N	N
	Máx.	N	N	N
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N
Wo	Pr.	N	N	N
	Máx.	N	N	N
	Mín.	N	N	N
	Md.	N	N	N

TABLA 4. Contenido promedio, máximo, mínimo y mediano de 34 elementos en sedimentos activos - fracción fina y en rocas ígneas y sedimentarias. Análisis espectral. Geoquímico Regional. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

NOTA:

NM

Número de muestras.

N

Elemento no detectado en el límite inferior de detección.

L

Valor menor que el indicado a continuación de la L.

Valores:

Pr. = promedio, Máx. = máximo, Mín. = mínimo, Md = mediano.

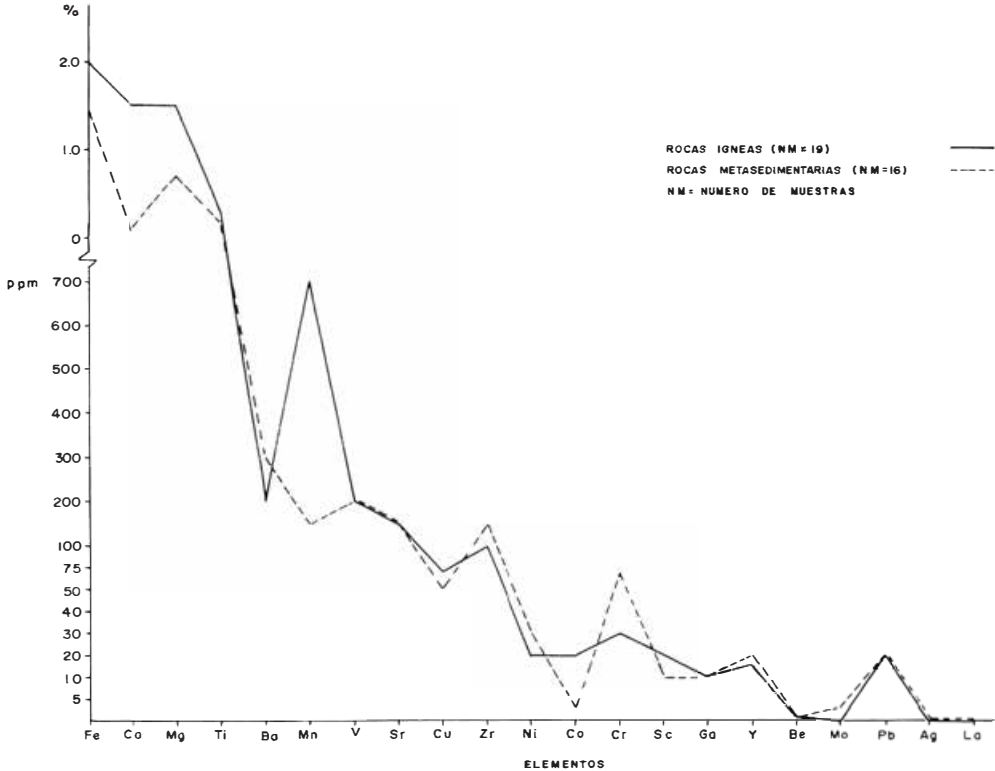


FIGURA 5: Gráficos de concentración media de elementos. Rocas ígneas y metasedimentarias. Análisis espectrográfico. Geoquímica regional. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

co profundos y depositados a bajas temperaturas. Normalmente, estos depósitos se forman a no más de 1000 m de profundidad en temperaturas que varían de 50 a 200°C. (PARK, C. y MACDIARMID, R. 1964). Los elementos comúnmente asociados con mercurio son As y Sb, aunque pueden estar presentes también Ag, Ba, Pb, Zn y Cu.

Los límites de detección de los análisis espectrográficos, utilizados en esta etapa del estudio son bastante altos para As y Sb (Tab. 1), de modo que por este método de análisis no es posible conocer sus concentraciones, y en este reconocimiento regional no se consideran esenciales; en consecuencia estudiaremos las posibles relaciones de mercurio con los restantes elementos mencionados.

El contenido metálico de los sedimentos activos se deriva de materiales clásticos erodados de la cuenca y en segunda instancia, introducido en forma de soluciones por aguas subterráneas que continua o intermitente descargan en la cuenca. Dentro del área en estudio, las modificaciones que pueden existir en el contenido metálico de los sedimentos activos causados por aguas subterráneas se consideran insignificantes, debido al intenso fracturamiento de la roca y a la topografía abrupta. Estos factores originan drenajes de poca longitud donde el agua subterránea se infiltra y descarga dentro del mismo sistema con un mínimo de transporte. De modo que las anomalías en los sedimentos activos de esta área se producen por efectos esencialmente mecánicos y se deben a clastos que posiblemente fueron derivados

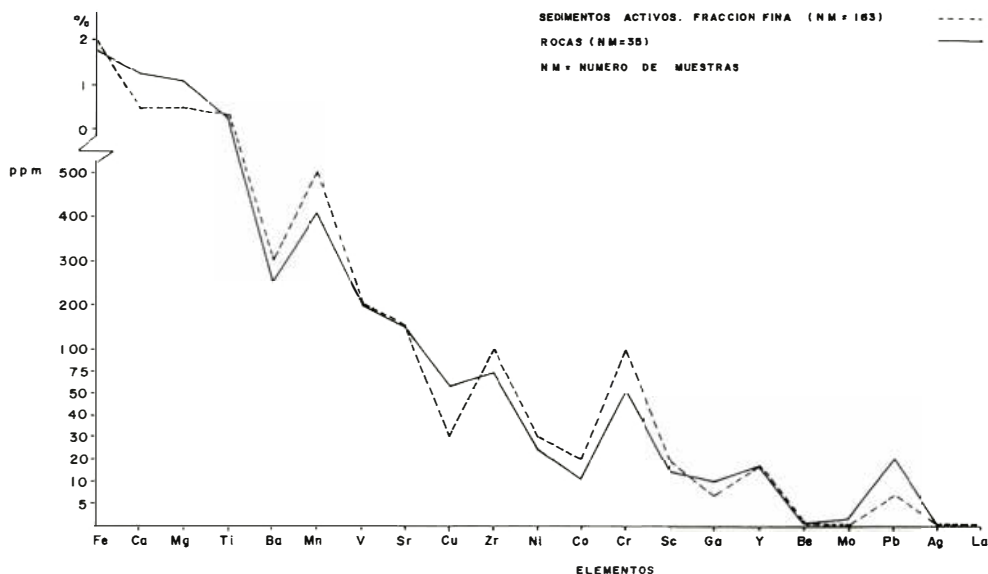


FIGURA 6: Gráficos de concentración media de elementos en rocas y en sedimentos activos. Fracción fina. Análisis espectrográfico. Geoquímica regional. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

—o

de zonas mineralizadas dentro de una determinada cuenca.

La interpretación de los análisis de los sedimentos activos -fracción fina- se efectuó en la siguiente forma:

1. Se elaboraron mapas de drenaje a escala 1:50.000 y se colocaron los sitios de muestreo. Estos mapas fueron reducidos posteriormente a escala 1:125.000.
2. En los sitios de muestreo se colocaron símbolos que representan los intervalos de concentración en ppm para los diferentes elementos a interpretar.
3. Para cada elemento se elaboró un mapa (Fgs. 7, 8, 9, 10, 11 y 12).

3.6. ANOMALIAS

3.6.1. MERCURIO

Figura 7. La concentración de mercurio en sedimentos varía desde N (valor infe-

rior al límite de detección 0.06 ppm) hasta un máximo de 1.26 ppm. Se tomó como background 0.08 ppm y como threshold 0.38 ppm (Fig. 3). El 11.05 % de las muestras corresponden a valores anómalos superiores a 0.33 ppm. Estas muestras anómalas a excepción de tres están distribuidas a lo largo de una franja o cinturón con dirección norte - sur y de aproximadamente 1.5 km de ancho. En el extremo sur de este cinturón se encuentra ubicada la mina de La Nueva Esperanza, única explotación de mercurio en el área.

3.6.2. BARIO

Figura 8. La concentración de Ba varía entre N (límite inferior de detección 20 ppm) y 3000 ppm. Se tomó como background 300 ppm y como threshold 1000 ppm. Solamente el 4.9% de las muestras presentan valores anómalos. En la curva de frecuencias acumulativas para Ba (Fig. 3) se observan tres poblaciones, dos de ellas relacionadas aparentemente al contenido normal de Ba en dos tipos de roca diferentes. Los contenidos inferiores a 200 ppm están localiza-

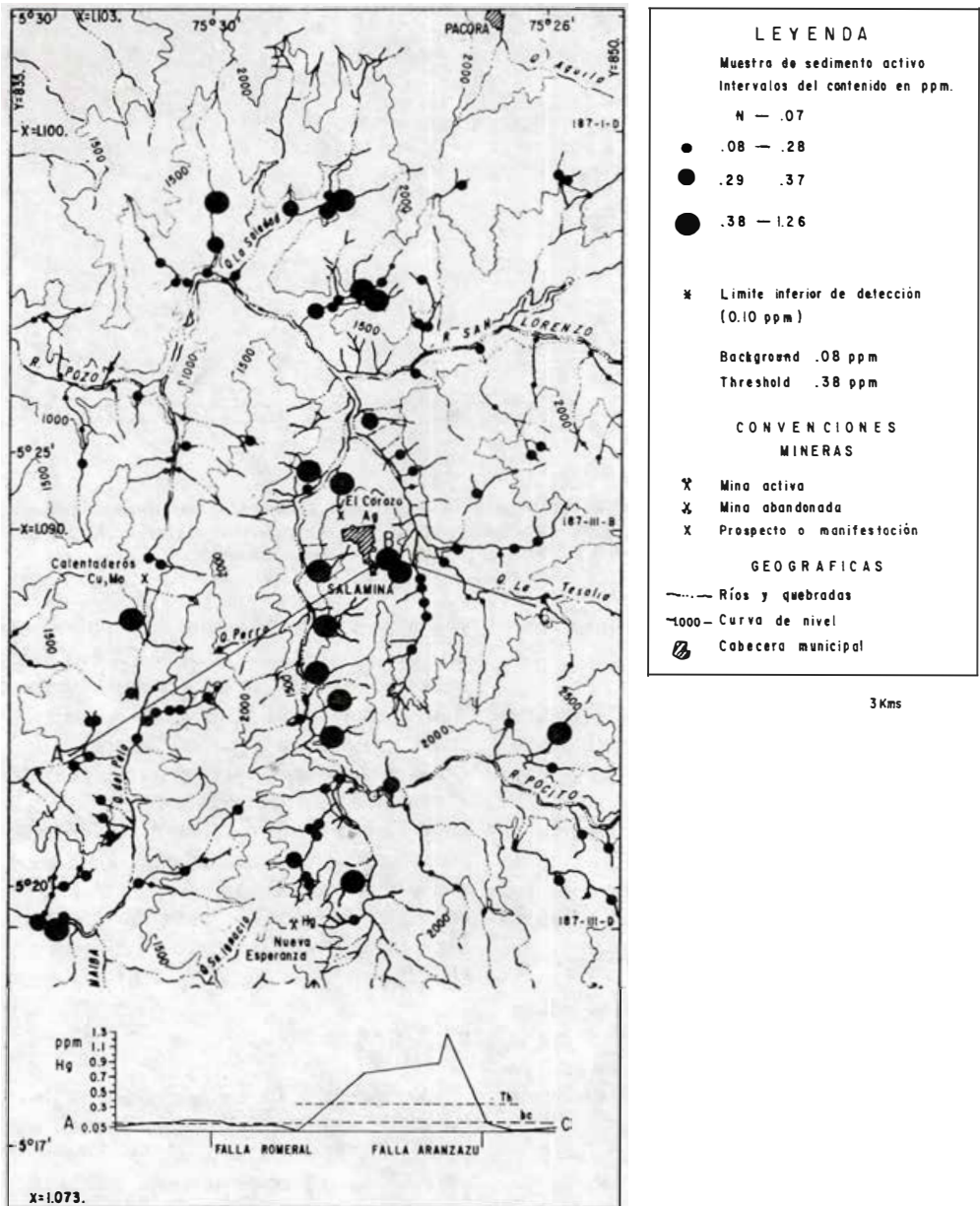


FIGURA 7: Contenido de mercurio. Sedimentos activos, fracción fina. Detector para Hg, malla 80. Prospección geoquímica regional.

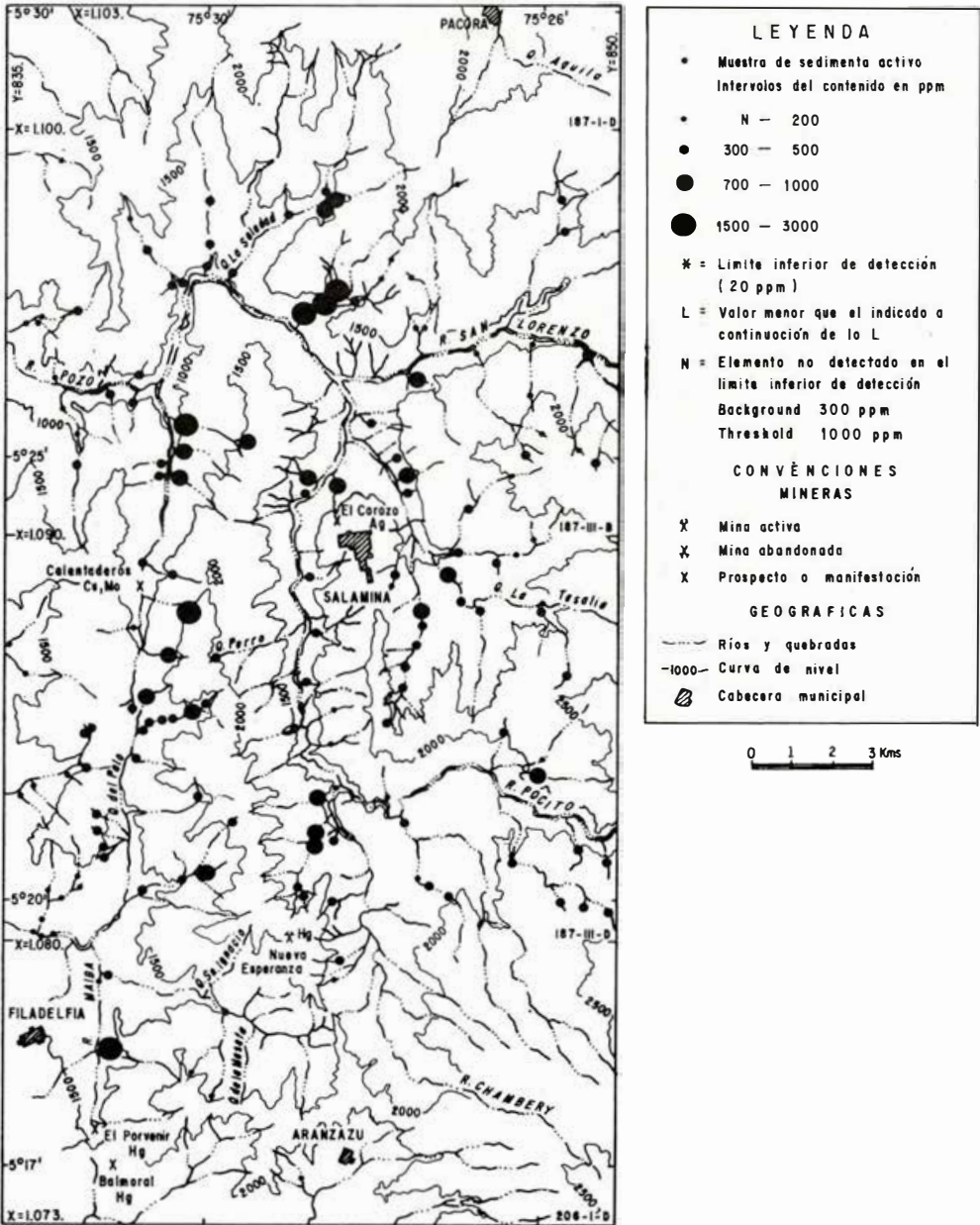


FIGURA 8: Contenido de bario. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico, malla 80. Prospección geoquímica regional.

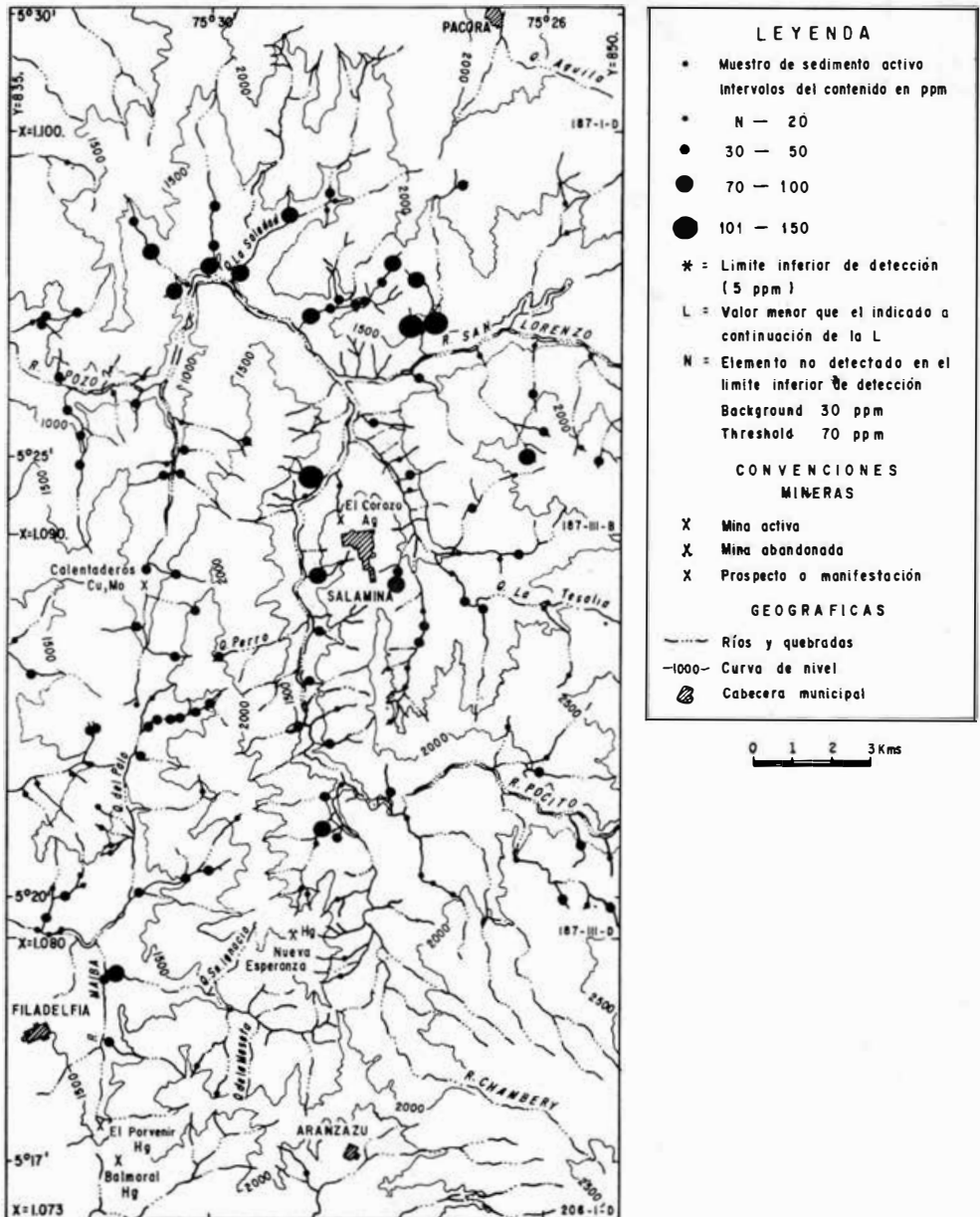


FIGURA 9: Contenido de cobre. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico, malla 80. Prospección geoquímica regional.

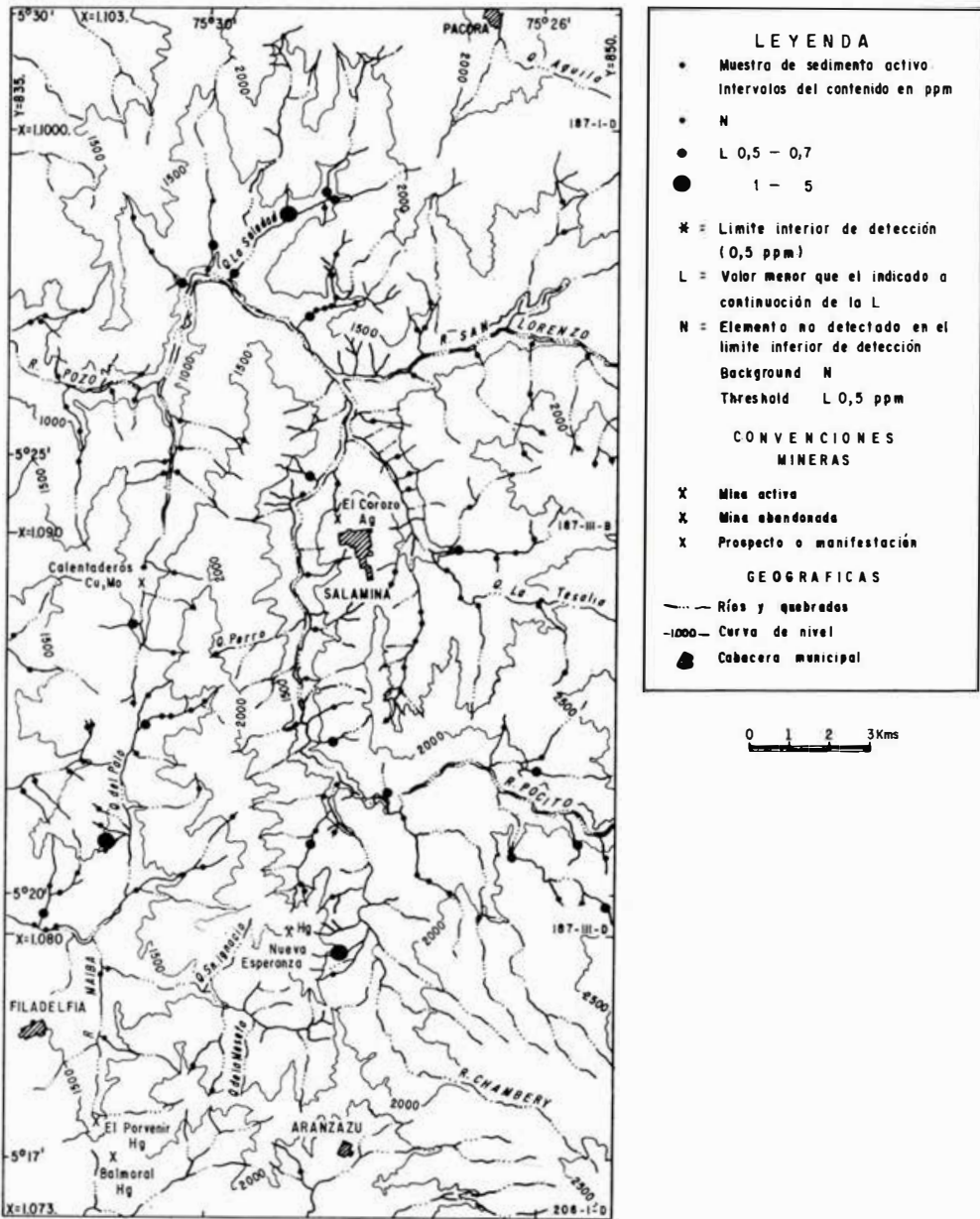


FIGURA 10: Contenido de plata. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico, malla -80. Prospección geoquímica regional.

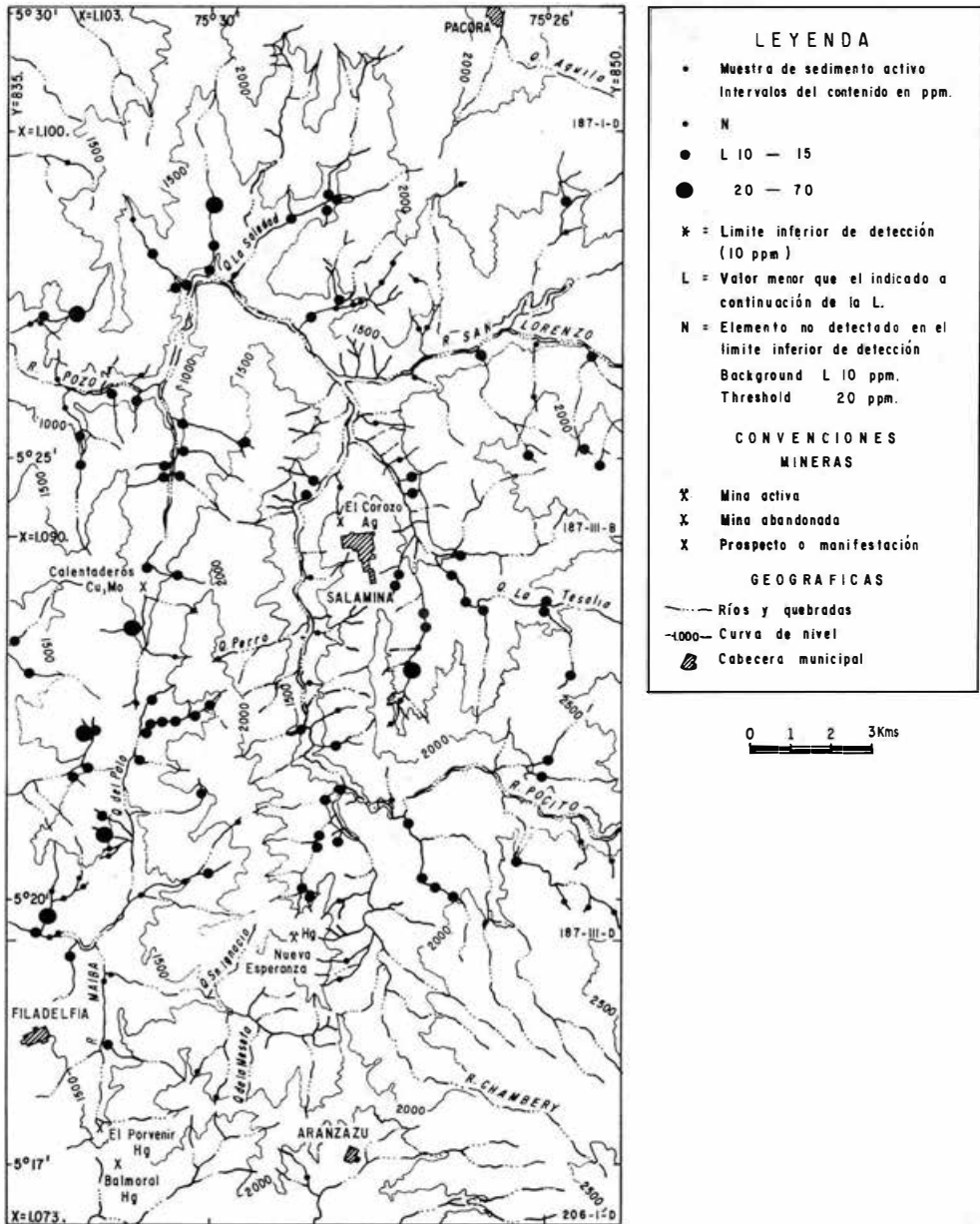


FIGURA 11: Contenido de plomo. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico, malla 80. Prospección geoquímica regional.

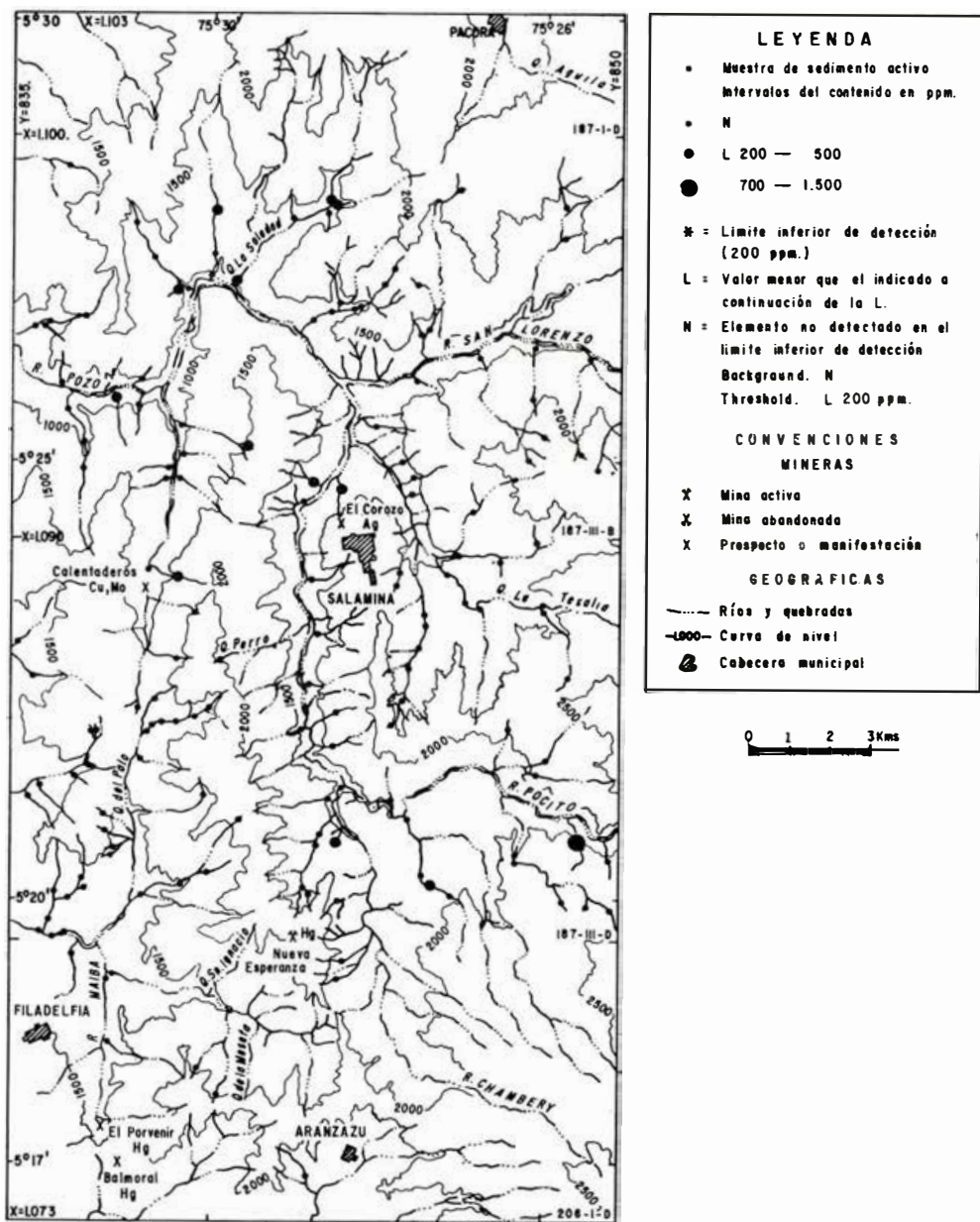


FIGURA 12: Contenido de zinc. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico, malla -80. Prospección geoquímica regional.

dos principalmente al oeste de la Falla de Romeral donde afloran rocas sedimentarias terciarias y serpentinas. La población comprendida entre 300 y 1000 ppm está localizada al este de la Falla de Romeral y posiblemente relacionada al contenido de Ba normal en doleritas y grauwacas. Una tercera población de muestras anómalas se encuentran en drenajes localizados principalmente hacia la parte norte, entre la Falla de Romeral y el cinturón con anomalías de mercurio, pero aparentemente no tienen relación con éste.

3.6.3. COBRE

Figura 9. La concentración de Cu varía entre L 10 y 150 ppm. Se tomó como background 30 ppm y como threshold 70 ppm. El 9.8% corresponde a muestras anómalas. En la Figura 4 la curva de frecuencias acumulativas para Cu muestra dos poblaciones, una entre L 10 y 70 ppm, posiblemente relacionadas al contenido normal de las rocas, y otra entre 70 y 150 ppm, probablemente asociada a algunas zonas mineralizadas. Los drenajes anómalos no tienen distribución definida, aunque se presenta una ligera concentración en la parte norte central del área donde se superponen algunas veces con anomalías de Ba, Ag y Zn. Aparentemente el Cu no tiene relación genética con las mineralizaciones de mercurio.

3.6.4. PLATA

Figura 10. El contenido de Ag en los sedimentos varía entre N, (límite inferior de detección L, 5 ppm) y 1.5 ppm. Se escogió como background N y como threshold L, 5 ppm. El 16.6% de las muestras son anómalas. Los drenajes anómalos se encuentran esparcidos irregularmente en el área sin un patrón definido, solamente hacia la parte norte se observa algunas anomalías agrupadas que en algunos casos están superimpuestas con anomalías de otros elementos.

3.6.5. PLOMO

Figura 11. La concentración de Pb varía entre N, (límite inferior de detección) y 70 ppm. Se tomó como background N, y

como threshold 20 ppm. El 4.9% de las muestras son anómalas y están agrupadas principalmente a lo largo de la Falla de Romeral y hacia el sector oeste, donde posiblemente estén relacionadas a serpentinas.

3.6.6. ZINC

Figura 12. El contenido de Zn varía entre N, (límite inferior de detección 200 ppm) y 1500 ppm. Se tomó como threshold L 200; las muestras anómalas corresponden al 5.5%. Los drenajes anómalos se encuentran irregularmente esparcidos en el área.

3.7. ZONAS ANOMALAS

La Figura 13. muestra la franja o cinturón que une los distintos drenajes anómalos para Hg y las zonas anómalas individuales o superpuestas de los elementos Ag, Ba, Pb, Zn y Cu. En la parte inferior de la figura, se muestra un gráfico de concentración de Hg que representa la proyección de los valores de este elemento en la transversa A-B-C. Como se observa, la casi totalidad de las anomalías individuales o superpuestas de Ag, Ba, Pb, Zn y Cu, no coinciden con las anomalías de Hg, lo que aparentemente significa que estos elementos no son cogenéticos con las mineralizaciones de Hg. Las únicas anomalías de Hg que se superponen totalmente con zonas anómalas de Ag, Pb, Zn, son dos que se encuentran en la Falla de Romeral.

Comúnmente, las fracturas y fallas menores son excelentes conductos para la salida de los vapores de Hg, y en varias localidades en el mundo se encuentran depósitos asociados a fallas.

En esta área, aparentemente, las anomalías importantes de Hg no se relacionan directamente ni a los trazos de la Falla de Romeral, localizada hacia el oeste ni a la Falla de Aranzazu situada hacia al este. Es notorio sin embargo el paralelismo que conserva el cinturón anómalo de Hg con la Falla de Romeral, lo cual puede indicar que la zona mercurífera está relacionada a una gran zona de fracturamiento o fallas que conservan ca-

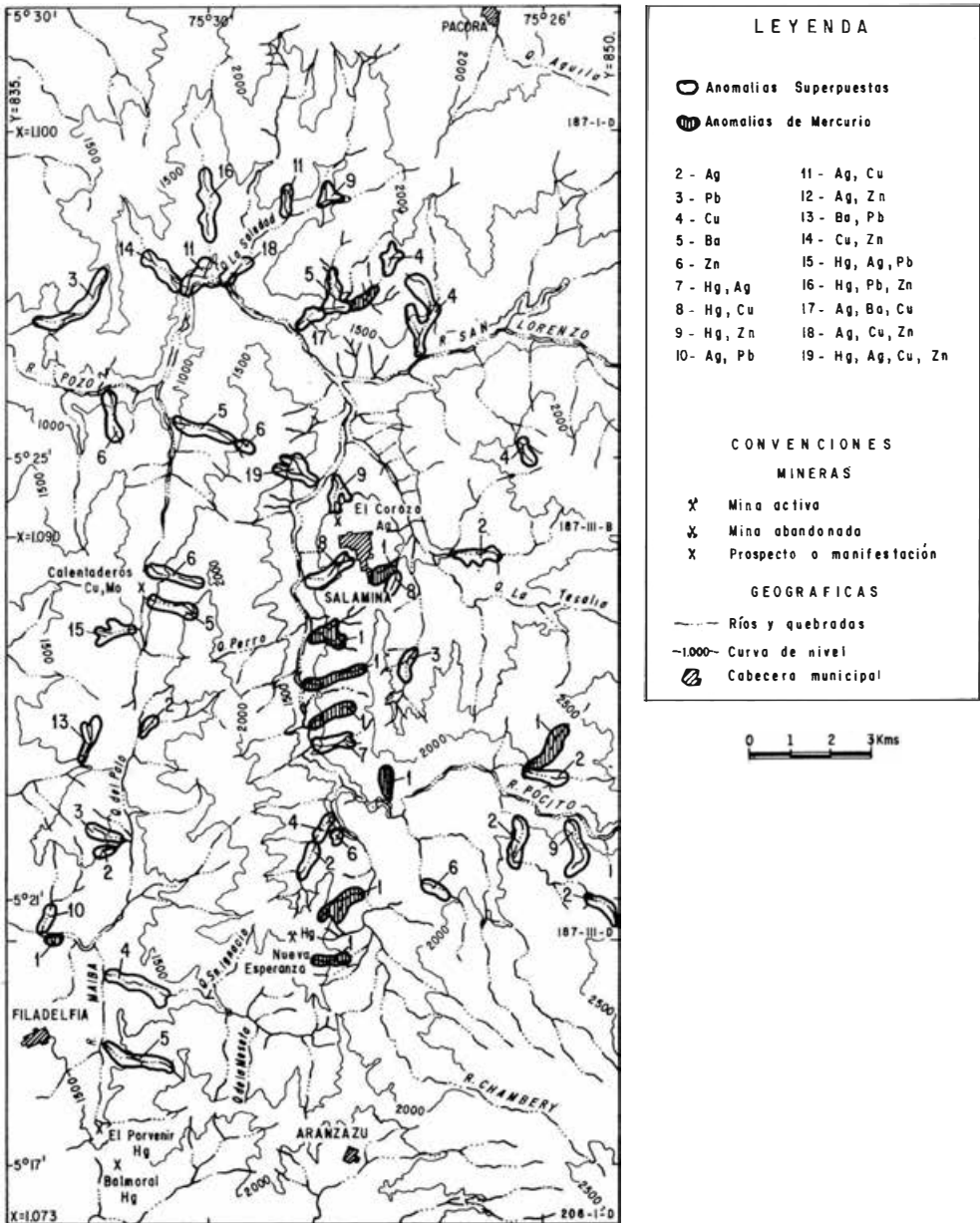


FIGURA 13: Anomalías geoquímicas.

racterísticas semejantes a la Falla de Romeral y que pueden haberse formado dentro del mismo sistema tectónico. Esta falla, no detectada en el campo, puede estar enmascarada por fracturas y/o por intrusiones posteriores a su formación.

En el gráfico de concentración de Hg, en la parte inferior de la Figura 7 se aprecia cómo la concentración de Hg en la Falla de Romeral es ligeramente superior al background, y hacia la parte central, el elemento es definitivamente anómalo.

En las siguientes secciones se estudiará en forma detallada cómo se presenta la mineralización de Hg en la mina de La Nueva Esperanza.

4. MINA DE MERCURIO DE LA NUEVA ESPERANZA

El yacimiento de La Nueva Esperanza fue descubierto en 1948 y es la única mi-

na activa de mercurio en Colombia. Este depósito se caracteriza por tener un alto contenido de mercurio nativo, base única de su producción, puesto que el escaso cinabrio presente no es actualmente aprovechado. Estos aspectos, y el hecho de estar localizado en la zona anómala detectada por prospección geoquímica regional, hacen de la mina de La Nueva Esperanza un sitio particularmente importante para determinar los diferentes aspectos geológicos, mineralógicos y geoquímicos del yacimiento que serán de gran utilidad para entender los nuevos prospectos que se encuentren en esta área; por esta razón, en esta sección, se realiza un estudio detallado del sector.

4.1. LOCALIZACION

La mina está situada en el departamento de Caldas a una distancia en línea recta de 5.5 km en dirección N14°W de la población de Aranzazu, a una altura de 1820 m sobre el nivel del mar y en las cabeceras de la quebrada La Laguna; afluente derecho de la quebrada Chupadero (Fig. 14). Para llegar

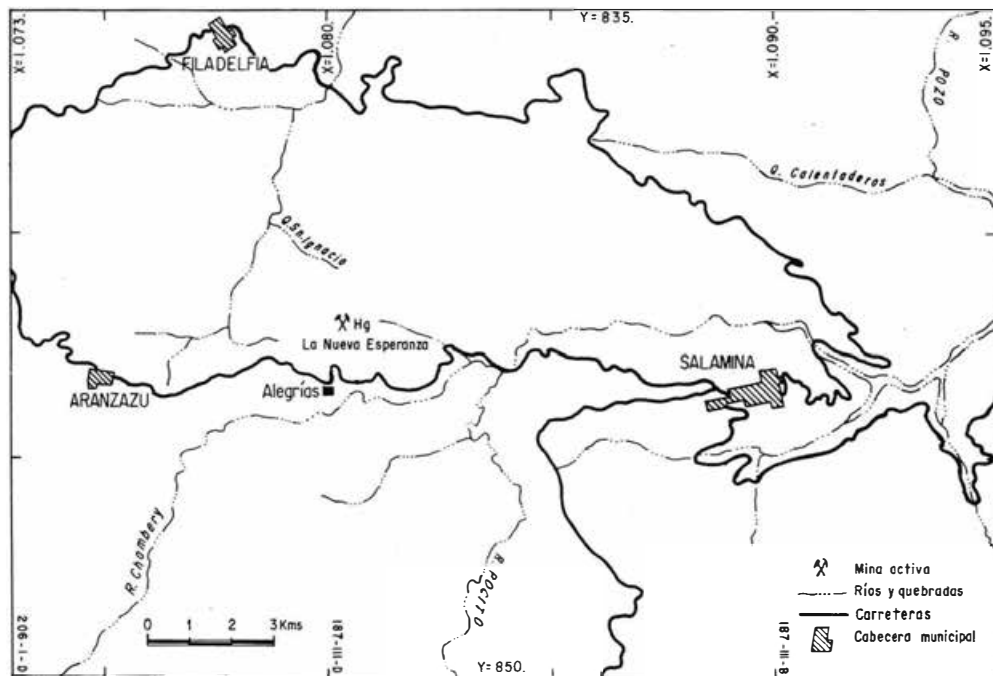


FIGURA 14: Localización de la mina de mercurio La Nueva Esperanza.

a la explotación se toma la carretera que comunica a los municipios de Aranzazu y Salamina hasta el sitio de Alegrías, luego se dirige por un carreteable que conduce a la vereda El Roblal hasta el Alto de Manzanillo, localizado aproximadamente a 2100 m de altura. De este sitio se descienden unos 300 m por un camino de herradura de pendiente alta que sale con dirección oeste.

5. GEOLOGIA

En esta sección se discute la geología de los alrededores de la mina La Nueva Esperanza y más exactamente se describen las rocas que afloran en los nacimientos de la quebrada La Laguna hasta la confluencia con la quebrada Chupaderos, además de la sección E-W de la carretera que conduce a la vereda El Roblal y que está situada al norte de la zona de explotación de la mina (Fig. 15).

En este sector que cubre aproximadamente un área de 3 km², aflora un conjunto de rocas metavolcánicas y metasedimentarias que pertenecen a la Formación Quebradagrande (BOTERO, G., 1963). Todo el conjunto muestra claros efectos dinámicos como cizallamiento y orientación dando lugar en algunos sitios a la formación de filonitas. Las rocas en general toman aspecto metamórfico lo cual dificulta la determinación de campo y la cartografía.

5.1. ROCAS METASEDIMENTARIAS

Las rocas metasedimentarias tienen rumbo general N30°E y buzamientos fuertes generalmente al este, están compuestas principalmente por intercalaciones de metagrauvas de color negro, metagrauvas calcáreas y metagrauvas grises.

5.1.1. METAGRAUVACAS NEGRAS

Son las rocas más abundantes en el área, presentan laminación que varía de 2 cm a 1 m de espesor, tiene color negro y grano fino. Debido a efectos cataclásticos presentan lustres negruzco en las paredes de las láminas dando aspecto pizarroso. Dentro de este tipo de rocas se encuentran variaciones

locales a arcillolitas que en algunos casos se hacen más calcáreas, grafitosas y silíceas, pero en general predomina las grauvas de grano fino. Lentes delgados y concordantes de chert son frecuentes. Se observan además venas de cuarzo paralelas o cortando la foliación y cristales de piritita tanto en la roca como en las venas de cuarzo.

5.1.2. METAGRAUVACAS CALCAREAS

Se ha dado este nombre a paquetes interestratificados de areniscas inmaduras, la mayoría de las veces calcáreas, compuestas por una matriz aparentemente cuarzofeldespática con cristales anhedrales de cuarzo y feldespato, comúnmente se encuentran fragmentos de roca principalmente lutitas y chert. El espesor varía de 1 a 2 m, la roca fresca tiene color gris y meteorizada color carmelito.

5.1.3. METAGRAUVACAS GRISES

Presentan laminación fina inferior a 1 cm, grano fino, color gris oscuro frescas y gris medio, ligeramente violáceo cuando están meteorizadas, son grafitosas y untuosas al tacto, los cristales de piritita son comunes. Es frecuente que estas rocas se transformen en filonitas cerca al contacto con el cuerpo de andesitas.

5.3. ROCAS VOLCANICAS

Se distinguen dos tipos principales de rocas ígneas: doleritas y andesitas.

5.2.1. DOLERITAS

Se presentan principalmente en forma de silos o como cuerpos masivos pero aparentemente concordantes con los metasedimentos. La roca tiene color verde oscuro, grano fino a medio, masiva y textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y piroxeno.

5.2.2. ANDESITAS

Afloran al este de la mina de La Nueva Esperanza en forma de un gran cuerpo ta-

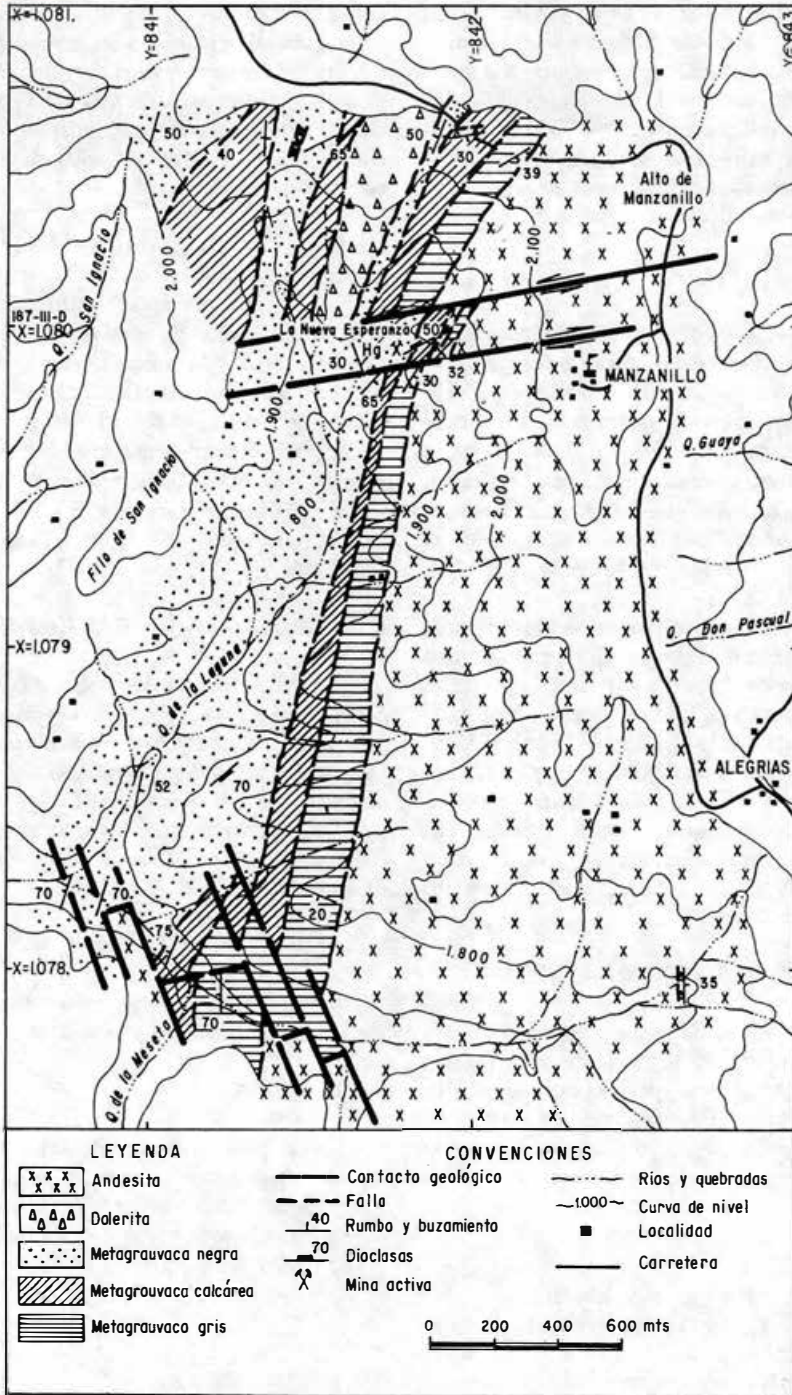


FIGURA 15: Mapa geológico de los alrededores de la mina de mercurio La Nueva Esperanza.

bulas con dirección norte-sur y ancho no inferior a 1.5 km, la longitud no ha sido determinada pero es superior a los 4 km.

Este cuerpo aparentemente se emplazó a través de una brecha de falla con dirección norte-sur. En la quebrada Chupaderos se aprecian los metasedimentos claramente cortados por el intrusivo; además, se encuentran fragmentos angulares de metasedimentos embebidos dentro del cuerpo andesítico, los cuales disminuyen en tamaño y en cantidad a medida que se alejan del contacto con las rocas metasedimentarias. El cuerpo andesítico presenta color gris verdoso claro, grano fino a medio, textura porfídica con fenocristales de hornblenda. Cerca del contacto con los metasedimentos la roca se encuentra algo epidotizada. El grano aumenta en tamaño a medida que se aleja de la zona de contacto.

5.3. MINERALIZACION

La mineralización de la mina de La Nueva Esperanza consta principalmente de mercurio nativo en forma de gotas o glóbulos comúnmente no mayores de 1 mm de diámetro. El cinabrio, principal mineral de mena en la mayoría de las minas de mercurio del mundo, es escaso en este yacimiento y se presenta en forma de parches acompañando a las piritas y ocasionalmente en venas pequeñas. Como minerales de ganga se encuentra pirita localmente abundante, calcita y cuarzo lechoso. El mercurio nativo y el cinabrio se presentan esencialmente junto con los minerales de ganga, sin embargo, en algunos frentes, únicamente se pudo observar mercurio nativo en la roca encajante. La mineralización se localiza en la zona de contacto entre metagrauvas calcáreas y grises (filonita) dirección N30°E con inclinación fuerte al este siguiendo, en la mayoría de los casos, la dirección de foliación de las rocas encajantes aunque en algunos sitios la corta ligeramente. El espesor de la veta es muy variable, en algunos sectores alcanza 2 m pero en corta distancia puede variar a unos pocos centímetros haciéndose vagamente definida. Los respaldos correspondientes a la filonita,

en todos los frentes de explotación, aparecen cizallados y con abundantes espejos de fallas en varias direcciones.

Mariano, T., (1975), sobre dos muestras mineralizadas con cinabrio y mercurio nativo (una muestra de mano y una sección pulida) tomadas para este estudio, realizó el siguiente análisis: "Muestra de Mano: La muestra es un esquistoso grafitoso brechado que contiene arcillas hidratadas, talco y cristales euhedrales diseminados de pirita con dimensión promedio de 0,25 mm. Una cara de esta muestra está cubierta con una drusa de cristales euhedrales de calcita y calcita anhedrales en venas.

Los cristales toman una morfología de cabeza de clavo vítrea ocasionada por rombohedros (0112) y prismas hexagonales (1010). Los cristales de cinabrio se presentan en forma intersticial y cubriendo la calcita. Los cristales euhedrales asumen dos hábitos prominentes; como rombohedros con modificaciones basales y prismáticas y como fibras prismáticas delgadas las cuales comúnmente están deformadas y dobladas.

Las fibras tienen longitud promedio de 5 mm y en algunos casos llegan hasta un centímetro.

Glóbulos redondeados de mercurio nativo ocurren como gotas aisladas adheridas al cinabrio y como masas líquidas en cavidades microscópicas"

"Sección Pulida: La muestra contiene abundante pirita (25 %) en forma de cristales euhedrales y subhedrales, los cuales están afectados por fenómenos de brechamiento y penetrados por cuarzo en venas.

Parches de cinabrio policristalino ocurren como trazas dentro de las venas de cuarzo lechoso. Parches diseminados de dolomita aparecen distribuidos a través de la muestra y están frecuentemente cubiertos con manchas ferruginosas.

En paragénesis el cinabrio es claramente posterior a la pirita como lo indican las microscópicas venillas de cinabrio que atraviesan la pirita brechada.

La mineralización cinabrio-mercurio representa un emplazamiento hidrotermal tardío a muy baja temperatura en roca porosa (esquistos grafitico) el cual ha sido brechado. Los minerales de ganga de la paragénesis cinabrio-mercurio son cuarzo y carbonatos (calcita y dolomita) y pirita. Estos minerales son anteriores a la introducción del cinabrio-mercurio”.

5.4. EXPLOTACION Y PRODUCCION

Seis túneles se han construido en las laderas de la mina con un distanciamiento vertical de aproximadamente 20 m. Últimamente la producción se obtenía de los túneles 4 y 6 que tienen aproximadamente 110 y 130 m de longitud respectivamente, además de varias guías adicionales a los frentes de explotación. Las demás galerías están actualmente derrumbadas. Los túneles cuentan con ventilación eléctrica dirigida por tubos de plástico.

El molino fue construido en 1967. Esta planta tiene cargador de mineral, trituradora de quijadas, molino de rodillos, saranda, trampas para mercurio y otros equipos auxiliares.

Tostadora y horno, comunes en todas las minas de mercurio en el mundo no se utilizan en la mina La Nueva Esperanza. Solamente el mercurio nativo es recuperable y el cinabrio asociado se desecha en las colas (HALL, R., et al., 1972). Los datos sobre producción de la mina La Nueva Esperanza son incompletos y fragmentarios, sin embargo, existen algunas publicaciones y comunicaciones de personas que han estado vinculadas por mucho tiempo a la explotación las cuales resumiremos a continuación.

La producción en el año de 1955 fue de 2700 libras de mercurio. En 1957 fue de 7500 libras y la producción diaria en marzo de 1958 fue de 100 a 150 libras (WOKITTEL, R., 1958).

En 1967 se molieron 4600 toneladas métricas de material durante 260 días de operación y produjo 192.2 botellas de 76 libras de mercurio (6631 kg). Esto equivale a un tenor recuperable de 0.114 kg de mercurio por tonelada métrica de mineral. (HALL, R., 1972).

La producción desde diciembre 13 de 1970 hasta febrero 21 de 1971 fue de 936 libras 226.5 gr (ROMANOS, M., 1971).

La producción correspondiente al período comprendido entre el 5 de mayo y el 4 de noviembre de 1972 fue de 2682 libras americanas con 22 gr de mercurio (ROMANOS, M., 1972).

Datos más concretos sobre producción y compañías que han explotado la mina de La Nueva Esperanza desde su descubrimiento fueron suministradas por el señor Américo Marán (comunicación personal). Esta información se relaciona en la Tabla 5.

Años	Compañía Minera	Producción (Libras)
1948 - 1956	Roberto Botero, Consorcio Minero y Walter Ringueski	60.000
1957	Borrero y Robledo	7.500
1958 - 1960	Chocó Pacífico	7.000
1963 - 1965 (Julio)	Merco	8.500
1965 - 1970 (Diciembre)	Compañía Nueva Esperanza y Southern Unión	81.000
1970 - 1971 (Diciembre)	Américo Marán	16.000
1972 (Marzo) 1975 (Sept.)	Compañía Mercurífera de Caldas	20.000
	Subtotal	200.000
	Producción de Barequeros, aproximadamente 10	20.000
	Total	220.000

TABLA 5. Producción de mercurio en la mina La Nueva Esperanza, Aranzazu, Caldas (información suministrada por Américo Marán.

NOTA: Explotación en base de aproximadamente 100.000 toneladas de material. Tenor aproximado 0,1.

6. PROSPECCION GEOQUIMICA DE LA MINA

La prospección geoquímica de la mina de La Nueva Esperanza se realizó en base de 140 muestras de suelo y 42 muestras de roca, la mayor parte, colectadas sobre un área de 400 por 400 m. Los resultados analíticos y la interpretación geoquímica preliminar de 68 muestras de suelo fueron publicadas por Lozano, H. y McCarthy, H. (1974).

La totalidad de las muestras fueron analizadas por el químico A. Díaz en el laboratorio del INGEOMINAS con el detector para mercurio según técnicas de Vaughn y McCarthy Jr., 1964. Además, 70 muestras de suelos se analizaron en el espectrógrafo para 33 elementos por el químico F. Roa.

Se tomaron 119 muestras de suelos a una profundidad de 15 a 20 cm con espaciamientos de 5 a 10 m, distribuidas en 7 transversas que cruzan la zona mineralizada y sus posibles proyecciones en el área de la mina (Fig. 16). Las 21 muestras de suelo restantes se tomaron en una sección de 800 m de longitud, sobre las márgenes de la carretera que conduce a la vereda El Roblal y que está situada a una distancia de 300 m al norte de la mina.

Algunas muestras de rocas se colectaron a lo largo de los túneles 4 y 6 hasta los frentes de explotación con intervalos de 20m y otras, a diferentes distancias, en el cauce de la quebrada La Esperanza que tienen dirección E-W y que aparentemente corta la mineralización de mercurio.

6.1. TRATAMIENTO ESTADISTICO

Para determinar estadísticamente los parámetros de background y threshold de mercurio en suelos, se construyeron el histograma y la curva de frecuencias acumuladas, siguiendo las normas establecidas por

Lepeltier, C., (1969), junto con la expresión gráfica de la curva de intervalos de concentración versus número de muestras, mientras que para rocas, estos valores, se obtuvieron utilizando el método gráfico. Con los datos proporcionados por los análisis espectrográficos de suelos se calcularon las concentraciones máximas, mínimas, promedios y medianas para los diferentes elementos.

El contenido de mercurio en suelos del área de la mina varía entre 0.06 ppm (límite inferior de detección) y 8.12 ppm; para los cálculos estadísticos no se tuvieron en cuenta 9 muestras que tenían valores superiores a 3.20 ppm, porque, aunque son significativas, están demasiado espaciadas para concentrarlas dentro de una determinada clase. Los 129 valores restantes se ordenaron en 29 clases con intervalos de 0.10 ppm, se agruparon en frecuencias y se calcularon sus respectivos porcentajes, para luego plotearlos contra los límites de clases y así obtener el histograma. Para la construcción de la curva de frecuencias acumuladas se plotearon los porcentajes de las frecuencias acumuladas desde los niveles más altos hasta los niveles más bajos en papel con escala de probabilidades contra los límites inferiores de las clases en papel con escala logarítmica (Fig. 17). Después de hacer un ajuste de los puntos por medio de líneas rectas, que a su vez representan diferentes poblaciones, se calcularon los parámetros buscados, cuyos resultados son los siguientes: background = 0.4 ppm y threshold = 1.2 ppm.

Comparando el método empleado por Lepeltier, C., con los resultados obtenidos a partir de la representación gráfica de la curva de intervalos de concentración contra número de muestras (LOZANO, H. y PEREZ, H., 1977) (Fig. 18). Este gráfico se construye utilizando papel con escala aritmética, en el eje de las ordenadas se colocan los intervalos de concentración en forma ascendente a partir del origen y en el eje de las abscisas el número total de muestras; luego se plotean el número de muestras que se encuentran en cada intervalo en forma acumulativa representadas por segmentos de líneas rectas. Seguidamente, se traza, por los puntos medios

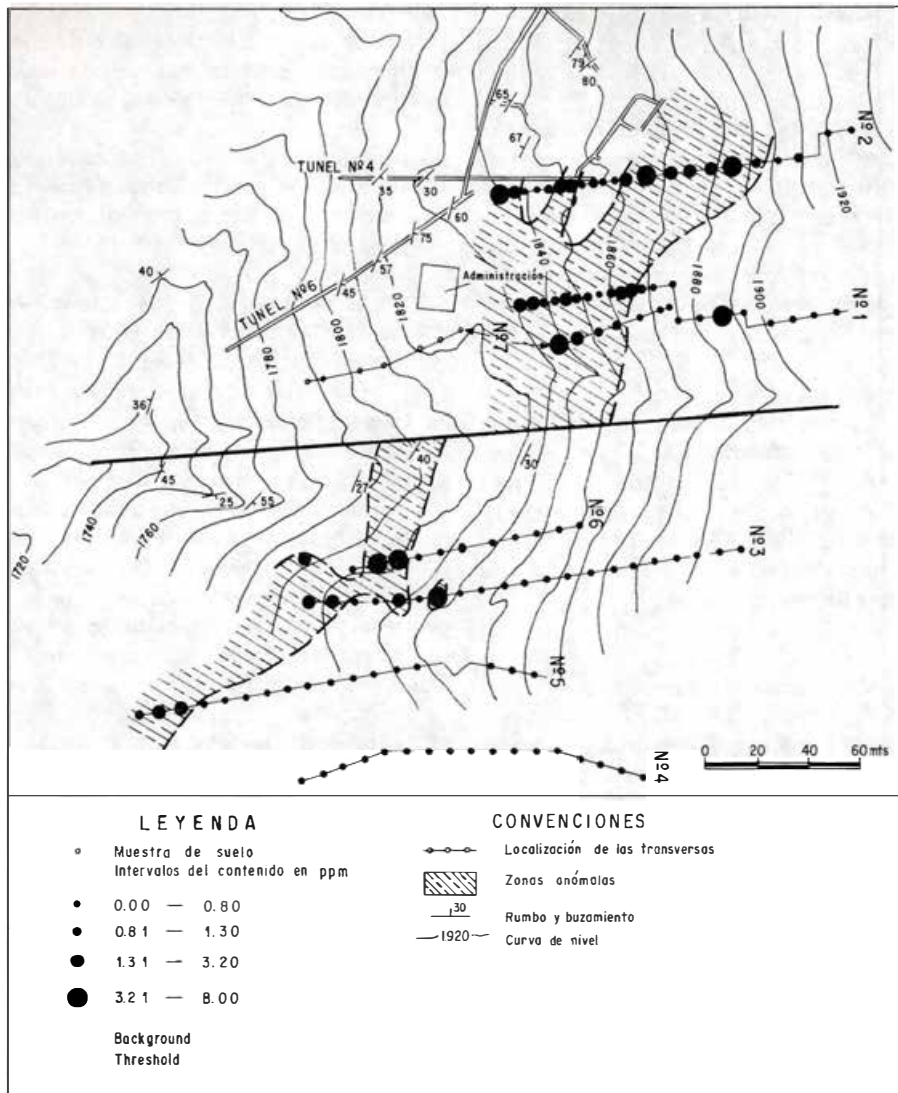


FIGURA 16: Localización de las transversas del muestreo de suelos mina La Nueva Esperanza, Aranzazu, departamento de Caldas.

de cada segmento, la curva o curvas que mejor se ajusten con la mayor cantidad de puntos posibles. Cada una de estas curvas tendrá pendientes diferentes y estará representando una determinada población. Como se observa en esta gráfica se han encontrado tres poblaciones que aparentemente corresponden a suelos derivados de las siguientes roca: 1) andesitas (población con intervalos entre 0.06 y 0.70 ppm de mercurio). 2) metagrauvas grises y filonitas (población con inter-

valos entre 0.71 y 1.20 ppm) y 3) mineralización de mercurio (con valores superiores a 1.21 ppm).

En este gráfico, el background (0.41 ppm) se ha calculado como el valor inferior del intervalo que contiene el 50% de las muestras y como threshold (1.21 ppm) el valor inferior del quiebre entre la segunda y la tercera población.

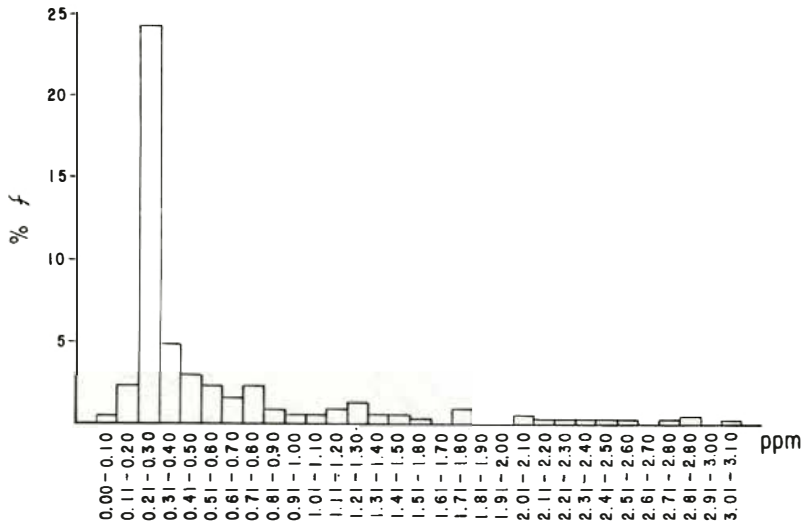
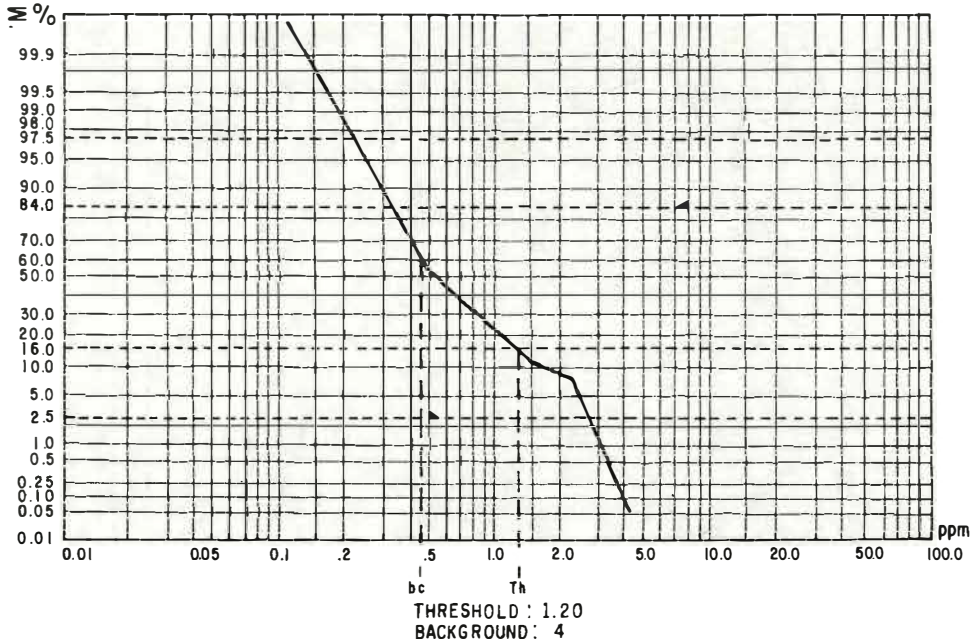


FIGURA 17: Gráfico e histogramas para la determinación de threshold y background. Mercurio. Análisis por absorción atómica. Suelos. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

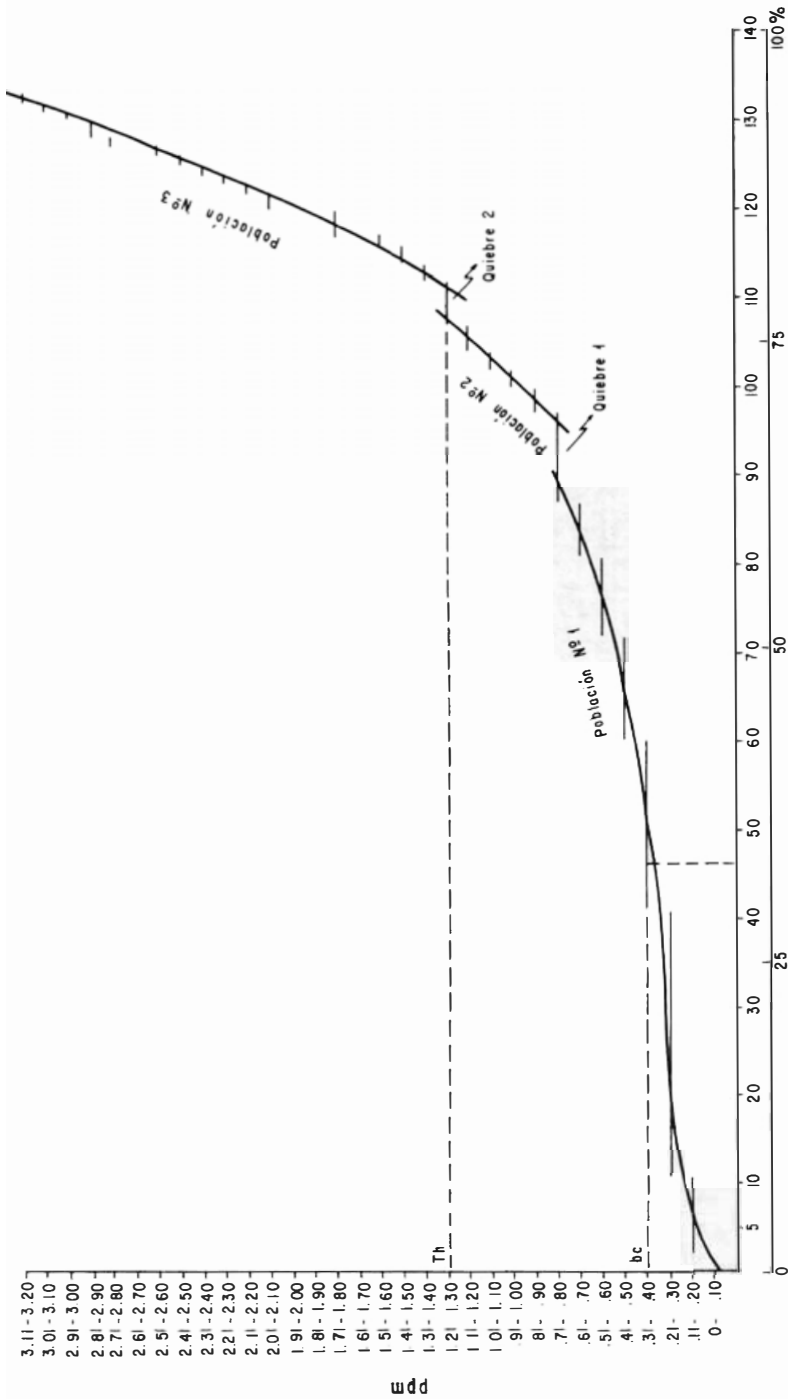


FIGURA 18: Gráfico de la curva de intervalos de concentración vs. número de muestras de mercurio. Suelos. Detector de Hg. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

Las Figuras 20, 21, 22 y 23 muestran las concentraciones de mercurio de las rocas colectadas tanto en superficie como en los túneles. Los parámetros calculados sobre estos gráficos son los siguientes: background = 1.0 ppm (superficie) y 10 ppm (túneles). Threshold = 2.5 ppm (superficie) y 30 ppm (túneles). Los valores en superficie son más bajos debido a que las rocas están sometidas a los procesos de meteorización y erosión.

Con los resultados de los análisis espectrográficos en 70 muestras de suelos se ha elaborado la Tabla 6 que contiene los valores promedios, máximos, mínimos y medianos de las concentraciones de Fe, Ca, Mg, Ti, Ba, Mn, V, Sr, Cu, Zr, Ni, Co, Cr, Sc, Ga, Y, Be, Mo, Pb, Ag y La. Con estos datos se ha construido el gráfico de concentración media para los diferentes elementos (Fig. 19). Los suelos se analizaron también para As, Au, Bi, Cd, Sb, Sn, W y Zn, pero los contenidos fueron menores al límite inferior de detección del espectrógrafo.

6.1.1. INTERPRETACION

Con la información que obtuvimos anteriormente en el área de la mina de La Nueva Esperanza, trataremos de investigar en esta sección los siguientes puntos: 1) posible correspondencia existente entre las anomalías de mercurio, las mineralizaciones conocidas y sus proyecciones. 2) cuáles sectores inexplorados muestran las mejores posibilidades económicas para mercurio en el área de la mina. 3) cuáles elementos, además del mercurio, podrían ser utilizados como indicadores de mineralizaciones de mercurio en esta zona. 4) relaciones geológicas entre las mineralizaciones de mercurio y los diferentes tipos de rocas.

1. Correspondencia entre las anomalías de mercurio, las mineralizaciones conocidas y sus proyecciones: en la Fig. 16 están localizadas las diferentes transversas con los sitios de muestreo y el intervalo de concentración de mercurio en cada una de las muestras de suelos. La transversa 1, cruza las zonas mineralizadas que están en explotación en los túneles 4 y 6, las transversas 2 y 3 pasan por mineralizaciones ya explotadas,

mientras las transversas 4, 5, 6 y 7 están ubicadas en un sector donde no ha existido ningún trabajo de minería. Como se ha discutido anteriormente, concentraciones superiores a 1.21 ppm de mercurio en suelos se consideran anómalas. En la transversa 1, en el extremo oeste y por una distancia de 10 m, se presenta una anomalía, la cual posiblemente esté reflejando la mineralización que se explota en el túnel 6. Aproximadamente en dirección este se encuentra otra zona anómala similar a la anterior que aparentemente está indicando la mineralización del túnel 4. Más hacia el este y por espacio de 60 m se observa una nueva anomalía que probablemente está mostrando un sector mineralizado no conocido. En el extremo oeste de las transversas 2 y 3 se presentan dos franjas anómalas continuas de 50 y 30 m respectivamente, que señalan la continuación sur de las mineralizaciones detectadas en la transversa 1. Estos filones fueron trabajados y explotados con anterioridad al año de 1972; en la actualidad los socavones de entrada se encuentran completamente derrumbados. Es importante anotar que 7 muestras de suelos tomadas en un trayecto de 75 m y situadas inmediatamente al sur de la casa de la administración de la mina mostraron concentraciones demasiado altas de mercurio entre 210 y 600 ppm que se han considerado como material contaminados por los trabajos de minería anteriormente mencionados, por lo tanto no se tienen en cuenta en la interpretación. Como se ha podido apreciar en esta breve discusión, existe una buena correspondencia entre las anomalías de mercurio en suelos y las mineralizaciones conocidas; estas relaciones las utilizamos para señalar áreas con posibilidades económicas para mercurio.

2. Sectores inexplorados que muestran buenas posibilidades económicas para mercurio: en la parte sur de la quebrada La Esperanza, las muestras de suelos tomadas hacia el oeste de las transversas 4, 5 y 6 y por unas distancias de 70, 60 y 30 m respectivamente son anómalas (Fig. 16). Estas anomalías se correlacionan bastante bien con los valores más altos de mercurio encontrados en muestras de rocas colectadas en el cauce de la quebrada La Esperanza, por tan-

ELEMENTOS	VALORES	MN=70 (ppm)	ELEMENTOS	VALORES	NM=70 (ppm)	ELEMENTOS	VALORES	NM=70 (ppm)
Fe	Pr.	14.500	Sr	Pr.	166,4	Ga	Pr.	15,7
	Máx.	30.000		Máx.	1.000		Máx.	50
	Mín.	5.000		Mín.	N		Mín.	N
	Md.	15.000		Md.	150		Md.	15
Ca	Pr.	6.500	Cu	Pr.	8,6	Y	Pr.	6,3
	Máx.	15.000		Máx.	70		Máx.	10
	Mín.	500		Mín.	N		Mín.	N
	Md.	7.000		Md.	10		Md.	L 10
Mg	Pr.	9.600	Zr	Pr.	64,5	Mo	Pr.	2,3
	Máx.	20.000		Máx.	150		Máx.	10
	Mín.	3.000		Mín.	15		Mín.	N
	Md.	10.000		Md.	70		Md.	N
Ti	Pr.	1.700	Ni	Pr.	18,3	Be	Pr.	N
	Máx.	5.000		Máx.	50		Máx.	1
	Mín.	1.000		Mín.	N		Mín.	N
	Md.	1.500		Md.	20		Md.	N
Ba	Pr.	264,9	Co	Pr.	10,6	Pb	Pr.	6,4
	Máx.	700		Máx.	70		Máx.	10
	Mín.	70		Mín.	N		Mín.	N
	Md.	200		Md.	10		Md.	L 10
Mn	Pr.	404,3	Ct.	Pr.	83,7	Ag	Pr.	N
	Máx.	1.000		Máx.	500		Máx.	7
	Mín.	200		Mín.	N		Mín.	N
	Md.	300		Md.	70		Md.	N
V	Pr.	84,3	Sc	Pr.	8,5	La	Pr.	21,4
	Máx.	300		Máx.	20		Máx.	30
	Mín.	30		Mín.	L 5		Mín.	N
	Md.	70		Md.	7		Md.	20

TABLA 6. Contenido promedio, máximo, mínimo y mediano de 21 elementos en suelos. Análisis espectrográfico. Area de la mina mercurio de La Nueva Esperanza, Aranzazu, Caldas.

NOTA:

NM = Número de muestras.

N = Elemento no detectado en el límite inferior de detección.

L = Valor menor que el indicado a continuación de la L.

Valores: Pr. = promedio, Máx. = máximo, Mfn. = mínimo, Md. = mediano.

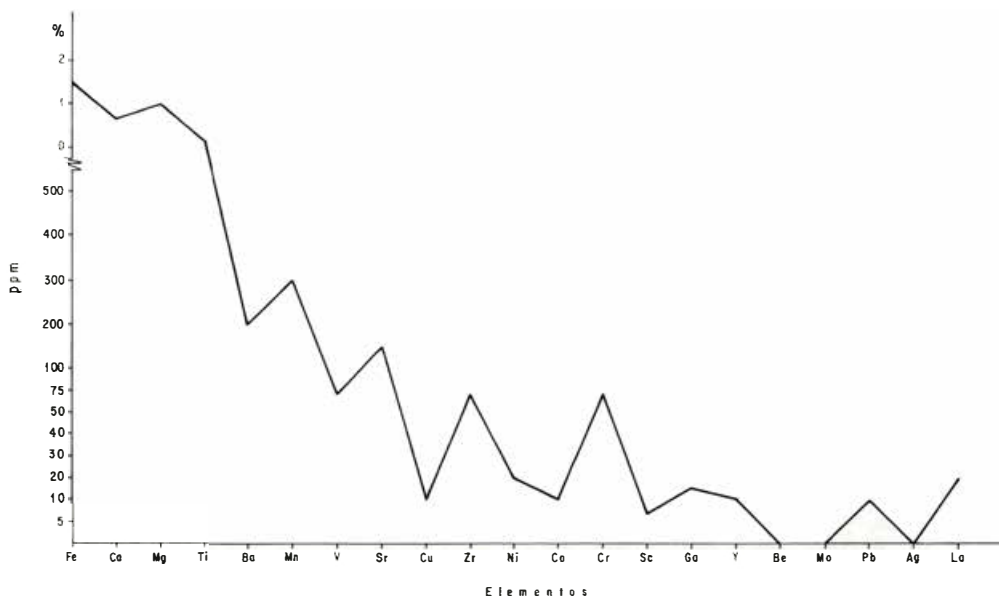


FIGURA 19: Gráfico de concentración media de elementos en suelos. Análisis espectrográfico de mercurio. Mina La Nueva Esperanza, Aranzazu, Caldas.

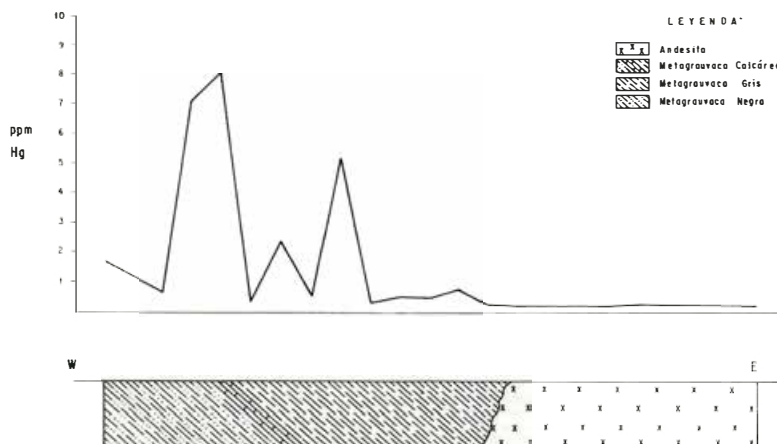


FIGURA 20: Corte geológico y concentración de Hg en los diferentes tipos de rocas. Detector de Hg. Quebrada La Esperanza, costado sur. Area de la mina La Nueva Esperanza, municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

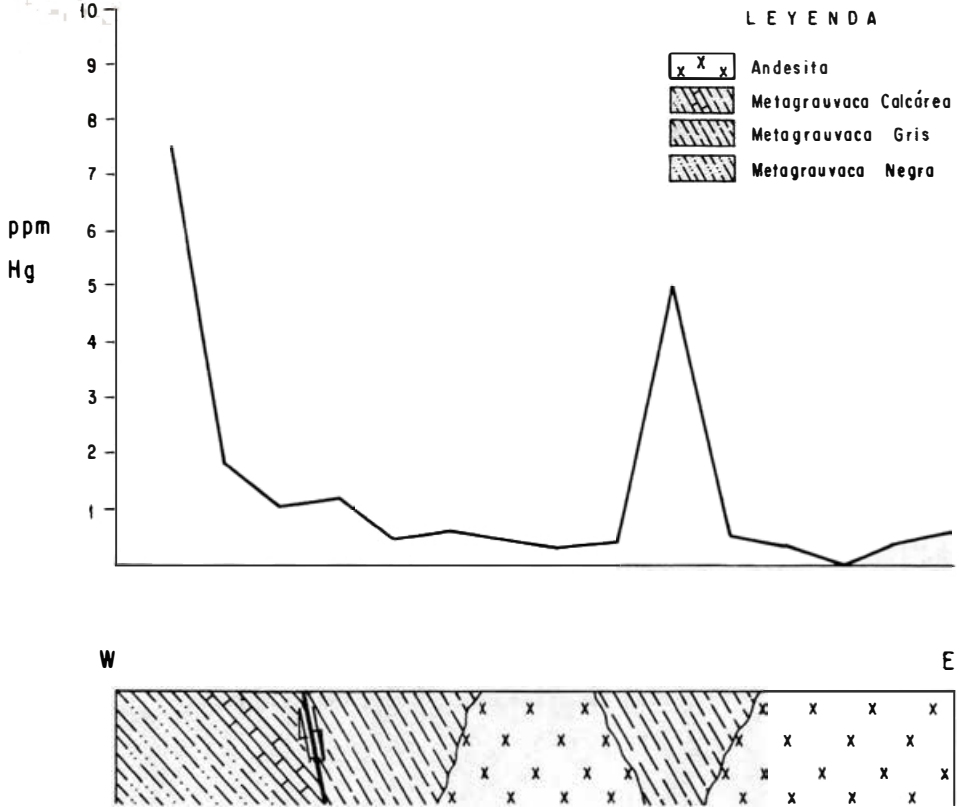


FIGURA 21: Corte geológico y concentración de Hg en rocas, transversa 3. Detector de Hg. Quebrada La Esperanza, costado norte. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

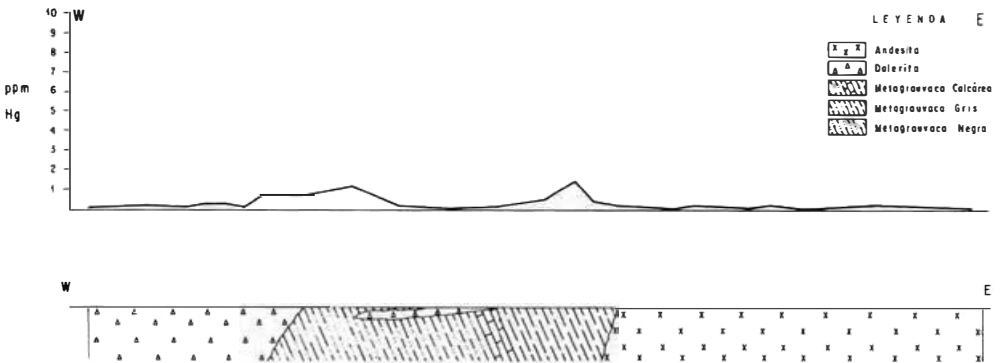


FIGURA 22: Corte geológico y concentración de Hg en rocas. Detector de Hg. Carretera El Roblal. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

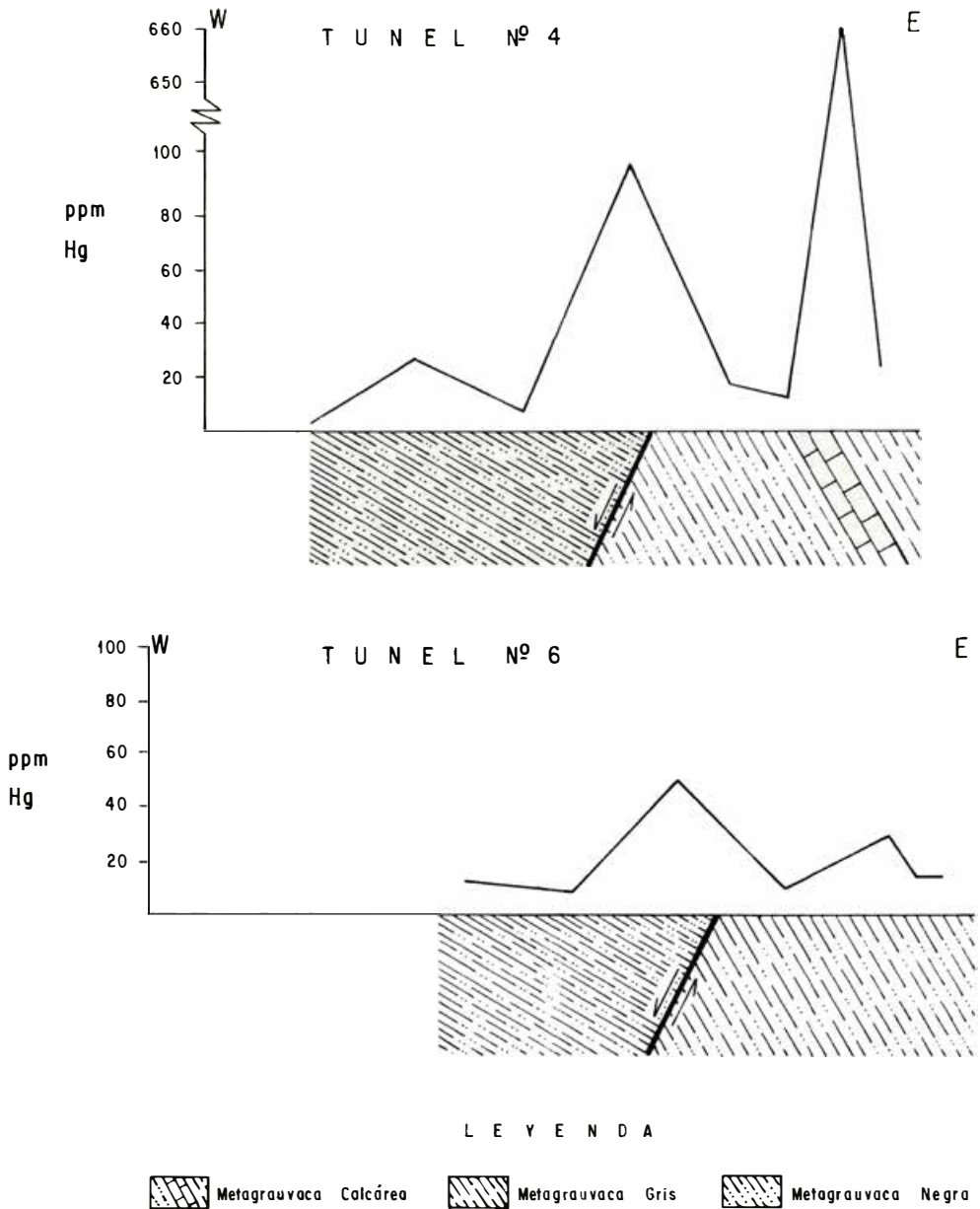


FIGURA 23: Corte geológico y concentración de Hg en rocas. Detector para Hg. Túneles 4 y 6. Mina de La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

to, este sector y el correspondiente a la parte este de la transversa 1 son las áreas que muestran las mejores posibilidades para mercurio. En estas zonas se deben iniciar trabajos de exploración subterránea por medio de taldros o túneles para investigar directamente cual es la magnitud real de las mineralizaciones.

3. Cuáles elementos, además del mercurio, podrían ser utilizados como indicadores de mineralizaciones de mercurio en esta zona: si las mineralizaciones de mercurio están genéticamente relacionadas con otros elementos, éstos deben mostrar concentraciones positivas o negativas a medida que el contenido de mercurio aumente o disminuya. Con el propósito de encontrar estas relaciones se ha construido un cuadro que compara las concentraciones de mercurio con las de otros elementos. Para la elaboración de la Tabla 7 se escogieron 27 muestras de suelos que hubieran sido analizadas por detector y por espectrografía. En este grupo fueron incluidas las 7 muestras que presentaron los valores más altos en mercurio y que fueron interpretados como contaminación. Las muestras fueron ordenadas de menor a mayor según sus correspondientes valores de mercurio, además, aparecen las respectivas concentraciones en cada una de las muestras obtenidas de los análisis espectrográficos para Fe, Ca, Mg, Ti, Ba, Mn, V, Sr, Cu, Zr, Ni, Co, Cr, Sc, Ga, Y, Be, Mo, Pb, Ag y La. Como se puede apreciar en el cuadro, no se observa ningún incremento definido ni positivo ni negativo en los diferentes elementos a medida que aumentan los valores de mercurio. Luego, aparentemente, ninguno de los elementos mencionados puede ser utilizado en la zona como indicador de las mineralizaciones de mercurio. Posteriormente se investigará en forma regional si elementos que tienen límites inferiores de detección muy altos en los análisis espectrográficos tales como As y Sb podrían estar relacionados con las mineralizaciones de mercurio.

4. Relaciones geológicas entre las mineralizaciones de mercurio y los diferentes tipos de rocas: algunas mineraliza-

ciones hidrotermales se emplazan en los planos de fracturas, de fallas y en los contactos entre dos rocas que permiten el fácil acceso de las soluciones o en ciertos tipos de rocas receptoras que presentan mayor afinidad química con los fluidos mineralizantes. Para conocer las posibles aptitudes o preferencias que toman las mineralizaciones de mercurio en la mina de La Nueva Esperanza, vamos a comparar las concentraciones de mercurio en suelos y en rocas con los cortes geológicos tanto en superficie como en los túneles y en los frentes de explotación. La Figura 20 muestra un corte geológico (A-A') localizado en el sector sur de la quebrada La Esperanza con los valores de mercurio obtenidos en los diferentes tipos de rocas, y además los gráficos del contenido de mercurio en suelos de las transversas 4 y 5 situadas hacia el sur y en forma aproximadamente paralela a 35 y 55 m respectivamente. En este corte están representados los metasedimentos que afloran de oeste a este en la siguiente secuencia: grauvacas negras, grauvacas calcáreas de grano medio, metagrauvacas grises (filonitas) con abundantes espejos de fallas. En la parte este, los metasedimentos están intruidos por un cuerpo de andesita porfírica de color gris claro con fenocristales de plagioclasa y hornblenda.

Como se puede apreciar en el gráfico el contenido de mercurio en las grauvacas negras no excede de 1 ppm, mientras que en las grauvacas grises y principalmente en el borde calcáreo que hace contacto con las filonitas, el contenido de mercurio es notoriamente anómalo, con un valor máximo de 69 ppm, luego disminuye nuevamente hasta 1 ppm en el contacto filonitas-andesitas. En los gráficos correspondientes a las transversas 4 y 5 es evidente, que los suelos derivados del contacto grauvacas calcáreas-filonitas son también altamente anómalos con valores que alcanzan 8.1 y 5.2 ppm de mercurio.

En la Figura 21 se representa el corte geológico (B-B') del sector norte de la quebrada La Esperanza y la transversa de suelos 3 situada a unos 30 m al norte. Como se observa en la parte oeste de ambos gráficos, el contenido de mercurio tanto en rocas como

No. de Muestra	Hg ppm	Fe %	Ca %	Mg	Ti	Ba	Mn	V	Sr	Cu	Zr	Ni	Co ppm	Cr	Sc	Ga	Y	Be	Mo	Pb	Ag	La
HL-4164	0,09	-	-	.15	200	300	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	L1	-	-	-	30
HL-4117	0,10	1,5	-	.15	300	-	100	150	20	150	20	10	-	-	10	-	-	L1	-	L10	-	30
HL-4217	0,16	-	.7	-	200	500	-	-	-	10	100	-	-	-	-	-	L10	L1	-	-	-	20
HL-4233	0,19	3	1,5	2	300	500	200	1000	-	-	100	20	15	150	20	20	10	L1	5	10	-	-
HL-4213	0,32	-	-	.2	200	300	70	150	-	-	-	-	-	-	7	-	L10	L1	-	L10	-	20
HL-4125	0,48	-	-	.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	L1	-	-	-	30
HL-4178	0,43	-	-	.15	300	500	70	150	-	-	-	-	10	70	-	-	-	L1	-	-	-	20
HL-4124	0,79	2	-	.15	200	500	100	150	15	100	20	15	-	-	-	-	-	L1	-	L10	-	20
HL-4127	0,79	1,5	-	.15	300	200	70	150	L10	100	-	-	-	-	7	-	-	L1	-	L10	-	-
HL-4111	0,80	2,0	1	2	-	500	0	100	200	15	-	30	-	150	10	20	-	-	-	-	7	-
HL-4176	1,09	1,5	1	1,5	.15	-	1000	70	-	15	-	30	20	200	15	-	10	L1	-	-	-	20
HL-4121	1,17	-	.7	-	-	-	300	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	L1	-	-	-	20
HL-4161	1,17	2	1	1	.2	500	500	100	200	L10	70	30	15	100	15	20	L10	L1	-	-	-	30
HL-4177	1,22	-	-	.15	-	300	-	-	-	-	-	-	-	70	-	-	-	L1	-	-	-	20
HL-4123	1,45	2	-	.15	200	500	100	-150	-	-	100	-	20	-	7	20	L10	-	-	L10	-	30
HL-4175	1,79	1,5	.7	1	.15	-	700	70	-	15	-	30	15	200	-	15	L10	L1	-	L10	-	20
HL-4122	2,83	2	-	2	-	300	700	150	150	30	100	50	20	500	-	50	L10	-	-	-	-	20
HL-4157	7,10	1,5	-	.15	300	-	100	-	100	10	100	20	-	100	10	30	L10	L1	-	-	-	20
HL-4174	7,54	1,5	.7	1,5	.15	100	700	70	150	70	-	30	15	150	10	-	L10	L1	-	L10	-	20
HL-4158	8,12	-	-	.15	200	300	100	-	10	100	20	-	70	10	10	-	L10	L1	-	L10	-	20
HL-4167	13,41	1,5	-	.2	200	500	70	200	70	L10	70	30	15	70	10	-	10	L1	-	L10	-	20
HL-4170	210,00	-	1	-	.15	-	-	100	150	10	-	20	10	70	-	-	10	L1	-	-	-	20
HL-4169	310,00	1,5	.7	1	.15	-	300	70	150	10	70	30	15	150	10	20	10	L1	-	-	-	20
HL-4171	320,00	-	-	.15	-	300	70	-	L10	70	20	10	100	7	-	L10	L1	-	-	-	-	20
HL-4169	350,00	1,5	-	.15	200	500	100	150	L10	-	30	15	150	15	10	10	L1	-	-	-	-	20
HL-4172	420,00	1,5	.7	1	.15	200	500	100	150	10	70	30	15	150	10	-	L10	L1	-	-	-	20
HL-4173	600,00	-	.7	-	.15	150	300	70	150	10	-	30	10	150	7	-	-	L1	-	-	-	20

TABLA 7. Comparación de las concentraciones de Hg con Fe, Ca, Mg, Ti, Ba, Mn, V, Sr, Cu, Zr, Ni, Co, Cr, Sc, Ga, Y, Be, Mo, Pb, Ag y La en suelos. Análisis detector para Hg, espectrográfico para los elementos restantes. Area de la mina de Hg de La Nueva Esperanza, Aranzazu, Caldas.

NOTA: No existe valor.

en suelos es visiblemente anómalo. Estas anomalías coinciden con la presencia de las grauvacas calcáreas que en este caso se encuentran cortadas por una falla.

La Figura 22 corresponde al gráfico del contenido de mercurio en suelos tomados sobre la sección geológica de la carretera a la vereda El Roblal en donde afloran las mismas rocas descritas anteriormente, más un cuerpo dolerítico que intruye la secuencia en el costado oeste. El contenido de mercurio es relativamente bajo, pero los valores más altos aparecen en suelos derivados de las filonitas o hacia el contacto de éstas con grauvacas calcáreas.

En la Figura 23 se representa el perfil geológico de los túneles 4 y 6 hasta los frentes de explotación, junto con los gráficos de la concentración de mercurio en rocas. Para no obtener valores muy elevados de mercurio no se muestrearon los filones sino los respaldos de la mineralización. La diferencia de nivel entre los dos túneles es de aproximadamente 35 m y la secuencia de rocas es la misma descrita anteriormente. Los valores de background y threshold son mayores a los encontrados en suelos o en las muestras de rocas colectadas en superficie debido a que las rocas en los túneles no tienen el mismo grado de meteorización y erosión que en superficie. En estos gráficos se confirma lo que ya se había observado en los otros cortes, o sea, que las mineralizaciones de mercurio se localizan en el contacto grauvacas calcáreas-filonitas; esto hace suponer que el nivel calcáreo sirve de roca receptora para alojar los filones de cuarzo con calcita, piritita, cinabrio y mercurio nativo en la mina de La Nueva Esperanza.

En el próximo capítulo investigaremos en forma regional donde se encuentran las anomalías y éstas presentan las mismas características y relaciones geológicas que se observan en el área de la mina de La Nueva Esperanza.

7. GEOLOGIA Y PROSPECCION GEOQUIMICA DETALLADA DEL SECTOR COMPENDIDO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ARANZAZU Y PACORA

En esta sección se estudiarán en forma detallada los principales rasgos geológicos, tectónicos y geoquímicos de una franja de 9 km de ancho por 30 de largo que comprende parte de los municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora en el departamento de Caldas (planchas 187-I-D, 187-III-B, 187-III-D, 206-I-D del IGAC). Asimismo, se comparan los resultados de los análisis químicos para Hg, As y Sb obtenidos en base a sedimentos activos y rocas con las diferentes unidades litológicas que afloran en el área.

Esta zona fue escogida como consecuencia de los resultados obtenidos de la interpretación geoquímica regional, la cual muestra un posible cinturón mineralizado con mercurio que tiene dirección norte-sur, y en el cual está incluida la mina de La Nueva Esperanza estudiada en el capítulo anterior.

7.1. GEOLOGIA

El área ha sido afectada por intenso tectonismo producido por el sistema de fallas de Romeral, que tiene una dirección predominantemente norte-sur. Este sistema de fallas ha sufrido removilizaciones, originando un gran "Melange" dentro de parte de un conjunto de rocas volcánicas intercaladas con rocas clásticas que afloran al este de la falla principal de Romeral y las cuales pertenecen a la Formación Quebradagrande de Botero, G., (1963). Los rasgos tectónicos y geológicos son posiblemente el reflejo de una antigua zona de subducción.

La mayoría de las rocas se presentan fracturadas, deformadas y dislocadas, lo cual enmascara las relaciones de campo. Para diferenciar las distintas unidades roca fue necesario, además del levantamiento cartográfico detallado, el estudio de 86 secciones delga-

das en las cuales se incluyen algunas rocas colectadas en los túneles de la mina de mercurio de La Nueva Esperanza.

Junto con la descripción petrográfica de cada una de las unidades roca se comentarán las relaciones geológicas más importantes observadas en el campo. En la Formación Quebradagrande se distingue un miembro sedimentario y otro volcánico; el miembro sedimentario lo conforman intercalaciones de materiales principalmente clásticos, mientras el miembro volcánico está compuesto por lentos y cuerpo tabulares de doleritas y andesitas.

7.1.1. ROCAS METASEDIMENTARIAS

Los metasedimentos tienen rumbo regional que varía entre N10°W y N30°E, pero predomina la dirección comprendida entre el intervalo N-S y N10°E (Fig. 24). Presentan inclinaciones mayores a 35° principalmente hacia el este y muestran fuerte foliación la cual en algunos casos enmascara la estratificación. Estas rocas están compuestas por intercalaciones de grauvacas, shales, chert y calizas pero en general predominan las grauvacas, dentro de las cuales se pueden distinguir dos grupos: grauvacas de color negro y grauvacas de color gris.

7.1.1.1. Grauvacas negras.- En el sector oeste es notoria la abundancia de bancos con espesores hasta de 2 m de grauvacas color negro, grano medio a fino, compuestas por feldespatos, cuarzo y fragmentos de roca. Estos sedimentos clásticos se presentan en forma concordante con los cuerpos de dolerita y aparentemente se depositaron en un medio acuático, posiblemente turbidítico, donde el transporte y la acumulación fueron tan rápidos que no se produjo la meteorización química completa de los materiales que la forman.

De este grupo se estudiaron 16 secciones delgadas. La roca se caracteriza por tener granos angulares a subangulares de plagioclasa y cuarzo junto con fragmentos angulares de chert, shales, caliza, grauvacas y algunas veces de diabasas, distribuidos desor-

denadamente en una matriz intersticial microcristalina compuesta principalmente por feldespatos y cuarzo y ocasionalmente arcilla.

Plagioclasa: varía entre 5 y 50%, frecuentemente se encuentra empolvada y alterada a sericita. Cuarzo: varía entre 2 y 20%, limpio, algunos granos muestran extinción ondulatoria. Fragmentos de roca: varía entre 5 y 70%; comúnmente están formados por chert, shale y ocasionalmente caliza. Matriz: varía entre 20 y 40%, algunas veces se presenta alterada a clorita y sericita. Piritas: se encuentra usualmente en cristales euhedrales pequeños en la matriz y en los fragmentos de shale.

La característica más importante de estas rocas es el bajo contenido de matriz y la abundancia de fragmentos de roca, los cuales frecuentemente superan la concentración de plagioclasa y cuarzo (Fig. 25) (Fotos HP 5550 - IGM 102512; HP 5551 - IGM 102513; HL 4254 A - IGM 100246).

Eventualmente se encuentran grauvacas negras de grano grueso con abundantes fragmentos de diabasa (Foto CB-3219-IGM 102483).

7.1.1.2. Grauvacas grises.- Hacia el este del área son más frecuentes las capas interestratificadas con espesores hasta de 3 cm de grauvacas grises de grano fino, con intercalaciones de shales grafitosos, cherts y calizas. Estos materiales fueron depositados en aguas tranquilas donde además de los procesos mecánicos intervinieron procesos químicos. Las venas de cuarzo lechoso son comunes en los planos de foliación y en las fracturas de las rocas; los cristales de piritas se encuentran tanto en las rocas como en las venas de cuarzo.

Se estudiaron 17 secciones delgadas. Esta unidad presenta granos de cuarzo y plagioclasa con algunos fragmentos de chert y ocasionalmente de diabasa y shales, distribuidos caóticamente en una matriz cuarzo-feldespática.

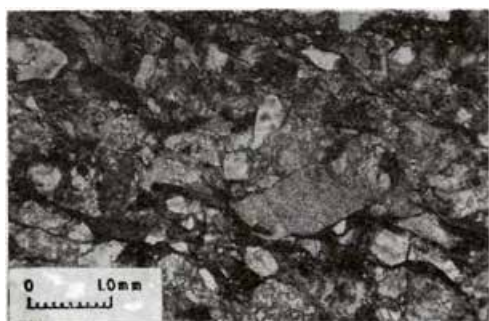
Cuarzo: varía entre 5 y 30%; granos angulares a subangulares, limpios, en algunos casos presentan extinción ondulatoria. Plagioclasa: varía entre 5 y 15%; granos angulares a subangulares parcialmente alterados a sericita. Calcita: varía entre 2 y 30%; se presenta en agregados posiblemente primarios y en forma de pequeñas venas. Fragmentos de rocas: en algunas muestras alcanzan hasta un 5% y están constituidos principalmente por cherts. Matriz: varía entre 30 y 70%; microcristalina, compuesta principalmente por feldespato y cuarzo, se encuentra comúnmente alterada a clorita y sericita. Grafito: varía entre 2 y 5%, aparece siempre asociado a la matriz. Pirita: llega hasta 3%; cristales euhedrales pequeños distribuidos en la matriz. Yeso: trazas.

La diferenciación más importante de esta unidad es la abundancia de matriz com-

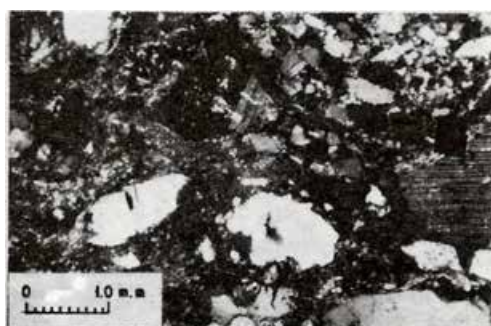
parada con los otros materiales, además, la baja concentración de fragmentos de roca, es característica la presencia de grafito y el alto contenido de granos de cuarzo comparado con plagioclasa (Fig. 26) (Foto HL 4181-IGM 100228; CB 3157-IGM 102477; HP 5355-IGM 101704; HP 5509-IGM 101714).

7.1.1.3. *Shales*.- Se presentan como capas muy delgadas interestratificadas preferencialmente con las grauvacas grises.

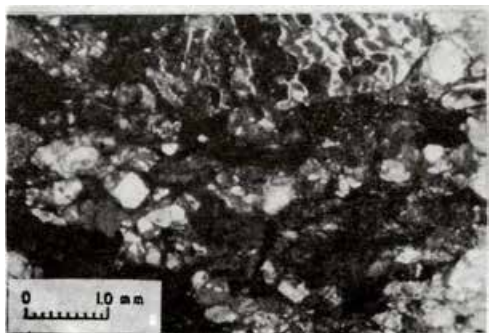
Se estudiaron 10 secciones delgadas. Estas rocas presentan concentraciones no mayores de 10% de cuarzo y plagioclasa en forma de granos pequeños embebidos erráticamente en una matriz compuesta esencialmente por arcilla y grafito con cantidades variables de calcita. Como minerales accesorios se encuentran cristales de pirita. La matriz comúnmente está alterada a clorita y sericita.



IGM - 102512



IGM - 102513



IGM - 100246



IGM - 102483

FIGURA 25: Fotografías de secciones delgadas de metasedimentos. Grauvacas negras; caracterizado por el bajo contenido de matriz y abundancia en fragmentos de roca. Muestras (HP 5550 - IGM 102512) (HP 5551 - IGM 102513) (HL 4254A - IGM 100246) (CB 3219 - IGM 102483).

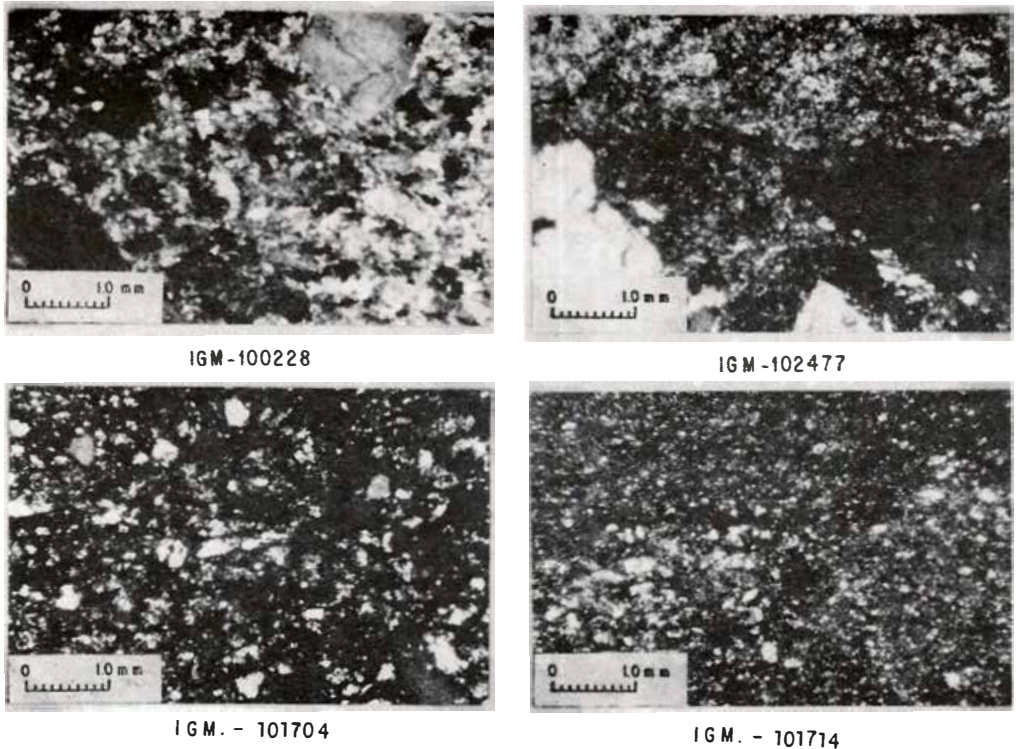


FIGURA 26: Fotografías de secciones delgadas de metasedimentos. Grauvacas grises; caracterizadas por abundancia de matriz, bajo contenido de fragmentos de roca y presencia de grafito. Muestras (HL 4181 - IGM 100228) (CB 3157 - IGM 102477) (HP 5355 - IGM 101704) (HP 5509 - IGM 101714).

En algunas muestras se observa sobre la estratificación original, una foliación producida por metamorfismo dinámico (Fig. 27) (Foto CB 3138-IGM 102471; HL 4138-IGM 100214).

Dentro de las rocas metasedimentarias y en las cercanías a la Falla de Aranzazu se han encontrado rocas cataclásticas con abundantes espejos de falla en varias direcciones, las cuales han sido clasificadas como filonitas (Fig. 27) (Foto CB 3170-IGM 102479).

7.1.2. ROCAS IGNEAS

7.1.2.1. Doleritas. Las doleritas se presentan como cuerpos lenticulares masivos de color verde oscuro, elongadas en dirección norte sur y concordantes con los metasedimentos. El cuerpo dolerítico de mayores dimensiones aflora hacia el oeste (Fig. 24) y

tiene 19 km de largo por 4 de ancho. Hacia el este estos lentes disminuyen en cantidad y en tamaño, donde se observan espesores de solamente 1 m. El tamaño del grano es también variable; medio en los lentes grandes y fino en los lentes pequeños.

Se estudiaron 6 secciones delgadas. Estas rocas muestran matriz holocristalina y textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa y piroxeno.

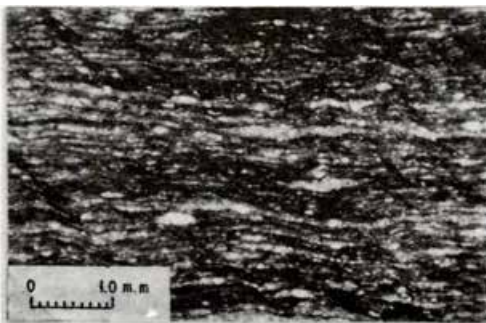
Plagioclasa (An 40): varía entre 30 y 40%; cristales maclados euhedrales y laths erráticamente distribuidos y parcialmente alterados a clorita, sericita y epidotas. Piroxeno (Augita): varía entre 2 y 5%; cristales euhedrales relativamente frescos y frecuentemente maclados. algunos muestran textura ofítica incipiente. Cuarzo: traza; cristales corroídos y limpios. Matriz: varía entre 40 y 70%; seriada, compuesta por



IGM-102471



IGM-100214



IGM-102479

FIGURA 27: Fotografías de secciones delgadas de metasedimentos. Shales; en algunas muestras se observa foliación desarrollada sobre estratificación original. Muestras (CB 3138 - IGM 102471) (HL 4138 - IGM 100214). Filonitas: rocas calcáreas con abundantes espejos de falla (CB 3170 - IGM 102479).

feldespato y cuarzo, se presenta parcialmente alterada a clorita. En algunas muestras se observan bordes vítreos con marcada tendencia a la devitrificación, son comunes en estos sectores los agregados aciculares orientados al azar y las vesículas rellenas con calcitas y zeolita, (Fig. 28) (Foto HL 4213-IGM 100238; HL 4155-IGM 100227; CB 3152-IGM 102475).

7.1.2.2. Andesitas.- Las andesitas tienen color verde claro, textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa y hornblenda, y se presentan como cuerpos tabulares emplazados en forma intrusiva a través de una zona de brecha de falla que está localizada al este y tiene dirección norte sur. Estos cuerpos andesíticos cortan los metasedimentos y en algunos sectores también a los lentes de doleritas. La zona de brecha y los lineamientos correspondientes son paralelos a la Falla de Romeral y están relacionados a la Falla de Aranzazu, la cual, en algunos sitios, se encuentra dislocada debido a fallas pequeñas más recientes que tienen dirección este-oeste.

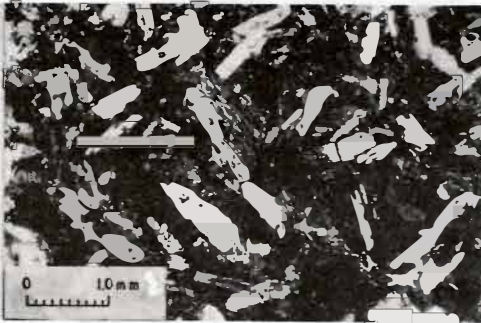
Los afloramientos más espectaculares en donde se observa el carácter intrusivo de las andesitas a través de las brechas, están localizados a 3 km al noroeste de Aranzazu en la quebrada Chupaderos que corre en dirección oeste. En este sitio, los fragmentos angulares que contienen la brecha están compuestos principalmente por rocas sedimentarias y se encuentran embebidos dentro del cuerpo andesítico por espacio de unos 50 m; es notoria la disminución del tamaño de los fragmentos a partir del contacto con los metasedimentos. En general las andesitas se presentan epidotizadas en las proximidades con la roca encajante.

El emplazamiento del cuerpo andesítico se produjo claramente en una etapa posterior a la secuencia dolerita-sedimentos clásticos, pero posiblemente dentro de los mismos procesos geológicos característicos de la formación de una zona de subducción.

Se estudiaron 16 secciones delgadas descendentes: esta roca presenta textura holocristalina porfirítica seriada con fenocrista-



IGM-100238



IGM-100227



IGM-102475

FIGURA 28: Fotografías de secciones delgadas de rocas ígneas. Doleritas. Algunas muestran bordes vítreos devitrificados con agregados aciculares y vesículas rellenas con calcita y zeolita. Muestras (HL 4213 - IGM 100238) (HL 4155 - IGM 100227) (CB 3152 - IGM 102475).

e plagioclasa, hornblenda y piroxeno bidos en una matriz cuarzo-feldespática. Plagioclasa: varía entre 10 y 40%; se presenta en forma de cristales euhedrales a subhedrales; algunas veces zonados y maclados pero en general completamente alterados a sericita, calcita y epidota. Es característico en esta unidad la presencia de una mancha parda en la casi totalidad de los cristales de plagioclasa producida aparentemente por sauserización. Hornblenda: varía entre 3 y 15%; son cristales euhedrales a subhedrales de color verde oliva a pardo claro, generalmente frescos. Algunos cristales presentan alteración incipiente a clorita y calcita; eventualmente se observan agregados de cuarzo en forma de textura poikilitica en hornblenda. Piroxeno (Augita y Pigeonita): la concentración es muy irregular, ocasionalmente alcanza el 7% pero comúnmente no sobrepasa el 2%; son cristales pequeños subhedrales parcialmente alterados a clorita. Cuarzo: contenido menor del 2%; agregados irregulares fino-granulares, limpios. Matriz: varía entre 40 y 80%; microcristalina feldespática se encuentra frecuentemente alterada a sericita. Se observan también trazas de magnetita, óxidos de hierro, apatito, pirita y esfena. Frecuentemente se encuentran fragmentos de chert, grauvacas y shales embebidos en las andesitas principalmente cerca al contacto con los metasedimentos (Fig. 29) (Foto HP 5398-IGM 101707; HL 5436-IGM 100241; HL 4209-IGM 100237; HP 5577-IGM 102517).

La totalidad de las rocas de la Formación Quebradagrande que afloran en esta área se presentan deformadas y en gran parte recrystalizadas debido a efectos dinámicos.

7.1.3. FOSILES (?)

En la Formación Quebradagrande se han encontrado yacimientos fosilíferos clasificados por Botero, G. (1974) y González, H. (1976) como pertenecientes a fauna del Cretáceo. Durante el estudio de las secciones delgadas para este proyecto se han observado algunas formas microscópicas ovaladas y algo deformadas y de aparente composición silí-

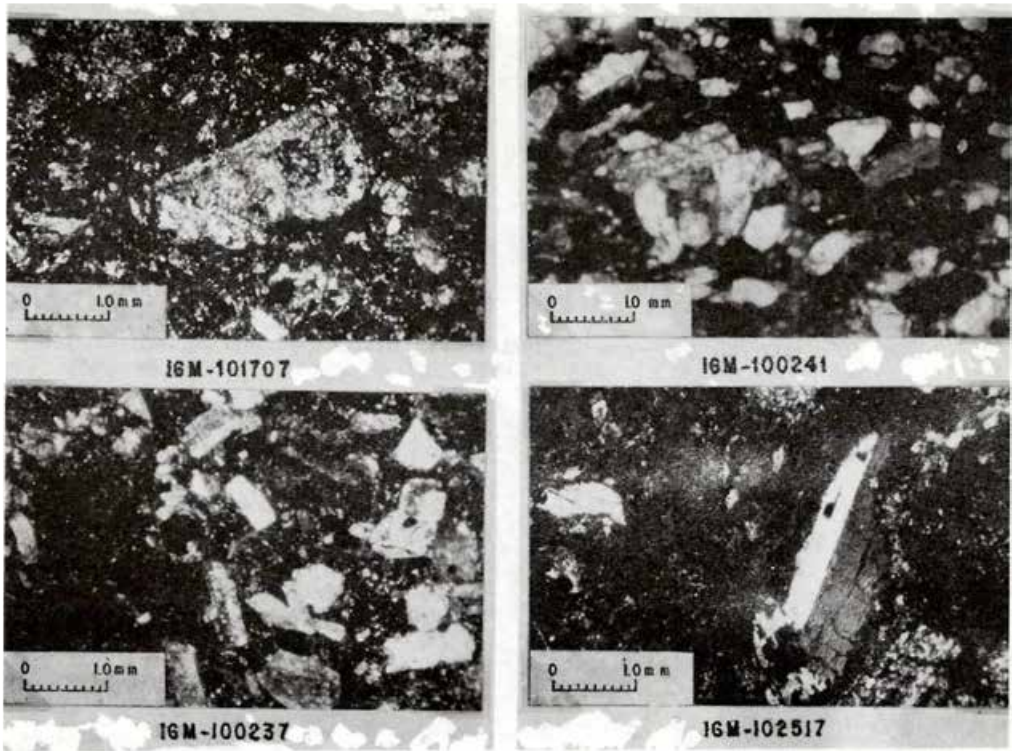


FIG. 29. Fotografías de secciones delgadas de rocas ígneas. Andesitas. En algunos sectores se observan fragmentos de chert, grauwacas y shales embebidos en andesita principalmente cerca al contacto con los metasedimentos. (HP 5398 - IGM 101707) (HL 5436 - IGM - 100237) (HP 5577 - IGM 102517).

cea que podrían corresponder a fósiles. Estas formas ovaladas se encuentran en fragmentos de shales pertenecientes a grauwacas como en la Figura 30 (Foto HP 5551-IGM 102513) y en algunos jirones cloritizados de roca encajante embebidos en diabasas y modificados por reemplazamientos de clorita y epidota (HL 4213 - IGM 100238). En esta investigación no se han realizado estudios tendientes a la clasificación de estas formas, solamente nos limitamos a reportar su hallazgo para que los interesados profundicen en su determinación y datación.

7.1.4. SISTEMAS DE FRACTURAS

En el área estudiada se han observado tres sistemas de fracturas, diferentes en intensidad y en dimensión (Fig. 31).

Sistema 1:

Tiene dirección que varía entre N-S y N15°E. Es la dirección de fracturamiento predominante en el área, muestra fracturas relativamente continuas y largas, que en la mayoría de los casos coinciden con la foliación regional de las rocas.

Sistema 2:

Tiene dirección aproximada E-W. Son fracturas largas espaciadas y ligeramente continuas.

Sistema 3:

La dirección varía entre N20°W y N40°W. Son fracturas cortas intermitentes,

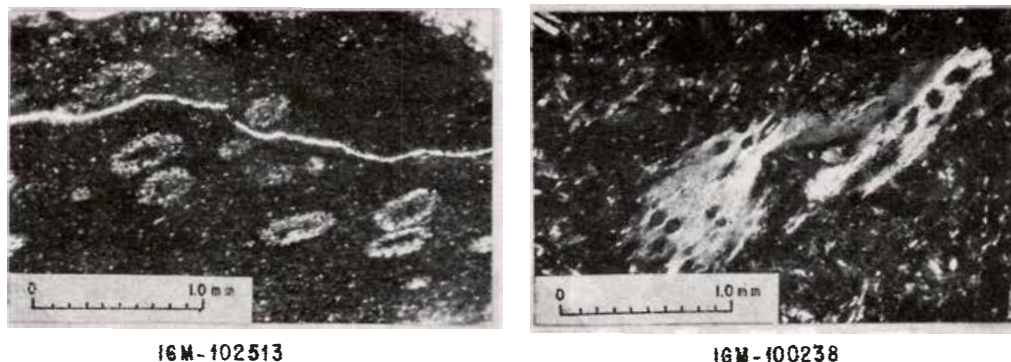


FIGURA 30: Fotografías de secciones delgadas. Formas ovaladas que parecen fósiles en fragmentos de shales (HP 5551 - IGM 102513) y jirones cloritizados embebidos en diabasas (HL 4213 - IGM 100238).

espaciadas regularmente y que cortan en forma parcial los sistemas 1 y 2. Aparentemente es el último ciclo importante de fracturamiento aunque posiblemente se presenta una removilización reciente del sistema número 1.

7.1.5. SISTEMAS DE FALLAS

En el área se encuentran tres sistemas de fallas que se relacionan bastante bien con los sistemas de fracturas descritos anteriormente. Debido a sus mutuos desplazamientos es posible ordenar cronológicamente estas fallas en la siguiente forma (Fig. 31).

- a) La Falla de Aranzazu: Es posiblemente la más antigua y al mismo tiempo la más grande en magnitud y en brechamiento, tiene dirección N-S. Aparentemente por esta zona de debilidad se emplazó el cuerpo de andesita. Es importante anotar que esta falla tiene la misma dirección de la Falla de Romeral localizada al oeste y es posiblemente contemporánea con ella, formando un mismo sistema tectónico.
- b) Fallas con dirección E-W que cortan la Falla de Aranzazu y desplazan la serie de sedimentos y rocas ígneas.
- c) Las fallas más recientes tienen dirección N-NW y aparentemente son las que tienen menor intensidad. Este sistema desplaza ligeramente dos sistemas anteriores.

Todo este conjunto de fracturas y fallas pertenecen aparentemente a un mismo sistema tectónico que fue la consecuencia de la formación de una zona de subducción. Por esta razón, aunque se puedan diferenciar las fallas de más antiguas a más nuevas, se debe tomar como un solo proceso tectónico bajo el nombre de zona de Falla de Romeral.

7.2. PROSPECCION GEOQUIMICA DETALLADA

Conjuntamente con el estudio geológico detallado del sector comprendido entre los municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora que tiene una extensión de 270 km², se llevó a cabo un programa de prospección geoquímica en base a 638 muestras de sedimentos activos y 210 muestras de roca con el propósito de definir la existencia del cinturón mercurífero, observar las relaciones de las anomalías con los diferentes tipos de roca y escoger las posibles áreas con mejores ventajas para estudios de exploración subterránea ya sea por medio de túneles o perforaciones.

Como los principales yacimientos de mercurio en el mundo tienen concentraciones importantes de elementos tales como As y Sb que constituyen subproductos en la explotación, en esta etapa de la investigación se estudiaron también estas posibles relaciones. Además, con el fin de establecer el tipo de muestra y el tamaño de malla más aconsejable para la prospección se realizó un estudio de orientación geoquímica, en base de rocas, sedimentos activos finos y concentrados en

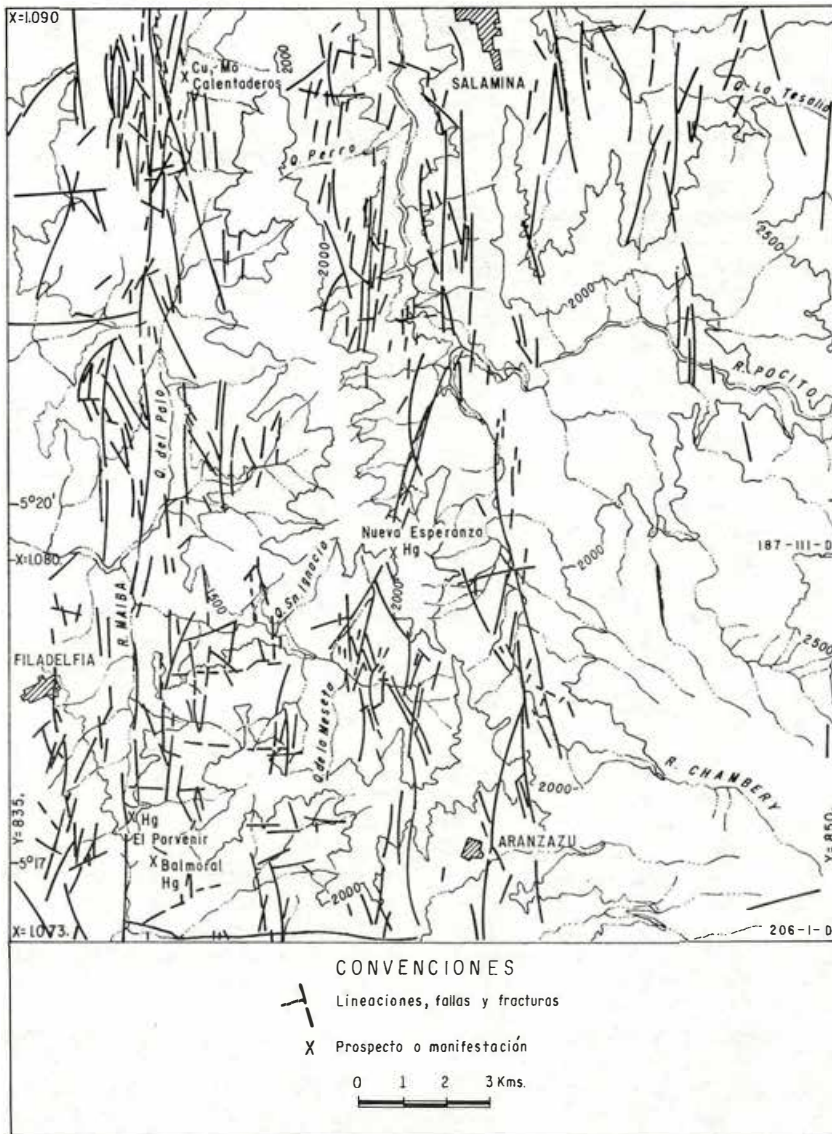


FIGURA 31: Mapa de fracturas. Tomado de mapa fotogeológico de la región Aranzazu, Salamina, departamento de Caldas. Elaborado por Geocolombia (1969) para Compañía Minera Nueva Esperanza S.A.

batea. Estas muestras se pasaron por mallas No. 16, 30, 50 y 80, y las fracciones correspondientes se analizaron para Hg, Sb y As (Anexo No. 1).

Como resultados de este estudio se escogieron las rocas y sedimentos activos fracción fina como las muestras más aconsejables para prospección geoquímica detallada

y la malla 80 como la más apropiada para realizar los diferentes análisis.

Las muestras de roca y sedimentos activos fueron analizadas por el detector para Hg y por colorimetría As y Sb en el laboratorio de INGEOMINAS por los químicos A. Vargas, A. Espinosa y A. Díaz.

7.2.1. PROSPECCION GEOQUIMICA CON SEDIMENTOS ACTIVOS FINOS

En los 270 km² se colectaron 613 muestras de sedimentos activos finos lo cual representa 2,3 muestras por km². En las Figuras 32, 33 y 34 están representados los gráficos y los histogramas de donde se obtuvieron los valores de threshold y background por los métodos de Lepeltier, C. (1967) y Lozano, H., Pérez, H. (1977). Los resultados de estos cálculos estadísticos fueron para Hg (Br = 0.2 ppm, Th = 0.4 ppm) para Sb (Br = 2 ppm, Th = 5 ppm) y para As (Br = 10 ppm, Th = 50 ppm).

Como se observa en la Figura 35 el contenido de Hg en sedimentos activos varía entre 0,10 ppm (límite de detección del aparato) y 1 ppm. De las 613 muestras, solamente 11 excedieron la concentración de 1 ppm con valores hasta de 3.30 ppm; pero estas últimas no se tuvieron en cuenta para los cálculos estadísticos. Aproximadamente en 100 muestras de sedimentos activos se obtuvieron valores anómalos para Hg superiores a Th = 0.41 ppm, lo que corresponde al 16.5%.

Como se observa en el mapa las anomalías están agrupadas en cauces muy bien definidos localizados en forma de franja o cinturón anómalo que tiene una dirección aproximadamente norte-sur cerrado hacia el extremo sur, pero abierto en el extremo norte, donde se deben realizar nuevas investigaciones con el fin de definir la magnitud de este cinturón.

Los drenajes en la parte sur bordean la mina de La Nueva Esperanza y sus posibles proyecciones, hacia el norte los valores altos en Hg se localizan en drenajes situados en el costado oriental del río Pocito, atraviesan la población de Salamina y cubren los nacimientos de la quebrada La Soledad en el extremo norte. En esta forma el cinturón anómalo para Hg reflejado por sedimentos activos tiene 25 km de largo y 2 km de ancho.

A continuación compararemos los resultados de las concentraciones de Sb y As con los de Hg en sedimentos activos. La Figura 36 muestra el contenido de Sb en sedimentos activos. Como se puede apreciar los valores anómalos no son muy constantes y no siguen las concentraciones altas de Hg, sino que aparentemente se excluyen puesto

que los valores altos de Sb están agrupados en los drenajes situados en la margen izquierda del río Pocito, coincidiendo únicamente en los cauces cercanos a la confluencia de los ríos Pocito y San Lorenzo. Por consiguiente, el Sb aparentemente no está genéticamente relacionado con las posible mineralización de Hg.

Igualmente, las concentraciones de As, se presentan en forma completamente errática dentro de los diferentes drenajes (Fig. 37). Los valores altos no son continuos en los cauces sino que están intercalados con valores bajos. En forma regional no tiene tendencia a relacionarse con las anomalías de Hg y Sb excepto en la zona de confluencia de los ríos Pocito y San Lorenzo. Por esta razón, se considera, que As tampoco está relacionado con las mineralizaciones de Hg.

La Figura 38 muestra en forma individual cada uno de los drenajes anómalos para Hg, Sb y As y se puede observar con más claridad la poca relación existente entre estos elementos.

Vamos seguidamente a estudiar cuales factores estructurales y litológicos pueden haber intervenido en las acumulaciones anómalas de Hg. Con este objetivo se comparan los rasgos estructurales y litológicos con los drenajes anómalos (Fig. 39).

Como se observa, las anomalías de Hg no están asociadas a las diabasas, tampoco al cuerpo de andesitas, pero en cambio están localizadas principalmente dentro de los metasedimentos y esencialmente en el borde oriental, cerca o en el contacto de estos materiales con las andesitas. En conclusión, la litología representa un factor importante en la acumulación de Hg, puesto que las anomalías están situadas esencialmente en las grauvacas grises. Por otra parte, es importante tener en cuenta que aunque existan varias fracturas y fallas, el mercurio muestra preferencial tendencia a situarse en remanentes dislocados de una falla con dirección nortesur, paralela a la falla principal de Romeral que puede haber servido de conducto en la acumulación de este elemento. Este rasgo tectónico lo llamaremos Falla de Aranzazu.

Finalmente es necesario determinar si existe dentro de las metagrauvacas grises algún estrato que en forma preferencial sirva

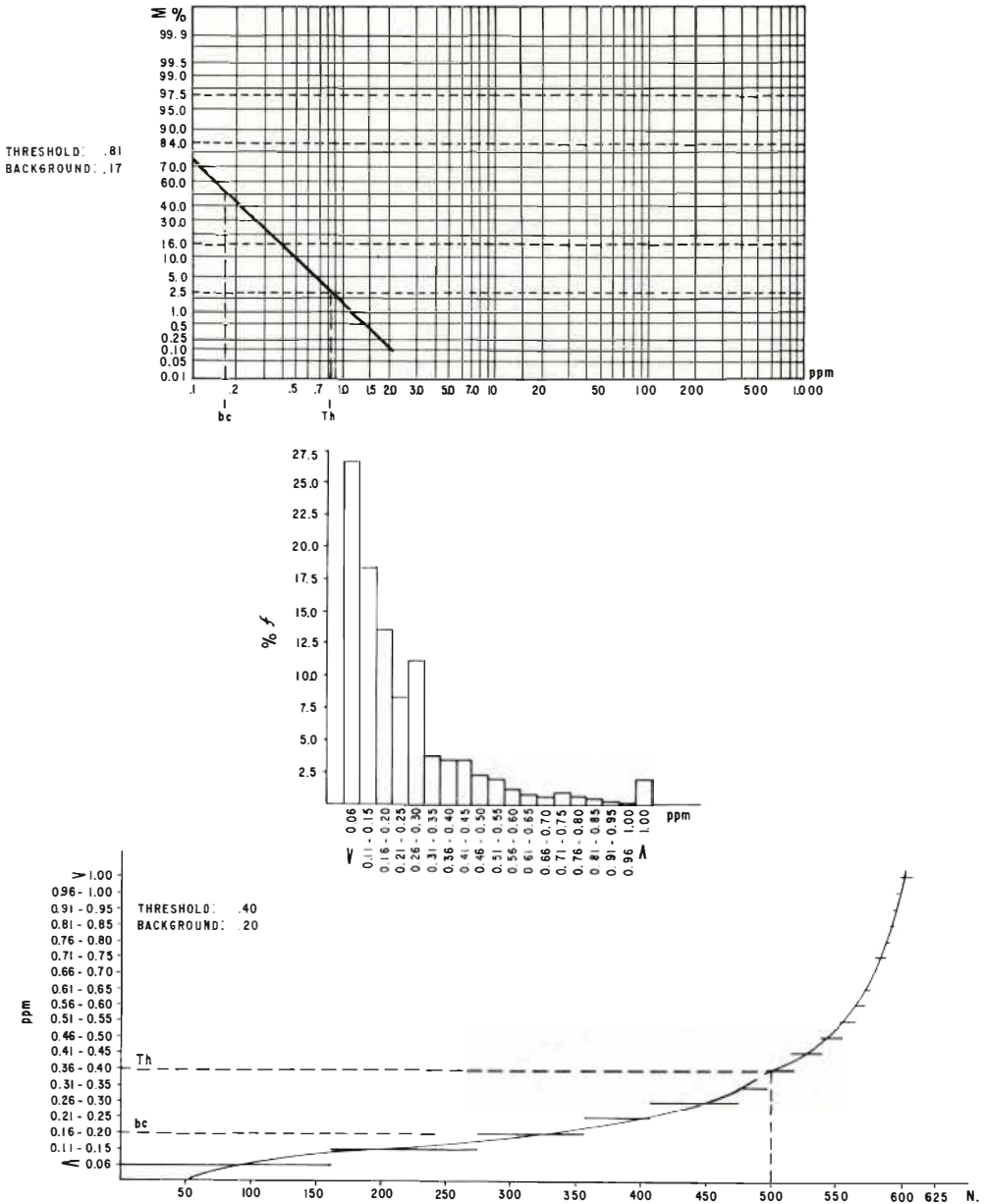


FIGURA 32: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Mercurio. Análisis por detector. Finos seleccionados. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

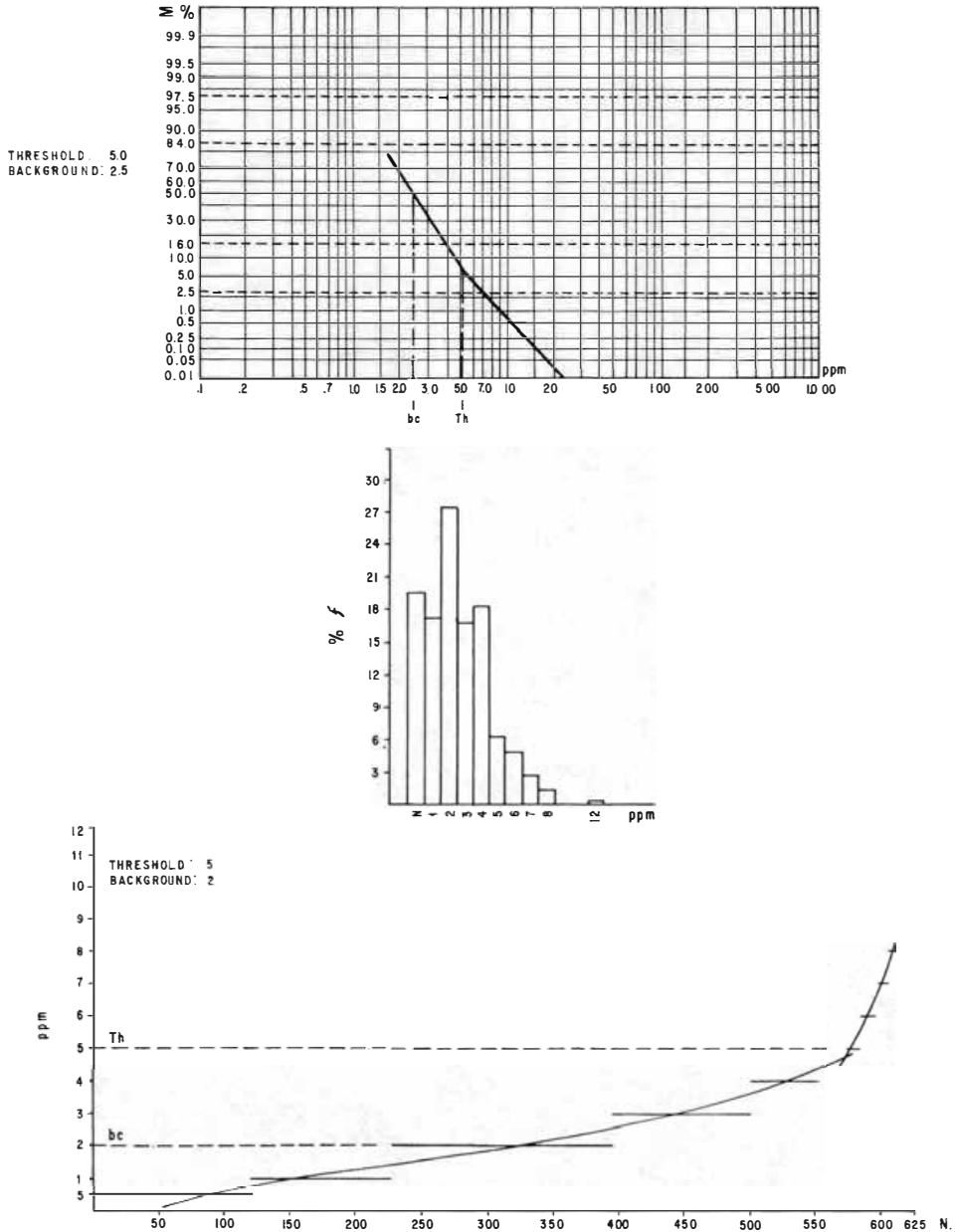


FIGURA 33: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Antimonio. Análisis colorimétrico. Finos seleccionados. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

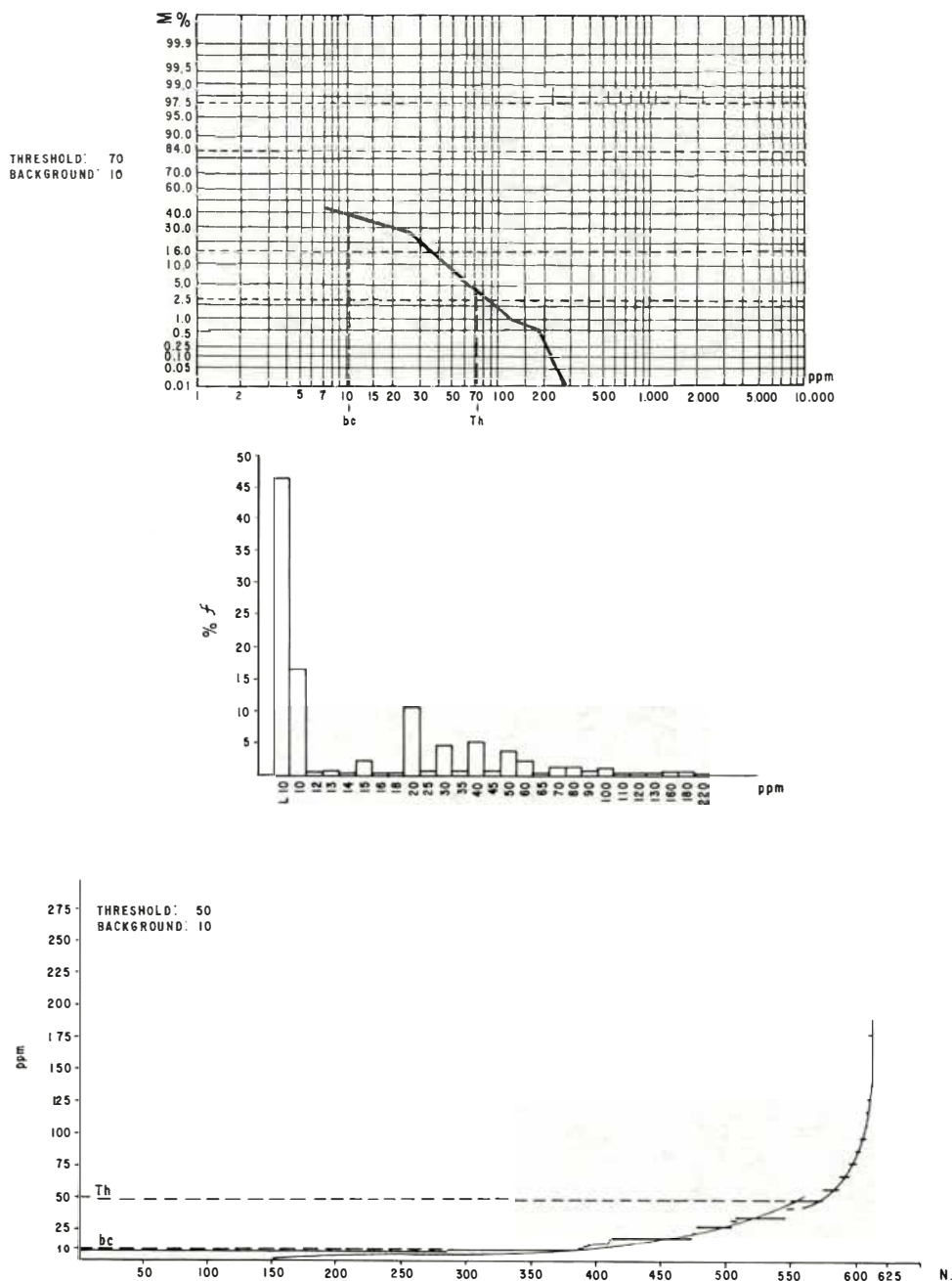


FIGURA 34: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Arsénico. Análisis colorimétrico. Finos seleccionados. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

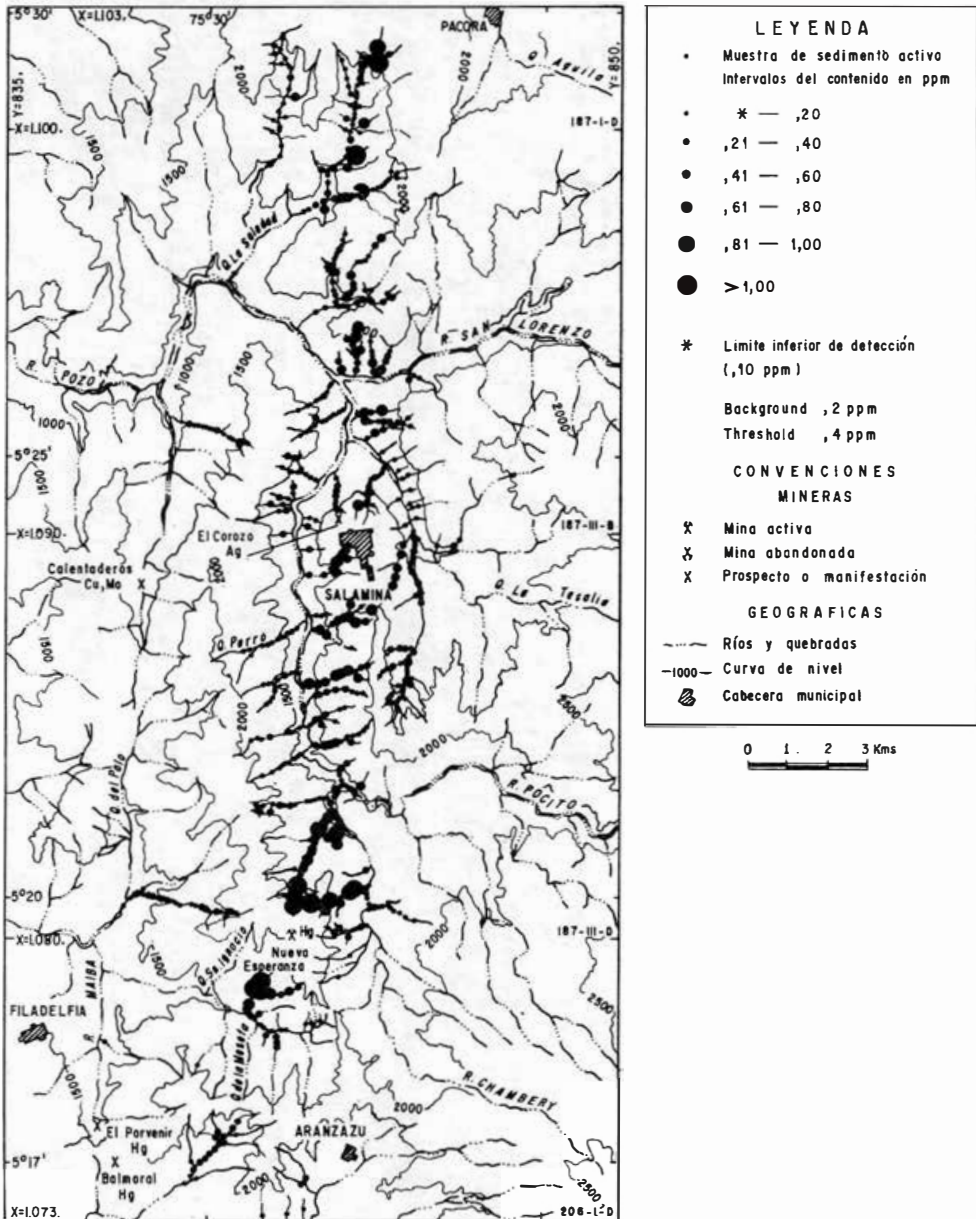


FIGURA 35: Contenido de mercurio. Sedimentos activos, fracción fina. Detector para Hg, mala -80. Prospección geoquímica detallada.

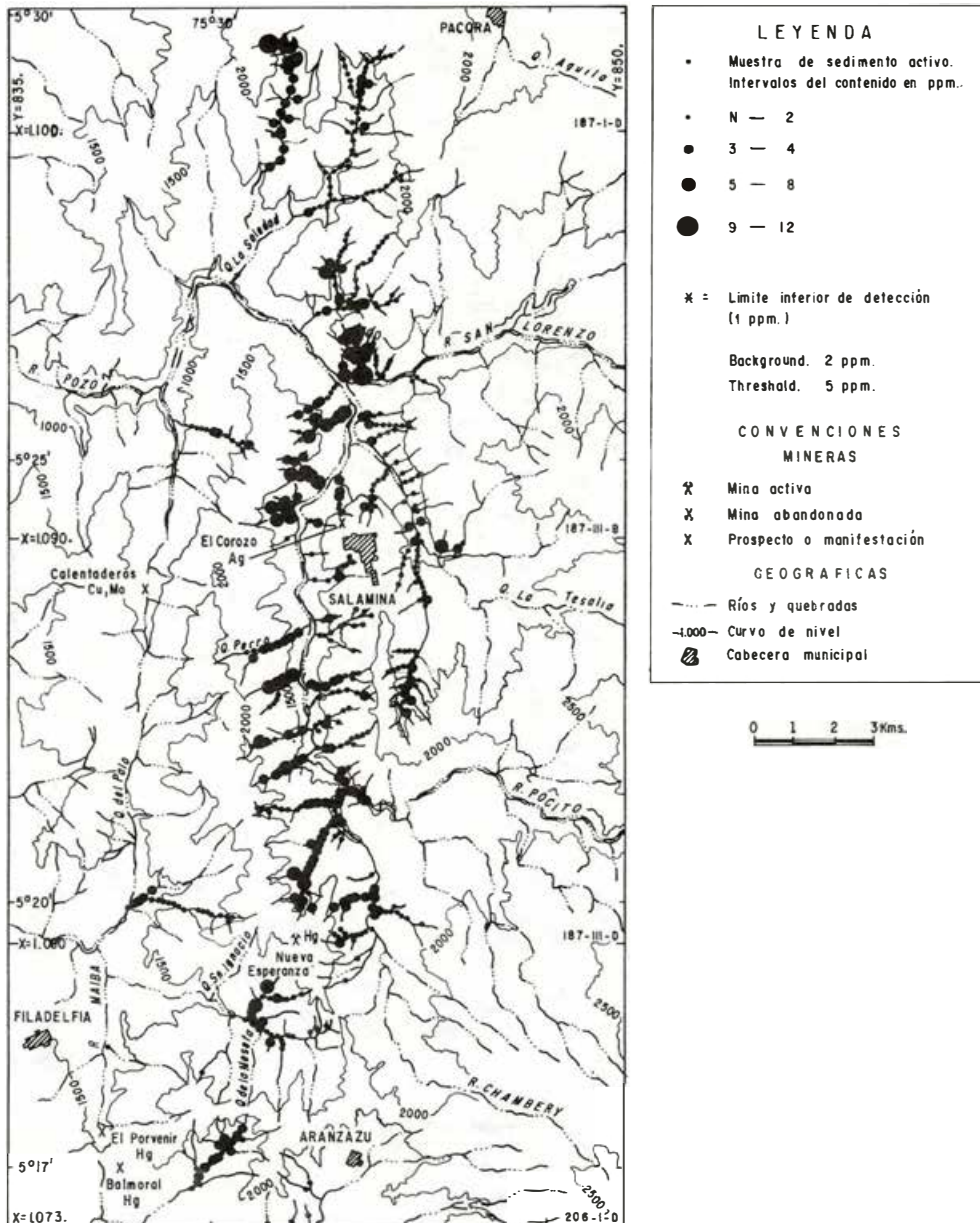


FIGURA 36: Contenido de antimonio. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis colorimétrico, malla -80. Prospección geoquímica detallada.

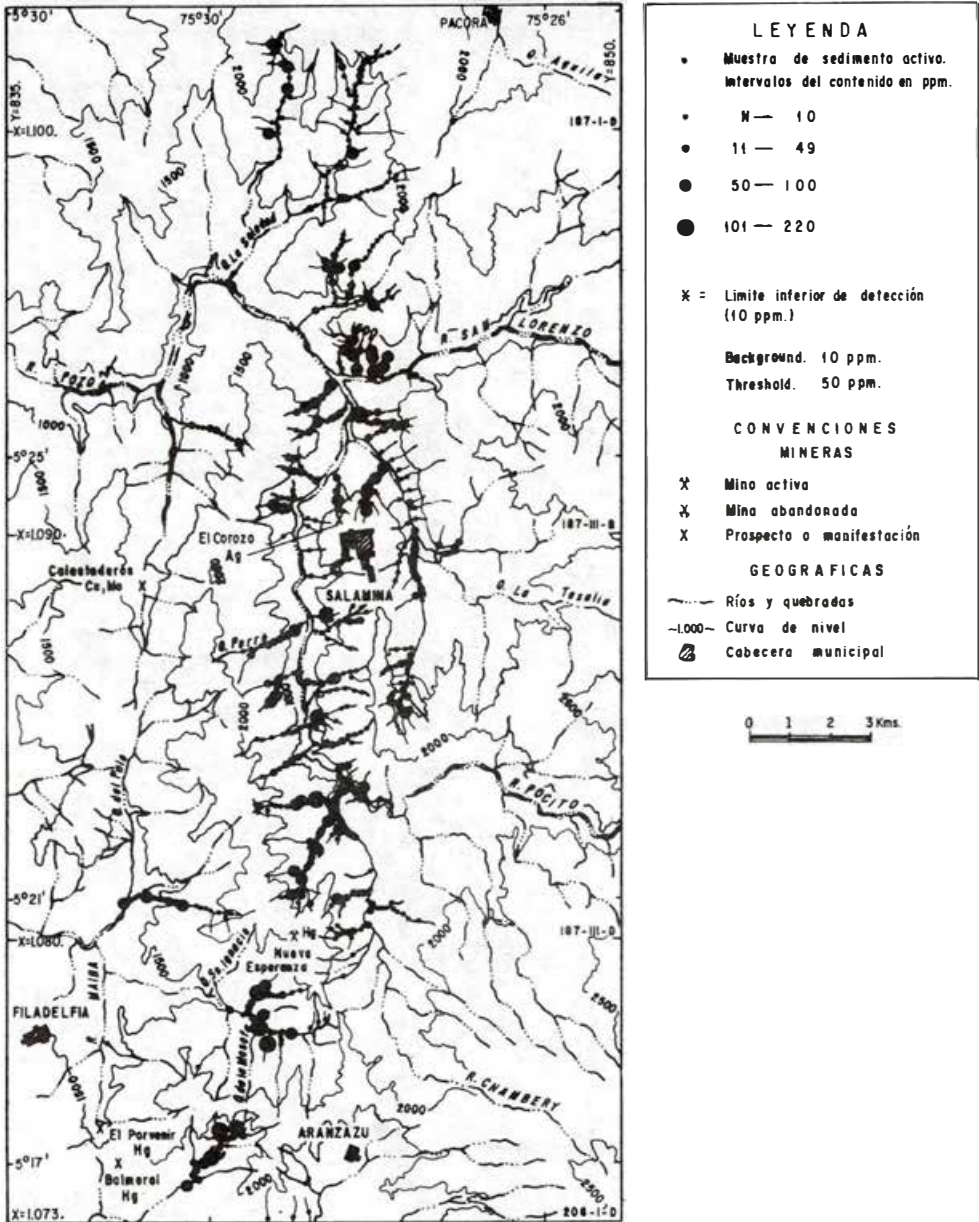


FIGURA 37: Contenido de arsénico. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis colorimétrico, malla -80. Prospección geoquímica detallada.

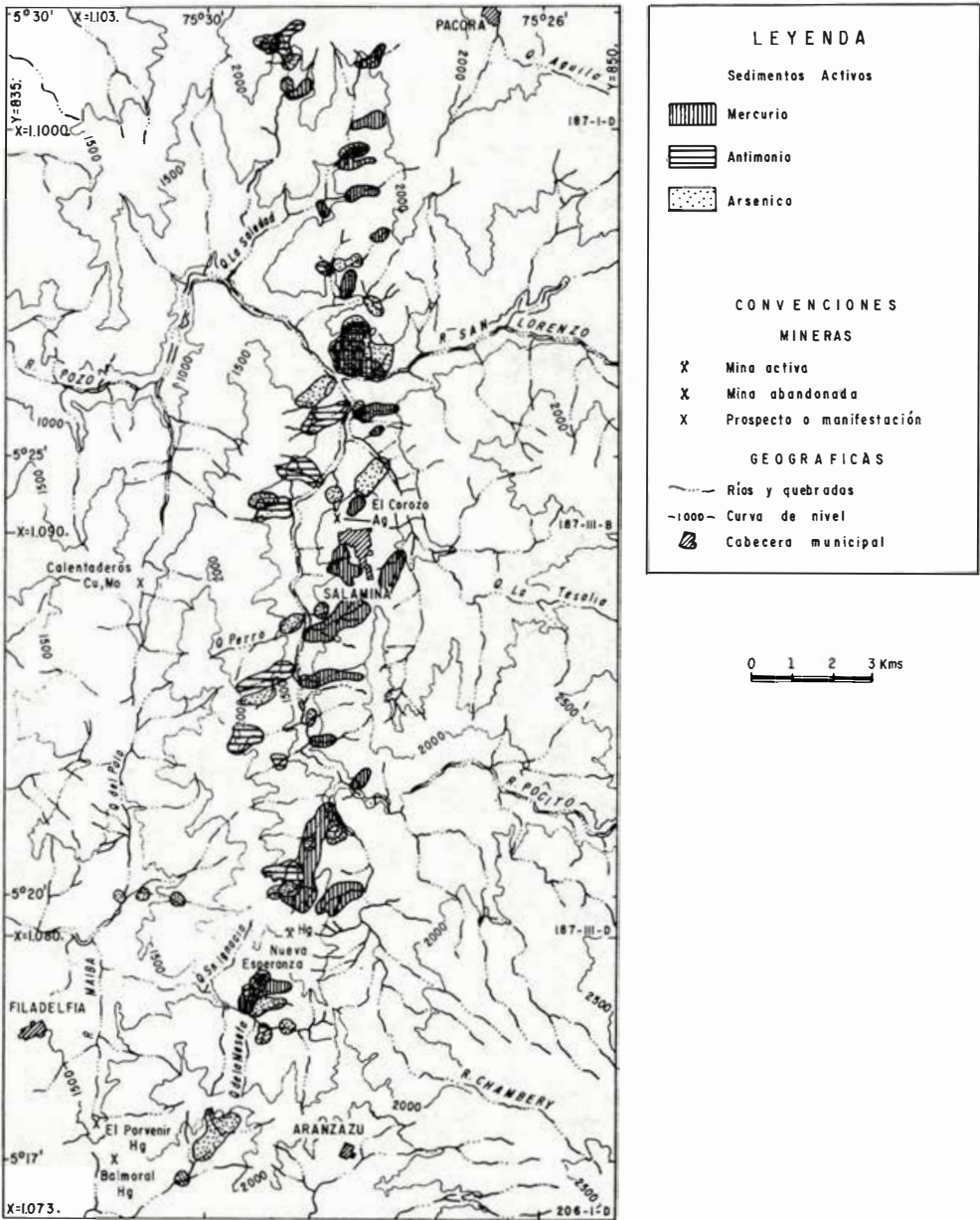


FIGURA 38: Anomalías de Hg, As y Sb. Sedimentos activos, fracción fina. Prospección geoquímica detallada.

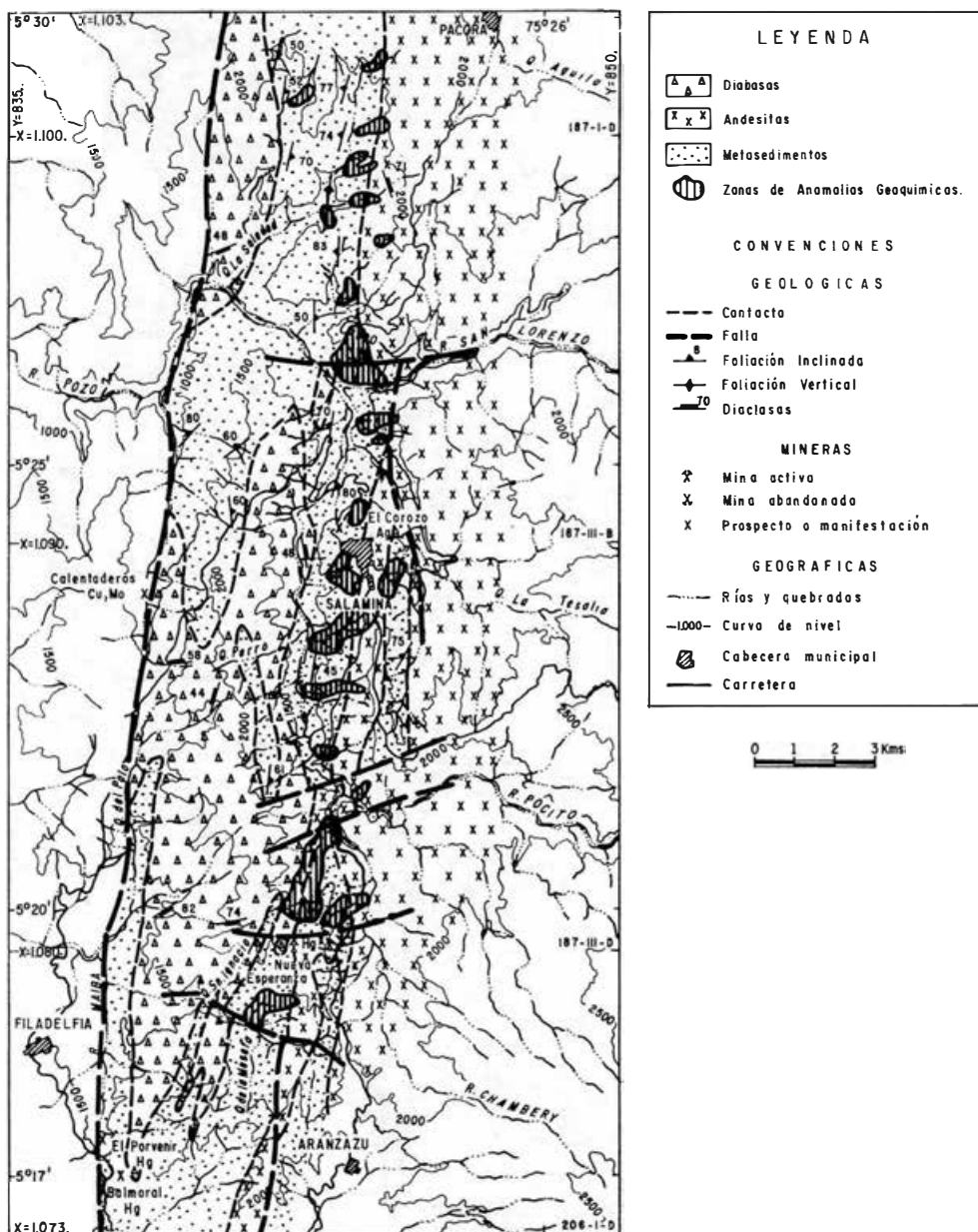


FIGURA 39: Mapa geológico detallado con anomalías de mercurio.

de captador del Hg, además, pretendemos aclarar qué intervención tuvo el cuerpo andesítico en la mineralización y si este se intruyó con anterioridad o con posterioridad a la formación de la Falla de Aranzazu. Estos factores se discutirán en la siguiente sección.

7.2.2. GEOQUIMICA DE ROCAS

Para definir las relaciones anteriormente mencionadas se colectaron 210 muestras de rocas las cuales se analizaron también para Hg, As y Sb. Con estos datos se construyeron mapas donde se localizaron los sitios de muestreo con sus respectivas concentraciones, además, se escogieron 4 secciones o cortes geológicos para compararlas con las concentraciones de Hg, As y Sb.

A manera de información suministramos en las Figuras 40, 41 y 42 los gráficos de donde se obtuvieron los valores de threshold y de background para estos tres elementos en rocas. Asimismo, en las figuras 43, 44 y 45 se representa los mapas de concentración en rocas para cada uno de los elementos mencionados.

Las relaciones encontradas comparando las concentraciones de Hg, As y Sb fueron como en el caso de los sedimentos activos, muy erráticas, solamente comentaremos que el contenido de Hg (Fig. 43) corresponde bastante bien con los sitios anómalos encontrados con sedimentos activos, con la particularidad de que algunas muestras colectadas en cuerpos de dolerita presentan valores anómalos.

La parte que a nuestro juicio se debe analizar con detenimiento son los resultados obtenidos de comparar las concentraciones de Hg, As y Sb en las muestras colectadas en las diferentes secciones geológicas que se presentan en la Figura 46. Estos cortes se realizaron aprovechando los cauces de algunas quebradas preferencialmente en dirección este-oeste para en esta forma apreciar más claramente las relaciones de los rasgos geológicos con la zona anómala.

En las figuras 47 y 48 están representados los diferentes cortes geológicos que de sur a norte son los siguientes:

7.2.2.1. *Corte 1.-* De este a oeste está conformado por el afluente oeste del río Chamberf donde afloran únicamente andesi-

tas. Como podemos apreciar en esta roca el contenido de Hg (línea de trazo continuo) es muy bajo; luego en las metagrauvas grises de la quebrada El Caballo, el contenido de Hg aumenta pero baja nuevamente cuando encuentra el cuerpo de doleritas que está presente en la quebrada Santa Ana. Los contenidos de Sb (línea de trazos) y As (línea de puntos) son muy erráticos y no coinciden con los valores altos o bajos de Hg. Esta característica es general en todos los cortes y en las relaciones que observamos tanto en rocas como en sedimentos activos. Por esta razón, estos dos elementos serán poco comentados en lo sucesivo y nos concentraremos a estudiar las variaciones de Hg.

En conclusión, en este corte, el contenido de Hg aumenta en los metasedimentos principalmente en las grauvas grises y es bajo en las doleritas y andesitas, pero más acentuado en esta última unidad.

7.2.2.2. *Corte 2.-* Quebrada La Amoladora, dirección noreste. El contenido de Hg es irregular en las metagrauvas grises, pero definitivamente anómalo cerca al contacto con las metagrauvas negras donde afloran rocas calcáreas. Luego hacia al sureste disminuye donde está presente el cuerpo de dolerita. Es de destacar en este corte, el hecho de que la anomalía de Hg se concentra en las rocas calcáreas localizadas en el contacto entre metagrauvas negras y grises, pues aparentemente estas capas sirven de trampa estratigráfica para la mineralización de Hg. También es importante aclarar que las trazas de la Falla de Aranzazu que ponen en contacto andesitas con metasedimentos no tiene ninguna influencia en la concentración de Hg.

7.2.2.3. *Corte 3.-* Dirección este-oeste siguiendo el cauce de un afluente de la quebrada Nudillales. El contenido de Hg en andesitas es bastante bajo pero en los metasedimentos aumenta notablemente en las rocas calcáreas. Además, se aprecia nuevamente como el trazo de Falla de Aranzazu localizado entre las andesitas y los metasedimentos aparentemente no tiene intervención directa en la mineralización. Hacia el oeste en las quebradas del Sacatín y El Perro el contenido de Hg disminuye en las grauvas negras y doleritas.

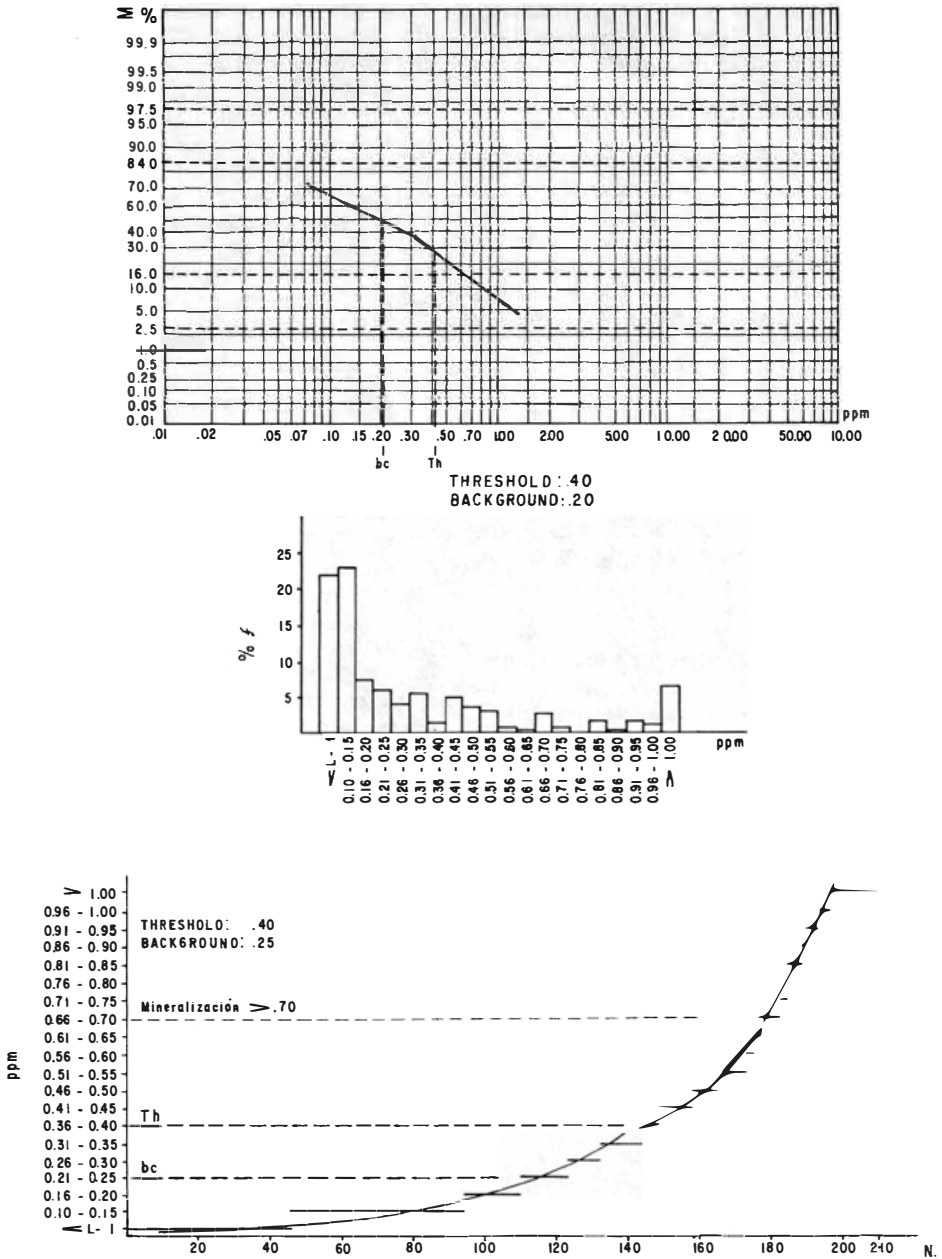


FIGURA 40: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Mercurio. Análisis por detector rocas. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

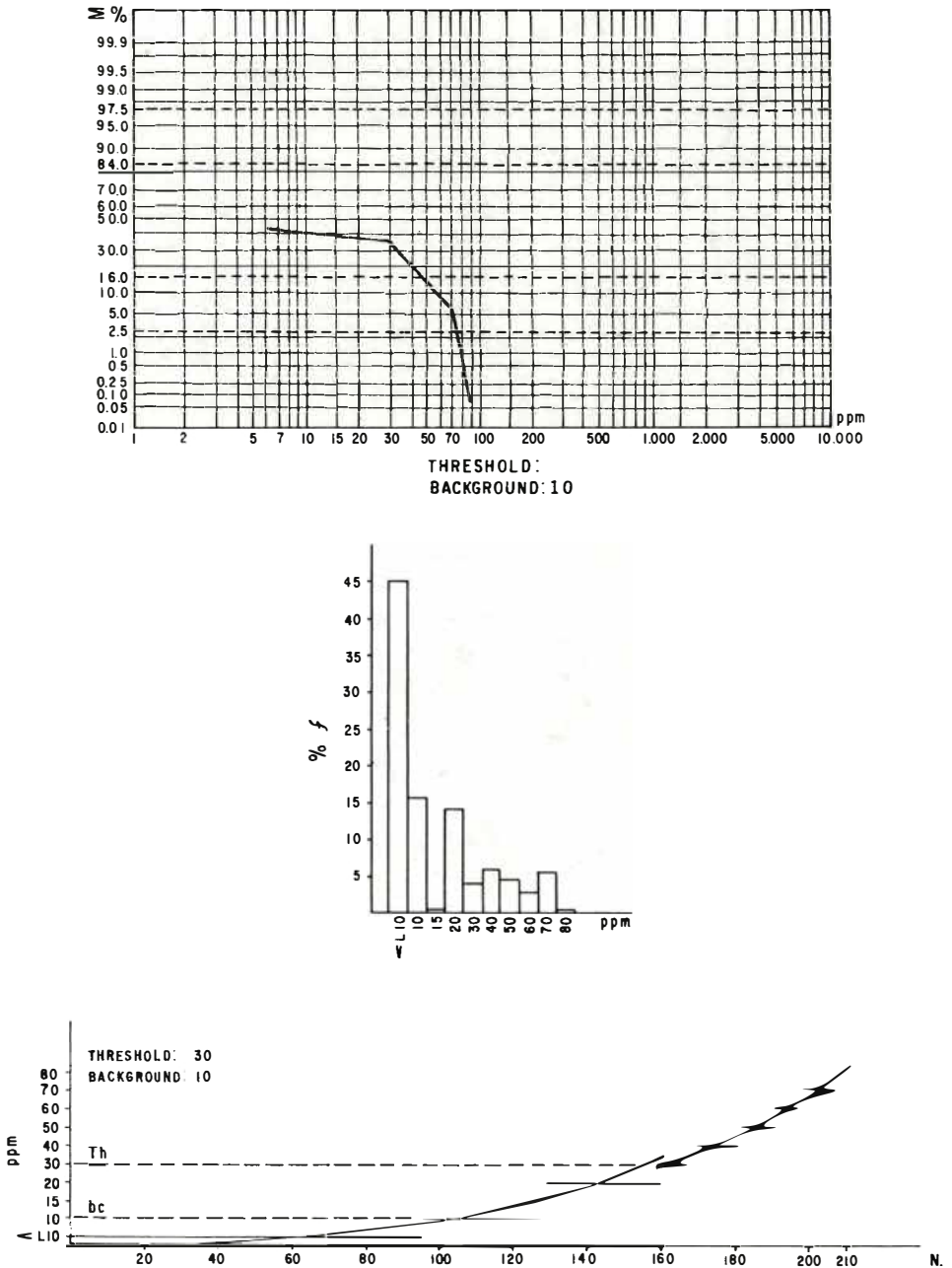


FIGURA 41: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Arsénico. Análisis colorimétrico. Rocas. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

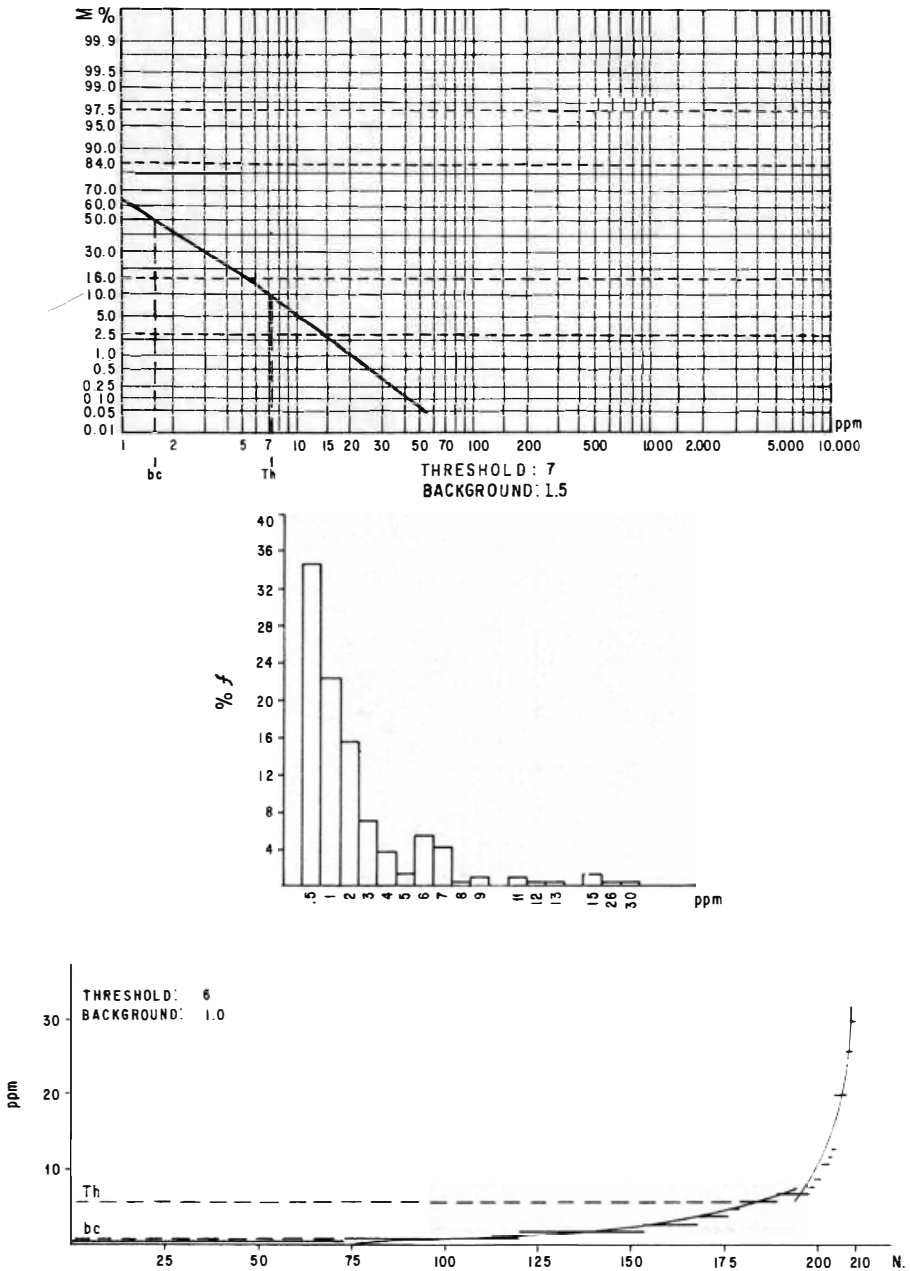


FIGURA 42: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Antimonio. Análisis colorimétrico. Rocas. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

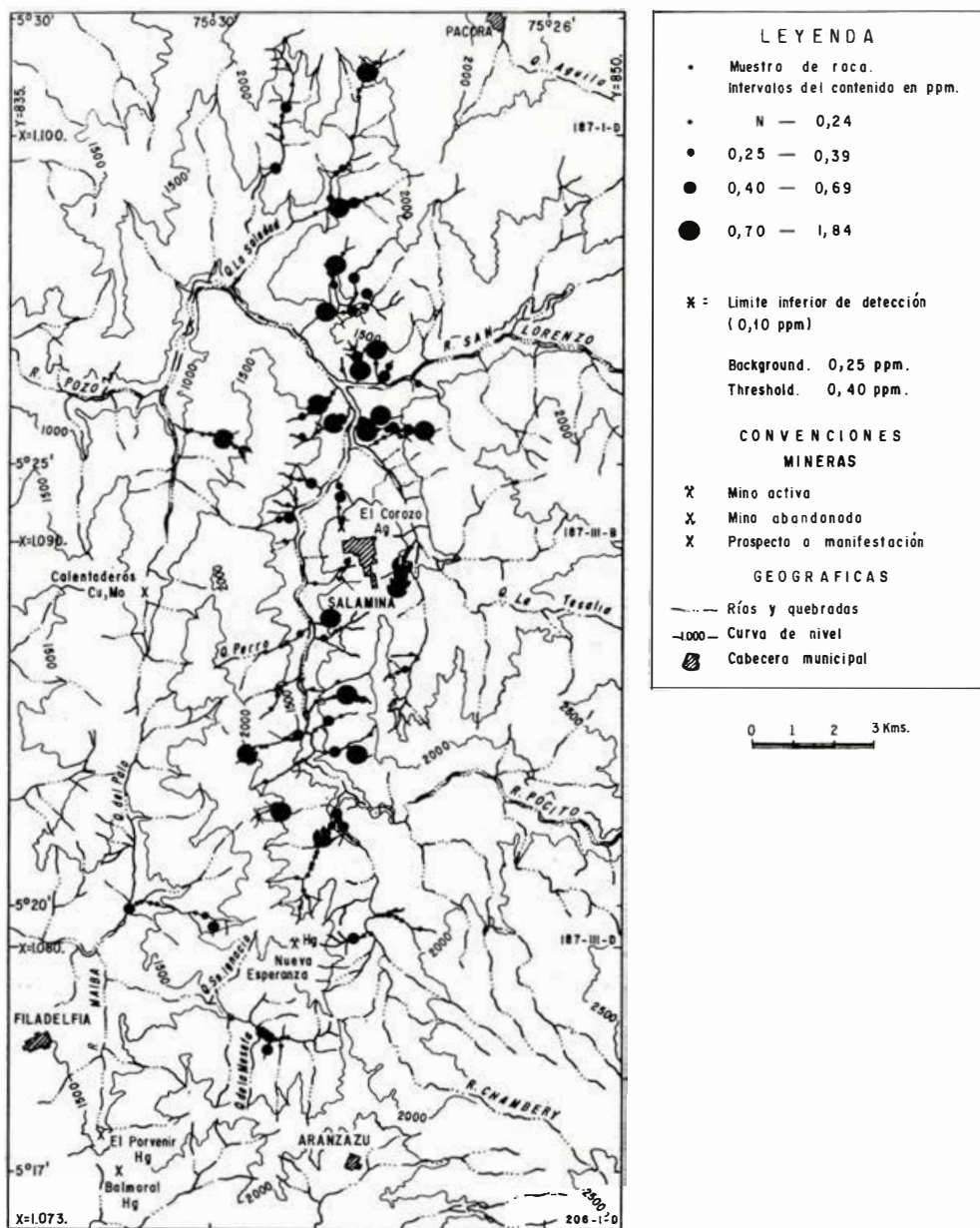


FIGURA 43: Contenido de mercurio. Rocas. Detector para Hg, malla -80. Prospección geoquímica detallada.

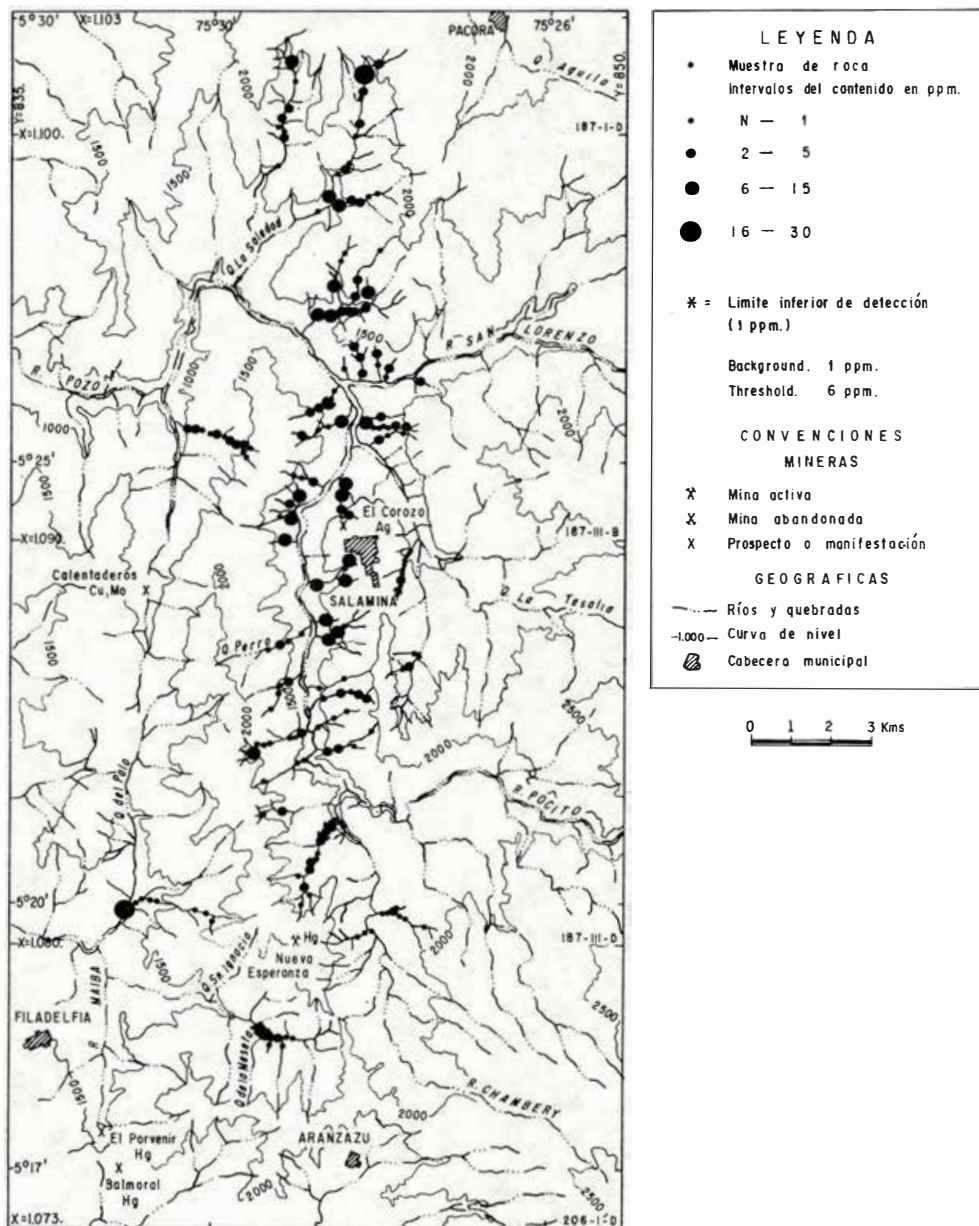


FIGURA 45: Contenido de antimonio. Rocas. Análisis colorimétrico, malla -80. Prospección geoquímica detallada.

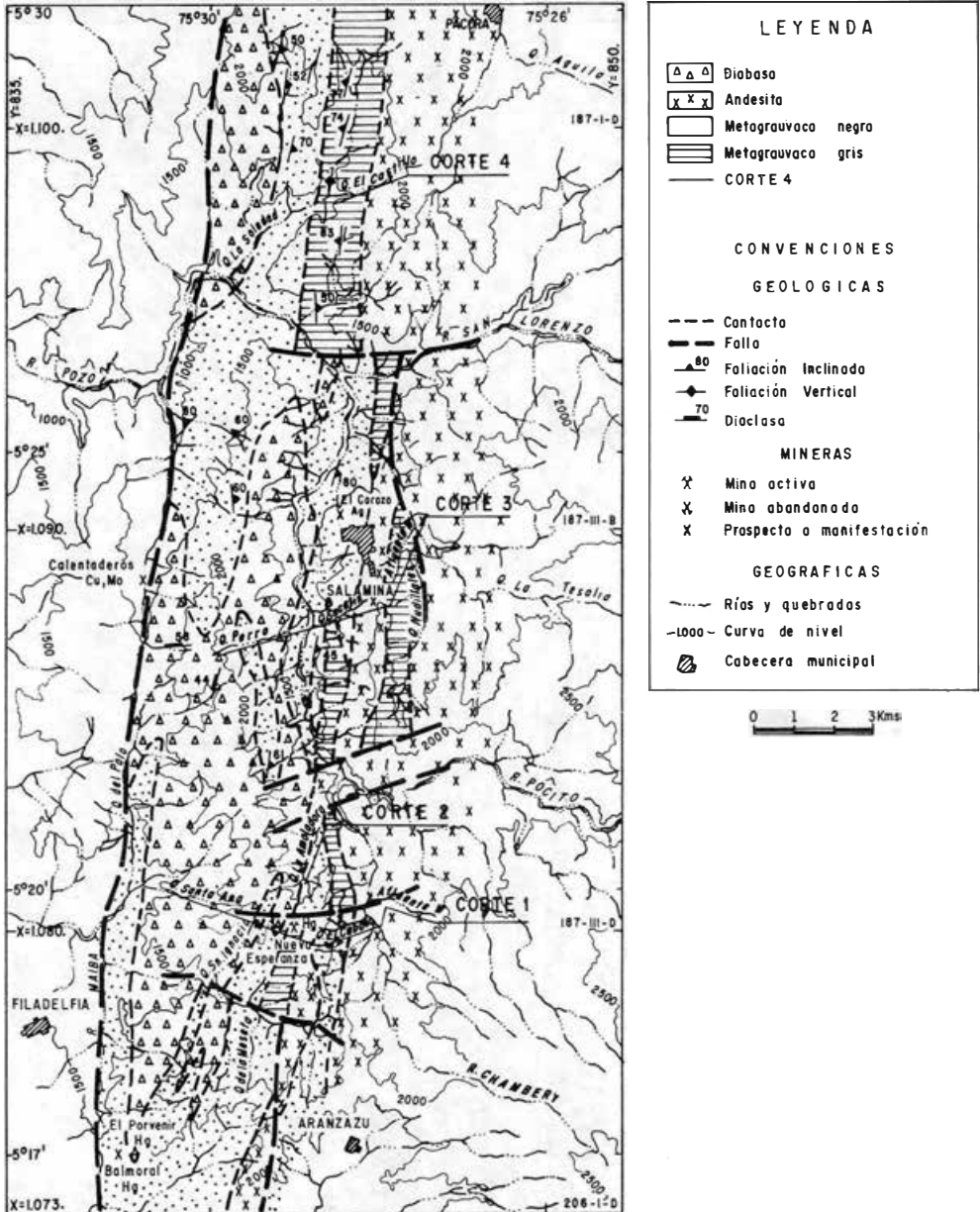


FIGURA 46: Ubicación de los cortes geológicos.

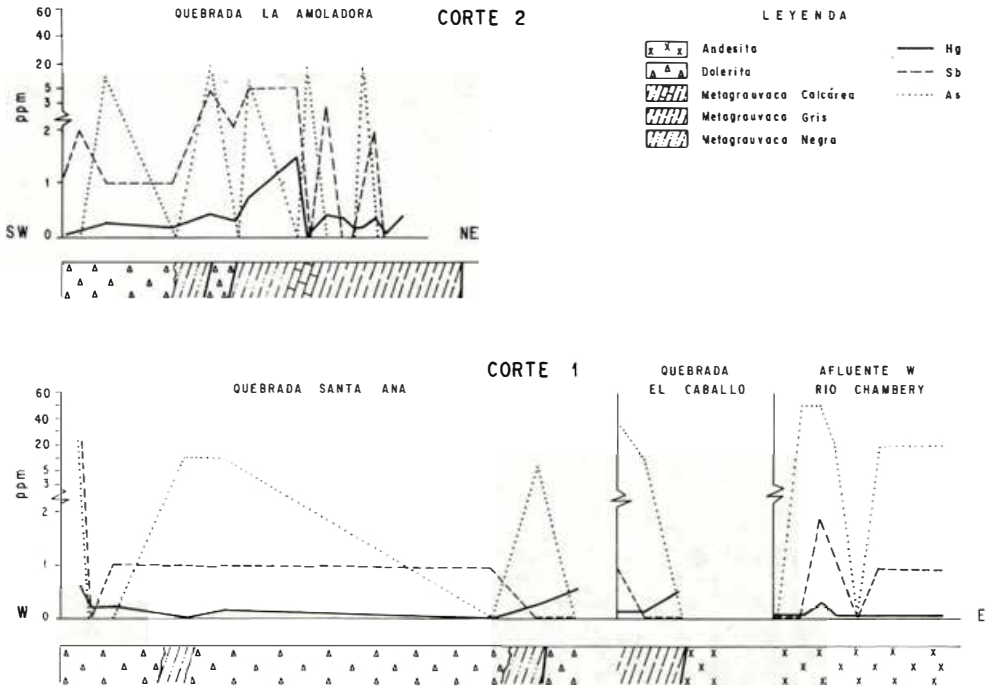


FIGURA 47: Corte geológico y contenido de Hg, Sb, As, en rocas. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

7.2.2.4. Corte 4.- Está localizado hacia el norte del área estudiada en el cauce de la quebrada El Castillo. Esta sección corrobora bastante bien lo observado en los otros cortes geológicos; el contenido de Hg en andesitas es bajo, pero, aumenta en los metasedimentos y como en los otros casos aumenta en el sector donde están localizadas las metagrauvacas calcáreas para luego disminuir hacia el oeste donde afloran las doleritas. En este caso tampoco se aprecia ninguna influencia ocasionada por el trazo de Falla de Aranzazu en la concentración de Hg.

Tenemos entonces algunas conclusiones importantes obtenidas del estudio de estos cortes geológicos localizados a todo lo largo del cinturón mercurífero, que coinciden bastante bien con las características observadas en la mina de La Nueva Esperanza y que podemos asumir con un comportamiento similar a todo lo largo de la zona anómala.

Estas características las podemos asumir en la siguiente forma:

- a) Existe claramente un control estratigráfico para la acumulación de Hg producido por las rocas o capas calcáreas localizadas en el contacto entre las metagrauvacas grises y negras. Estas capas con espesores no mayores de 2 m sirven de captadores y receptores en la acumulación de Hg, pues en todos los casos donde se presenta en este sector se observan anomalías de Hg.
- b) Según pudimos apreciar en los diferentes cortes, las andesitas tienen las concentraciones más bajas de Hg en la zona estudiada. Además, parece que este cuerpo se intruyó con posterioridad, pero dentro del mismo sistema de formación del conjunto metasedimentos-doleritas, puesto que en

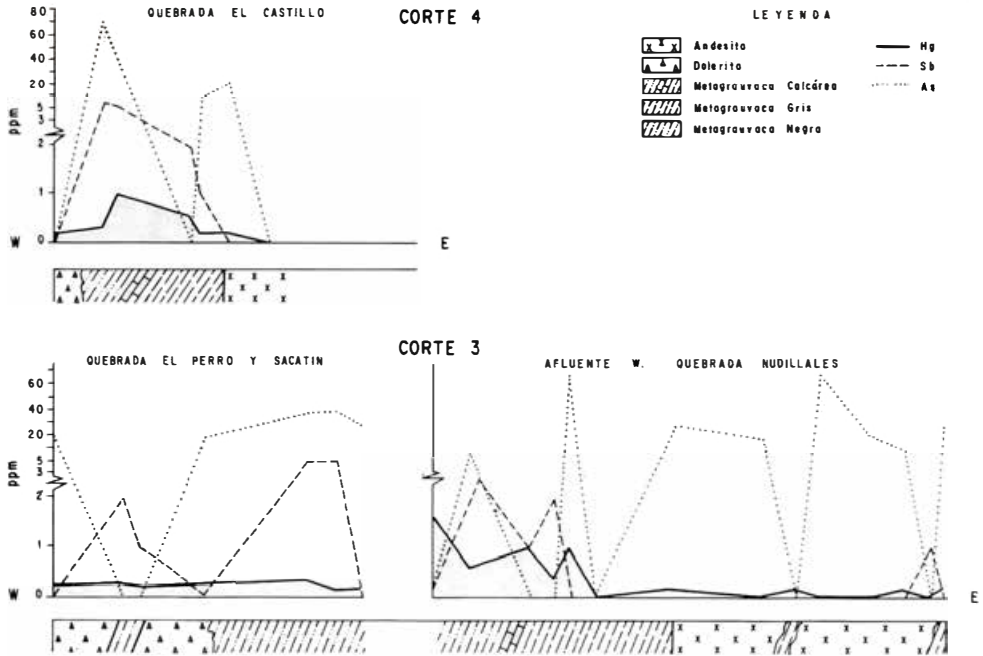


FIGURA 48: Corte geológico y contenido de Hg, Sb, As, en rocas. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

las zonas cercanas al contacto situadas al este de la mina de La Nueva Esperanza se presentan zonas altamente epidotizadas.

- c) El cuerpo de andesita aparentemente se intruyó por la zona de brecha con dirección norte-sur dejada por la Falla de Aranzazu. En algunos sectores (quebrada Chupaderos y afluentes) vecinos al trazo de falla se puede observar cómo los fragmentos angulares de metasedimentos y de doleritas pertenecientes a la brecha de falla se encuentran embebidos en una matriz de andesita.

En esta parte del estudio y con los datos obtenidos, es necesario hacer algunas recomendaciones finales sobre como se deben continuar las diferentes etapas de la investigación con el fin de evaluar el potencial económico de este posible yacimiento de Hg.

Tenemos la certeza de que existe un cinturón mercurífero que tiene una longitud de 25 km en sentido norte-sur con un ancho promedio de 1 km. Esta franja es potencialmente económica puesto que además

de los resultados obtenidos, la única mina de Hg en explotación en Colombia, está localizada precisamente dentro de este cinturón.

Una cualidad importante en la mineralización de La Nueva Esperanza y que puede estar presente en los nuevos hallazgos, es el hecho de que el Hg se presenta en forma nativa, lo cual disminuye los costos de explotación y de producción. En este caso no sería necesario utilizar un horno de tostación para separar el sulfuro de mercurio (HgS), con la ventaja de que la contaminación ambiental sería mínima.

No se puede asegurar plenamente, pero es muy probable, que en este cinturón se encuentren varias minas similares a la de La Nueva Esperanza, en la forma de mineralización, tonelaje, etc. Por esta razón, y teniendo en cuenta las condiciones geológicas y las concentraciones de valores anómalos, vamos a recomendar para la próxima etapa y en orden de prioridad, las siguientes zonas donde se deben realizar estudios subterráneos, ya sea por medio de túneles o con perforaciones dirigidas para la evaluación de los posibles depósitos.

7.2.2.5. *Zona 1.-* La Amoladora. Está localizada inmediatamente al norte de la mina de La Nueva Esperanza. Está comprendida entre los cauces de la quebrada La Amoladora y algunos pequeños drenajes que desembocan en el río Chamberí.

7.2.2.6. *Zona 2.-* Nacimientos de la quebrada La Soledad. Localizada en el extremo norte del área estudiada.

7.2.2.7. *Zona 3.-* Drenajes aledaños a la desembocadura del río San Lorenzo en el río Pocito.

7.2.2.8. *Zona 4.-* Salamina. Localizada en los inmediatos alrededores de esta población. En estos sectores se debe realizar una cartografía detallada a escala 1:5.000 donde se debe tener especial cuidado en la localización de las capas calcáreas.

Las muestras de metagrauvas calcáreas y sus respaldos deben ser analizados para Hg con el fin de localizar la zona anómala, antes de entrar en la etapa de perforación.

Para decidir si es necesario perforar o hacer túneles de exploración es conveniente tener en cuenta, la localización, el buzamiento y fracturamiento de las capas, además de su espesor y continuidad.

En el capítulo siguiente se entrará a discutir la génesis del mercurio en este cinturón y su localización geológica comparada con otros yacimientos en el mundo.

8. GENESIS DEL MERCURIO EN EL FLANCO OCCIDENTAL DE LA CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA

8.1. ASPECTOS GENERALES

Para abordar este tema es necesario conocer algunas generalidades sobre los yacimientos de mercurio. Este elemento ocurre en la naturaleza en muchas formas; sus minerales primarios más importantes son el cinabrio (HgS) y su polimorfo el metacinabrio (HgS); la corderoita (Hg₃S₂Cl₂) y livingstonita (HgSb₄S₇) son también minerales comerciales en algunas minas. El mercurio nativo es un elemento comparativamente raro

en depósitos primarios, pero se encuentra comúnmente sus zonas de oxidación. En algunos yacimientos sulfosales como tetrahedrita contienen altos porcentajes de mercurio que pueden constituirse en fuentes de este elemento (JONASSON, I. y BOYLE, R. 1972).

La Figura 50 esquematiza los principales cinturones mercuríferos del mundo en los cuales están localizados los yacimientos y manifestaciones más importantes. Estos cinturones corresponden a zonas de inestabilidad o dislocación de la corteza terrestre, donde es característico encontrar manantiales calientes, volcanes y actividad térmica. Frecuentemente las exhalaciones volcánicas presentan altos contenidos en mercurio. La mina de mercurio de La Nueva Esperanza y el sector anómalo encontrado en el flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia están igualmente localizados dentro de este cinturón mercurífero, que puede estar a la vez relacionado a sectores fuertemente tectonizados, ocasionadas por fallas profundas, situadas en la zona de choque entre placas de la corteza terrestre.

Estos cinturones de mercurio se extienden desde el extremo sur de Sur América y avanzan por el borde oeste del continente hasta Alaska, luego se sumergen en dirección oeste para reaparecer al noreste de Asia, donde se bifurcan; una rama sigue hacia las Islas del Japón, Filipinas, Indonesia, Nueva Zelanda y cubre la parte oriental de Australia; el otro brazo se extiende por las cadenas montañosas del Himalaya, pasa a Los Alpes y termina en España.

Los depósitos de mercurio se presentan en todos los tipos de rocas, pero los más grandes se encuentran en rocas sedimentarias con edades que oscilan entre el Paleozoico y reciente. Frecuentemente se localizan en areniscas y calizas y otros ocurren cerca a serpentinas (HENDERSON, B., 1969).

Algunos yacimientos como Cordero (Nevada), Pueblo y Stean Mountain (Oregon), Hot Spring (California) están situados en áreas donde afloran rocas ígneas intrusivas y extrusivas, en las cuales la fuente de soluciones mineralizantes es generalmente magmática. Otros depósitos, aunque están relacionados con franjas volcánicas, las mineralizaciones están localizadas en rocas sedimen-

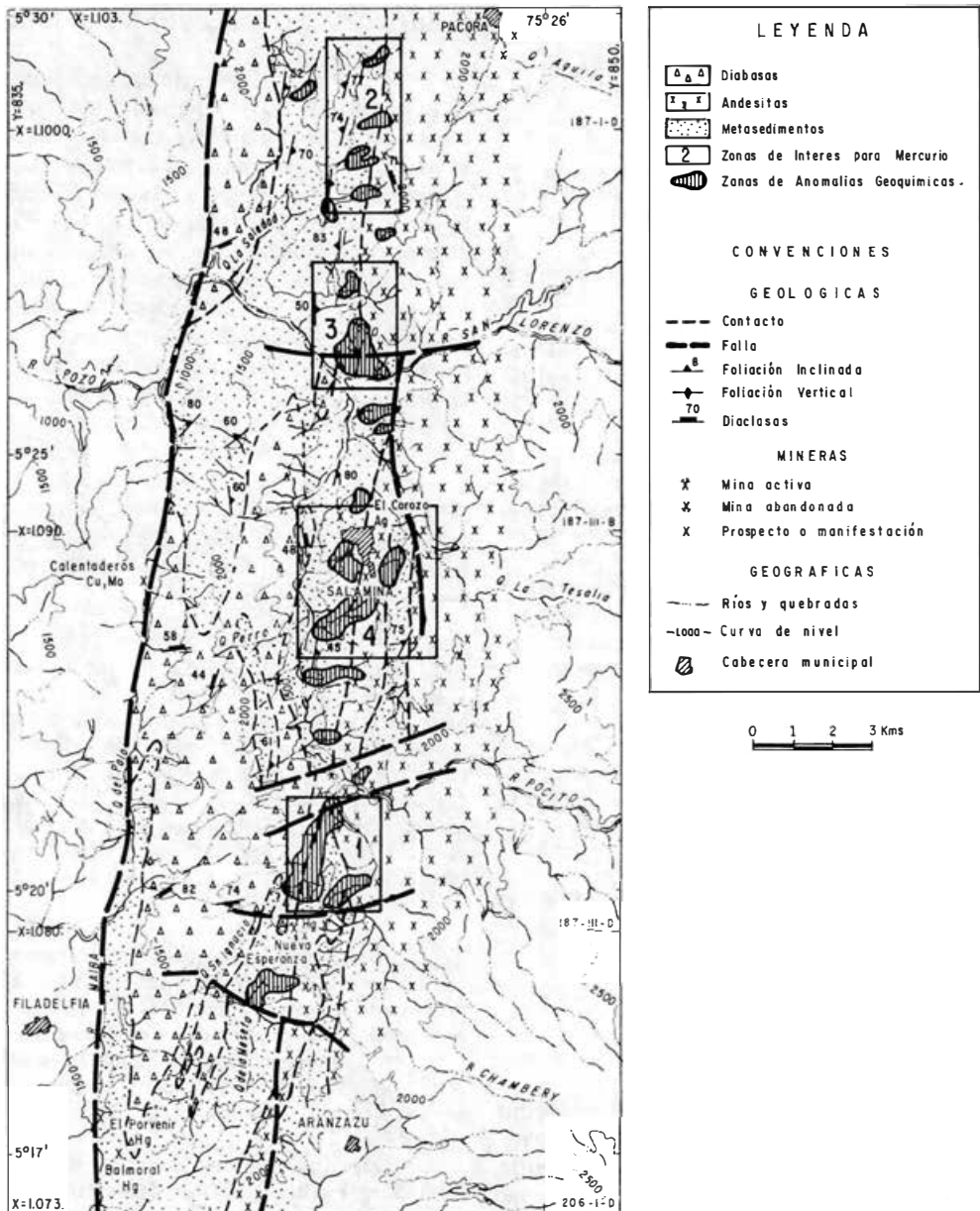


FIGURA 49: Zonas de interés para mercurio.

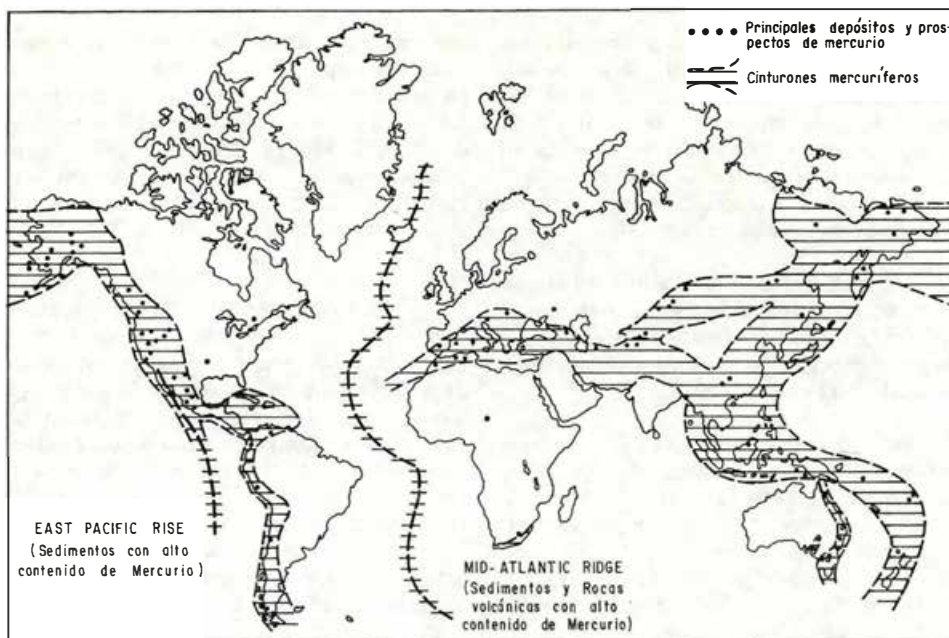


FIGURA 50: Mapa generalizado que muestra los cinturones mercuríferos en el mundo. (Tomado de JONASSON, R. y BOYLE, W., 1972).

tarias, como ocurre en Almaden (España), Idria (Yugoslavia) y Sulphur Bank (California); el origen de las soluciones mineralizantes en estos casos no está completamente definida (GRDENIC, D. y TUNELL, G., 1970).

Análisis realizados en rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición que oscila entre silíceas y básicas, indican que el valor promedio de mercurio en las rocas ígneas de la parte superior de la corteza es aproximadamente de 0,020 ppm; pero otros análisis de rocas profundas como kimberlitas y basaltos alcalinos muestran que el contenido medio es de 1,03 ppm (GRDENIC, D y TUNELL, G., 1970).

Condiciones físico-químicas para la Depositación de Mercurio

En cuanto al ambiente de depositación y transporte de las soluciones que dieron origen a los yacimientos de mercurio, podemos mencionar que existe acuerdo general en que estas mineralizaciones se forman por depositación de fluidos a temperaturas entre 80 y 250°C y a presiones inferiores a 30 atmósferas (KRAUSKOPF, B., 1951).

La solubilidad de minerales como cinabrio y metacinabrio es muy baja, por esta razón el transporte del Hg y de S debió ocurrir por soluciones que tuvieron, además de agua y CO₂, otros constituyentes que aumentan la solubilidad de los sulfuros de mercurio. Krauskopf, B. (1951) demuestra que los mecanismos químicos factibles de transporte son iones de HgS₂⁻ en soluciones alcalinas sulfatadas, HgCl₂ en forma gaseosa y vapores de mercurio elemental, pero siempre dependiendo de la temperatura que modifica la solubilidad del HgS.

En conclusión, varios autores están de acuerdo en que los sulfuros de mercurio, en soluciones líquidas, son llevados principalmente en forma de complejos sulfo-alcalinos; posteriormente el cinabrio o el metacinabrio se precipitan por pérdida de temperatura o por reducción de la alcalinidad de la solución. Estas condiciones se pueden dar por reacción con la roca encajante, mezcla con soluciones de sílice o con aguas menos alcalinas o ácidas, como es el caso de las aguas subterráneas, o en sectores cercanos a la superficie, debido a la oxidación de los sulfuros alcalinos ocasionados por el oxígeno de la atmósfera. Grdenic, D. y Tunell, G. (1970) sostienen además que los cristales de

metacinabrio son depositados a temperaturas superiores a las del cinabrio, dependiendo del contenido de sulfuros de Zn y de Fe. Aunque el metacinabrio es de común ocurrencia, los depósitos de mercurio están constituidos principalmente por cinabrio y en algunos casos acompañados por estibina Sb_2S_3 como minerales de mena.

Krauskopf, K. (1951) demostró que si en el período de enfriamiento coexisten el Hg y $HgCl_2$ en la fase de vapor, se depositan cinabrio y metacinabrio en presencia de H_2S o calomel en ausencia de H_2S .

En algunas minas como Terlingua, Almaden (España) y Sonoma (California) se ha encontrado mercurio nativo en abundancia, acompañando en muchos casos, al cinabrio, y se ha considerado como de origen hipogénico depositado en una fase de vapor. El mercurio nativo en forma líquida es estable en condiciones reductoras y con un pH alcalino. Estas condiciones se encuentran en cuencas profundas donde existen sedimentos con abundante materia orgánica, con la cual el mercurio se concentra fácilmente. Los shales con materia orgánica presentan las más altas concentraciones en este elementos dentro de las rocas sedimentarias.

El mercurio nativo puede también formarse por procesos supergénicos, donde el cinabrio, a pesar de ser un mineral estable en condiciones normales, se oxida en presencia de soluciones que contengan sulfato férrico y cloruro de sodio para producir $HgSO_4$ y $HgCl_2$ que luego reaccionan con agua y sales para derivar mercurio nativo en forma líquida.

8.2. FORMA DE PRESENTACION DEL MERCURIO EN LA MINA DE LA NUEVA ESPERANZA

Con esta información podemos entrar a dilucidar qué procesos intervinieron en la formación del cinturón mercurífero en el flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia y tratar de determinar cual fue el origen del mercurio nativo que, como principal mineral de mena, se explota en la mina de La Nueva Esperanza.

Revisando las referencias bibliográficas, solamente encontramos otros ejemplo en el mundo, donde se explota en algunos

sectores exclusivamente mercurio nativo. Se trata del depósito de Khaidarkan localizado en Asia Central; en este yacimiento el mercurio está asociado con cinabrio, pero separado de él en forma de lentes que saturan shales bituminosos. En esta mineralización todas las características indican que el mercurio nativo es de origen hipogénico (FEDORCHUK, V., 1958).

Como se anotó en la sección correspondiente, en la mina de La Nueva Esperanza, la mineralización consta principalmente de mercurio nativo en forma de gotas, el cinabrio es muy escaso y se presenta en parches y en ocasiones en venas de cuarzo junto con piritita; como minerales de ganga se encuentran calcita, dolomita y cuarzo lechoso. La mineralización está localizada en el contacto entre metagrauvas calcáreas y metagrauvas grises de grano fino y shales con materia orgánica; en este sitio, las rocas toman características de filonitas debido a brechamiento. Las venas de cuarzo no son continuas y en algunos casos solo se encuentra mercurio nativo junto con calcita en el nivel calcáreo.

Según nuestro criterio el mercurio nativo que se encuentra en esta mineralización no es de origen supergénico debido a los siguientes factores.

- a) No se encontró evidencia alguna de lixiviación del cinabrio ni de otro mineral del mercurio.
- b) El mercurio nativo no aparece solamente cerca a la superficie. Con una diferencia de nivel de 70 m, medidos desde una antigua explotación y el frente del túnel 6, la relación mercurio nativo/cinabrio permanece constante, es decir no disminuye el contenido de mercurio hasta esta profundidad.
- c) El mercurio nativo sigue bastante bien las escasas manifestaciones de cinabrio, se encuentra en todo el contacto entre grauvas calcáreas y grauvas grises.
- d) Se comprobó, por medio de trituración y lavado, que existe mercurio nativo en cantidad no comercial en el paquete de grauvas grises y shales

que afloran inmediatamente al este de la mineralización. Se observó también que este elemento no se encuentra solo en fracturas sino, en forma aparentemente uniforme, diseminado en los sedimentos. Esto posiblemente sucede tanto en la mina de La Nueva Esperanza como en los diferentes cortes geológicos estudiados a todo lo largo del cinturón mercurífero.

8.3. DEPOSITACION Y GENESIS DEL MERCURIO

Cómo pudo ocurrir entonces esta mineralización? Para dar una contestación lógica a esta pregunta imaginaremos el ambiente geológico en donde tuvo lugar este yacimiento. Como se discutió en capítulos anteriores las grauwacas negras con sus intercalaciones de cherts y calizas y las grauwacas grises de grano fino con intercalaciones de shales con materia orgánica, se debieron depositar en una fosa profunda y estrecha, formada por esfuerzos convergentes ocasionados por el choque de dos placas. En esta fosa predominaron, durante la depositación de estos sedimentos, los factores físicos sobre los químicos. Junto con la rápida sedimentación se intercalaron flujos de lava basáltica, formados en un ambiente submarino, los cuales vinieron acompañados por emanaciones gaseosas que contenían algunos elementos mineralizantes. Esta fase gaseosa aparentemente estaba saturada con mercurio elemental y presentaba deficiencia en H_2S , en esta forma se permitió la precipitación principalmente de mercurio nativo. Los vapores mercuríferos encontraron entonces un ambiente propicio para su acumulación en los sedimentos que dieron origen a las grauwacas grises y a los shales con materia orgánica; estos últimos, como es bien sabido, tienen la tendencia a retener o absorber mercurio nativo; además este elemento pudo permanecer en este estado debido a las condiciones reductoras con pH alcalino propias de fosas marinas profundas.

Después de estos fenómenos se presentó un período de compactación y consolidación de los materiales acumulados, seguido por otro de intenso tectonismo, característico de estas zonas inestables. Reflejo de esto último son las fallas profundas y paralelas que se han llamado de Romeral y Aranza-

zu, pero que solo sirven de límite central a la gran zona de Falla de Romeral.

Con posterioridad a este período, pero dentro de la misma etapa de evolución, y aprovechando la zona de brecha de la Falla de Aranzazu, se emplazó un gran cuerpo tabular de composición más félsica (andesita) que las rocas volcánicas mencionadas anteriormente. Este cuerpo de andesita juega en nuestra opinión un papel muy importante en la mineralización, puesto que intruye las grauwacas grises y los shales con materia orgánica donde se había depositado el mercurio nativo, y a medida que el magma andesítico asciende, va calentando los sedimentos con mercurio; como este elemento es inestable a altas temperaturas migra hacia el occidente hasta encontrar los niveles calcáreos que le son propicios para su concentración. Esta movilización aparentemente ocurre junto con soluciones hidrotermales cargadas en sílice que vinieron a depositarse también en los niveles calcáreos en forma de venas de cuarzo junto con mercurio y cinabrio.

Según las relaciones de campo la edad tentativa de este proceso de sedimentación, volcanismo y mineralización puede ocurrir en el Cretáceo inferior, aunque puede ser más antiguo. En la Figura 51 se puede observar en forma esquematizada, la intrusión del cuerpo de andesita por la zona de brecha y luego la migración del mercurio junto con las soluciones hidrotermales hasta encontrar los niveles calcáreos. Estas condiciones geológicas se encuentran no solamente en la mina de La Nueva Esperanza sino aparentemente a todo lo largo del cinturón mercurífero.

En conclusión tenemos posiblemente, un yacimiento de origen singenético, pero producido por vapores que acompañaban las emanaciones volcánicas que se depositaron conjuntamente con los sedimentos en una cuenca tectónicamente inestable; posteriormente, intrusiones magmáticas, vinieron a generar la migración del mercurio para producir, finalmente, un yacimiento favorecido en su concentración por los niveles calcáreos.

Es probable, sin embargo, que en algunos sectores se presente más abundante cinabrio, pero posiblemente las condiciones geológicas de la mina de La Nueva Esperanza,

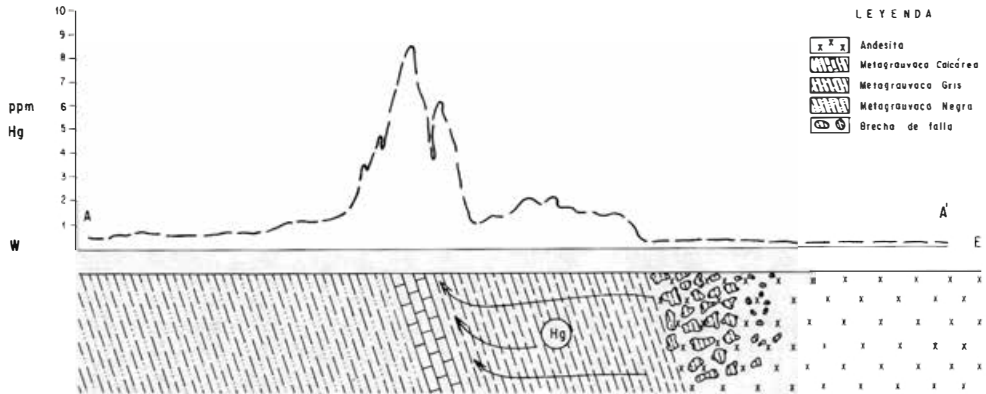


FIGURA 51: Esquema geológico y concentración de mercurio en suelos. Mina La nueva Esperanza, municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

—o—

se van a repetir en una forma general en los diferentes sectores anómalos que se encuentran en el cinturón mercurífero localizado en el flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia.

En algunas muestras de roca se estuvo buscando wolframio (Shellita) que puede ocurrir también en este tipo de ambiente geológico, pero hasta el momento no se ha encontrado ningún indicio de la existencia de este mineral.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Con el estudio de Prospección Geoquímica Regional se pudo establecer que con una densidad de muestreo de sedimentos activos tomada cada 3 km era posible detectar anomalías de mercurio. Asimismo, se observó que al menos en forma regional las anomalías de mercurio no están relacionadas con concentraciones altas de Ag, Ba, Pb, Zn y Cu.
2. Por medio de Prospección Geoquímica Detallada en base de suelos fue posible averiguar que en el área de la mina de La Nueva Esperanza existen muy buenas posibilidades de encontrar nuevas mineralizaciones de mercurio en el costado sur de la quebrada de La Esperanza, donde las anomalías son continuas y coinciden con la presencia de grauvacas calcáreas. Estas rocas en los frentes de explotación sirven de receptor pa-

ra alojar la mineralización que consta principalmente de venas de cuarzo, calcita, dolomita, cinabrio, piritita y mercurio nativo.

3. Con estudios detallados de geología y geoquímica se descubrió la existencia de un cinturón mercurífero que tiene una longitud de 25 km en sentido norte-sur con un ancho promedio de 1 km, el cual se extiende en forma continua desde el noreste de la población de Aranzazu hasta los nacimientos de la quebrada La Soledad situados al norte de la población de Salamina.

Esta franja es potencialmente económica puesto que además de presentar una continuidad en los valores anómalos, está situada en el extremo sur del cinturón la mina de La Nueva Esperanza, único yacimiento de mercurio que se explota en Colombia. Una cualidad importante en la mineralización que puede estar presente en los nuevos hallazgos es que el mercurio se presenta en forma nativa lo cual disminuye los costos de explotación y producción.

4. No se puede asegurar plenamente, pero es muy probable, que en este cinturón se encuentren varias minas similares a la de La Nueva Esperanza, en la forma de mineralización, tonelaje, etc. Por esta razón, y teniendo en cuenta las condiciones geológicas y las concentraciones de valores anómalos, vamos a recomendar para la próxima etapa y en orden de prioridad, las siguientes zonas donde se deben realizar estudios subterráneos, ya sea por medio de túneles o

con perforaciones para en esta forma evaluar los posibles depósitos.

Zona 1.

La Amoladora. Localizada inmediatamente al norte de la mina de La Nueva Esperanza. Está comprendida entre los cauces de la quebrada La Amoladora y algunos pequeños drenajes que desembocan en el río Chamberí.

Zona 2.

Nacimientos de la quebrada La Soledad. Localizada en el extremo norte del área estudiada.

Zona 3.

Drenajes aledaños a la desembocadura del río San Lorenzo en el río Pocito.

Zona 4.

Salamina. Localizada en los alrededores de esta población.

En estos sectores se debe realizar una cartografía detallada a escala 1:5.000 donde se debe tener especial cuidado en la localización de las capas calcáreas.

Las muestras de metagrauvas calcáreas y sus respaldos deben ser analizados para mercurio con el fin de localizar la zona anómala, antes de entrar en la etapa de perforación.

Para decidir si es necesario perforar o hacer túneles de exploración es conveniente tener en cuenta, la localización, el buzamiento y fracturamiento, espesor y continuidad de las capas.

5) Por medio de estudios geológicos y geoquímicos detallados del cinturón de mercurio se obtuvo la siguiente información:

- a) Existe claramente un control estratigráfico para la acumulación de mercurio producido por las rocas o capas calcáreas localizadas en el contacto entre las metagrauvas grises y negras. Estas capas con espesores no mayores de 2 m sirven de captadores y receptores de la mineralización.

b) Según pudimos apreciar en los diferentes cortes, las andesitas tienen las concentraciones más bajas de mercurio. Además, parece que este cuerpo se intruyó con posterioridad a la consolidación del conjunto metasedimentos-doleritas, puesto que en las zonas cercanas al contacto situadas al este de la mina de La Nueva Esperanza se presentan zonas altamente epidotizadas.

c) El cuerpo de andesita aparentemente se intruyó por la zona de brecha con dirección norte-sur dejada por la Falla de Aranzazu. En algunos sectores (quebrada Chupaderos y afluentes) vecinos al trazo de falla se puede observar cómo los fragmentos angulares de metasedimentos y de doleritas pertenecientes a la brecha de falla se encuentran embebidos en una matriz de andesita.

6) Aparentemente la mineralización de mercurio no tiene relación genética con elementos tales como antimonio y arsénico que son comunes en otras mineralizaciones de este tipo.

7) En conclusión, tenemos posiblemente un yacimiento de origen singenético pero producido por la concentración de vapores cargados de mercurio elemental con deficiencias en H_2S que acompañaba las emanaciones volcánicas. Estos gases se precipitaron conjuntamente con la depositación de los sedimentos clásticos, finos y orgánicos dentro de una cuenca profunda. El mercurio en forma nativa se concentró en los sedimentos con materia orgánica que luego fueron consolidados y tectonizados.

Posteriormente, el mercurio migró debido a las altas temperaturas que se produjeron durante la intrusión de las andesitas, para luego acumularse junto con cuarzo, cinabrio, piritita y calcita en los niveles calcáreos que son más favorables para su concentración.

ANEXO 1

Estudio de Orientación Geoquímica

1) Se realizó un estudio de orientación, tendiente a determinar el comportamiento de la fracción fina de los sedimentos

activos y las rocas en varias mallas. Para esto los materiales se tamizaron por las mallas 80, 50, 30 y 16 y cada una de estas fracciones se compararon con la fracción pesada de los sedimentos activos. Todas las muestras se colectaron en el área correspondiente al cinturón de mercurio y se analizaron por espectrografía. Con los datos anteriores se elaboraron cuatro gráficos de concentración media para elementos tales como: Fe, Ca, Mg, Ti, Ba, Mn, V, Sr, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, Se, Ga, Y, Be, Mo, Pb y Ag y se compararon con los testigos de las muestras. Las conclusiones para las diferentes mallas fueron las siguientes:

Malla 16 (Fig. 52)

En este gráfico se observa:

- a) Los valores más altos corresponden a concentrados en batea en elementos como Fe, Ca, Ti, Mn, Sr, Zr, Cr, los cuales en su mayoría corresponden a minerales de alto peso específico.
- b) Los valores intermedios corresponden a la fracción fina de los sedimentos activos en elementos como: Ca, Mn, Sr, Co y Cr.
- c) Las concentraciones más bajas pertenecen a las rocas en los siguientes elementos: Fe, Ca, Sr, Co, Cr, Sc y Y.

Malla 30 (Fig. 53)

Este gráfico muestra lo siguiente:

- a) Los sedimentos activos presentan mayores concentraciones que las de roca en los siguientes elementos: Fe, Ca, Mn, Sr, Zr, Co y Cr.
- b) Las rocas exhiben valores mayores que los sedimentos activos en elementos como: Mg, Cu, Ni y Mo.
- c) La fracción fina de los sedimentos activos presenta los mayores contrastes y por consiguiente los valores más al-

tos en Mn, V, Sr, Zr, Ga y en valores más bajos en La, Cu y Ba.

Malla 50 (Fig. 54)

Las conclusiones que se obtienen de este gráfico son las siguientes:

- a) Los concentrados en batea exhiben los mayores contrastes y los valores más altos en Fe, Ca, Ti, Mn, V, Sr, Zr, Ni, Cr, Ga y los valores más bajos en Ba y Cu.
- b) Las rocas presentan los valores más bajos en Fe, Ca, Co, Cr, Sc y Ga y los valores más altos en Mo, Pb y Ag.
- c) La fracción fina de los sedimentos activos presenta valores intermedios entre concentrados y rocas en elementos tales como: Ba, Sr, Co, Cr y Mo.

Malla 80 (Fig. 55)

Este gráfico muestra lo siguiente:

- a) Los mayores contrastes y los valores más altos los presentan los concentrados en batea en elementos como: Fe, Ti, Mn, Zr, Ni, Co, Cr, Sc y Ga.
- b) La fracción fina de los sedimentos activos exhibe valores intermedios en elementos tales como: Fe, Mg, Zr, Cr y Sc.
- c) Los valores más bajos de los tres tipos de muestras corresponde a rocas en elementos como Fe, V, Sr, Cr, Sc y Ga.

Del análisis de las diferentes mallas se puede concluir que los sedimentos activos dan mejor información que las rocas, además que la fracción -80 es más representativa. Por último, y aunque los concentrados en batea y la fracción fina dan aproximadamente la misma información, se prefieren los finos seleccionados por la facilidad para tomar la muestra y realizar el análisis.

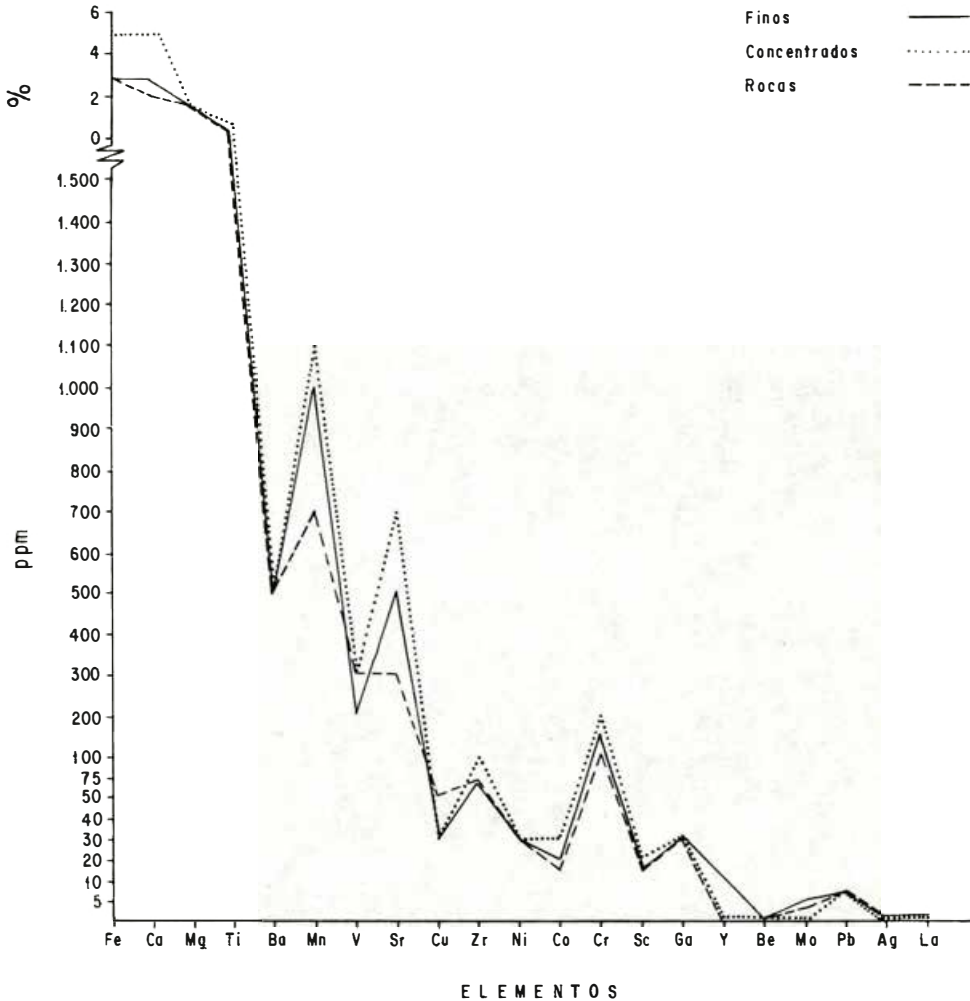


FIGURA 52: Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media de elementos. Finos, concentrados y rocas. Análisis espectrográfico malla 16. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

2. Se elaboró un segundo estudio de orientación utilizando 25 muestras de concentrados en batea. Se analizaron para Hg por detector y As por absorción atómica. Se pretende averiguar el comportamiento de los materiales en las mallas 80, 50, 30 y 16. Para esto se calcularon los valores máximos, mínimos, medios y promedios. Los resultados de la investigación para el As fueron los siguientes (Tabla 8).

a) El valor máximo correspondió a las mallas 50, 30 y 16. El valor más ba-

bajo de los valores máximos fue exhibido por la malla 80.

b) Todas las mallas mostraron iguales valores medios y mínimos.

c) El valor promedio más alto se encontró en la malla 50, siguiéndole las mallas 30, 16 y 80.

Los resultados de la investigación para el Hg fueron (Tabla 8):

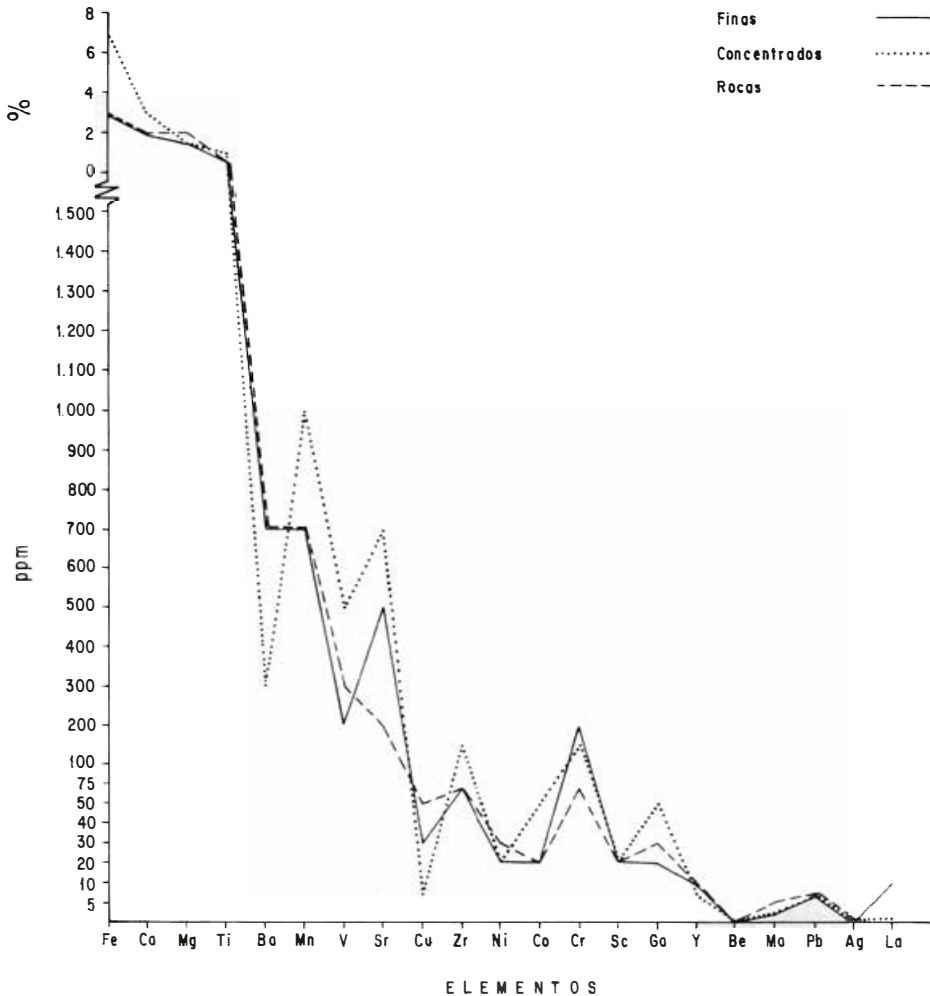


FIGURA 53: Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media de elementos. Finos, concentrados y rocas. Análisis espectrográfico malla 30. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

- a) El valor máximo fue encontrado en la malla 30, siguiéndole las mallas 50, 16 y 80.
 - b) Todas las mallas presentaron los mismos valores medianos y mínimos.
 - c) El más alto valor promedio lo mostró la malla 50, las demás mallas exhiben los mismos valores.
3. En el área de Aranzazu, se llevó a cabo un tercer estudio de orientación utilizando la fracción fina de los sedimentos activos y rocas. Se tomaron 25 muestras y se analizaron para mercurio por detector. El propósito es averiguar el comportamiento de las fracciones en las mallas 80, 50, 30 y 16 para esto se calcularon los valores máximos, mínimos, medios y promedios.

Los resultados de Hg en los finos seleccionados fueron los siguientes (Tabla 8).

Se puede concluir que la malla 80, muestra los valores más bajos en concentrados en batea, tanto para As como Hg.

- a) El valor máximo más alto corresponde a la malla 30, siguen en orden descendente las mallas 16, 50 y 80.

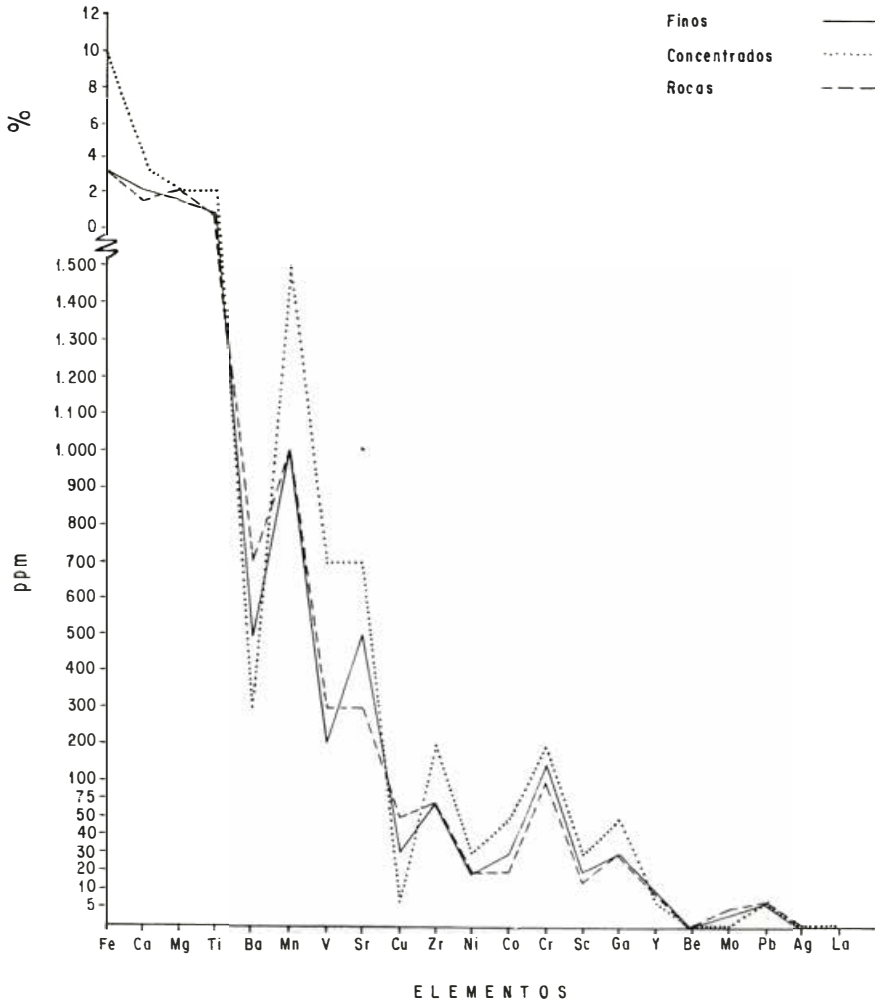


FIGURA 54: Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media de elementos. Finos, concentrados y rocas. Análisis espectrográfico malla 50. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

—o—

- b) Los valores medios más altos corresponden a las mallas 30 y 16, el resto de mallas tienen el mismo valor.
- c) Todas las mallas exhiben el mismo valor mínimo y la malla 16 presenta el más alto valor promedio.
- b) Todas las mallas exhiben el mismo valor mínimo y mediano.
- c) La malla 80, muestra el más alto valor promedio, siguiéndole las mallas 50, 30 y 16.

Los resultados de los valores de Hg para las diferentes mallas en rocas fueron los siguientes (Tabla 8):

- a) El valor máximo más alto corresponde a la malla 80, el resto de mallas muestra el mismo valor.

Del presente estudio de orientación se puede concluir claramente que la malla 80 es la más representativa para rocas. Para los finos seleccionados se encontró que los mejores valores correspondían a la malla 30, pero luego de examinar esta fracción al binocular se observó que contenía gran cantidad de fragmentos de roca. Por esta razón se optó

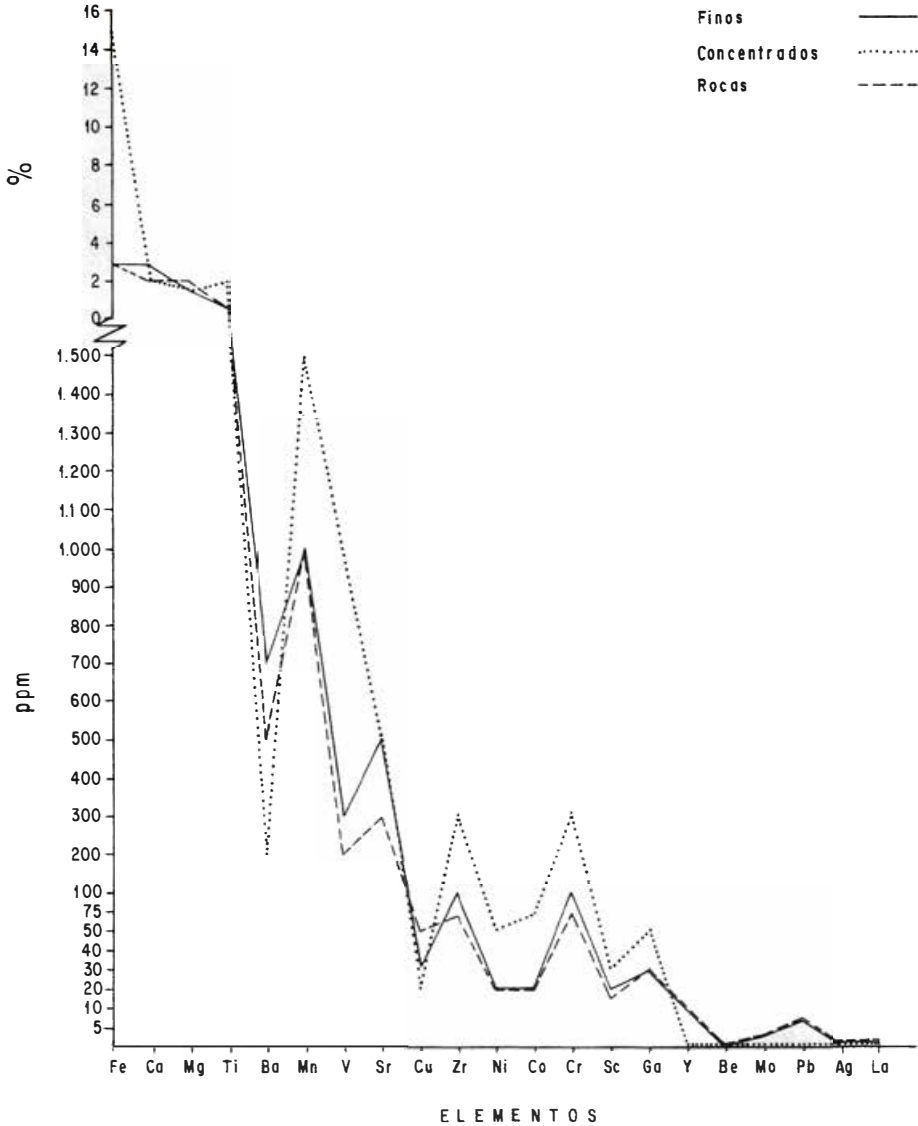


FIGURA 55: Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media de elementos. Finos, concentrados y rocas. Análisis espectrográfico malla 80. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

para el muestreo la malla 80 donde el material está mucho más meteorizado.

4. El cuarto estudio de orientación se realizó en el área de Aranzazu con 25 muestras de finos y 25 rocas, los cuales fueron analizados por colorimetría para As. El propósito de este estudio es averiguar el

comportamiento de las mallas 80, 50, 32 y 16. Para esto igualmente se calcularon los valores máximos, mínimos, medios y promedios.

Los resultados de la fracción fina fueron los siguientes (Tabla 8):

MERCURIO		TIPO DE MUESTRA		
No. de Malla	Valores	Sedimentos activos	Sedimentos activos	Rocas
		-Fracción fina-	Concentrados	
		MN 225 (ppm)	MN 25 (ppm)	M N 25 (ppm)
80	Máx.	5,2	0,4	0,9
	Pr.	0,39	0,22	0,32
	Um.			
	Md.	0,2	0,2	0,2
50	Min.	N	N	N
	Máx.	7,6	0,6	0,7
	Pr.	0,44	0,24	0,29
	Um.			
30	Md.	0,2	0,2	0,2
	Min.	N	N	N
	Máx.	12,5	0,7	0,7
	Pr.	0,4	0,22	0,28
16	Um.			
	Md.	0,3	0,2	0,2
	Min.	N	N	N
	Máx.	9,6	0,5	0,7
80	Pr.	0,69	0,24	0,27
	Um.			
	Md.	0,3	0,2	0,2
	Min.	N	N	N
ARSENICO				
80	Máx.	100	40	110
	Pr.	14,2	8,6	18,6
	Um.			
	Md.	N	N	10
50	Min.	N	N	N
	Máx.	70	70	80
	Pr.	11,6	11,2	19,6
	Um.			
30	Md.	N	N	10
	Min.	N	N	N
	Máx.	90	70	90
	Pr.	9,8	9,6	18,8
16	Um.			
	Md.	N	N	10
	Min.	N	N	N
	Máx.	70	70	60
80	Pr.	9,4	9,6	17,6
	Um.			
	Md.	N	N	10
	Min.	N	N	N
ANTIMONIO				
80	Máx.	4	1	20
	Pr.	1,2	0,5	2,9
	Um.			
	Md.	N	N	2
50	Min.	N	N	N
	Máx.	7	2	20
	Pr.	1,5	0,8	3,5
	Um.			
30	Md.	1	N	1
	Min.	N	N	N
	Máx.	3	6	18
	Pr.	1,5	1,2	2,8
10	Um.			
	Md.	1	N	1
	Min.	N	N	N
	Máx.	4	8	18
80	Pr.	1,6	1,3	3,1
	Um.			
	Md.	2	N	1
	Min.	N	N	N

TABLA 8. Orientación Geoquímica con sedimentos finos, concentrados rocas en mallas 50, 60, 30 y 16. Análisis de Hg, Au y Sb. Cinturón de mercurio Aranzazu, Salamina y Pácora.

- a) El valor máximo más alto corresponde a la malla 80, le siguen las mallas 30, 50 y 16.
- b) Los valores medianos y mínimos son iguales para todas las mallas.
- c) El valor promedio más alto corresponde a la malla 80, siguen en orden decreciente las mallas 50, 30 y 16.

Los resultados del procesamiento de los datos de las rocas fueron (Tabla 8):

- a) El valor máximo más alto corresponde a la malla 80, siguen las mallas 50 y 16.
- b) Los valores medianos y mínimos son iguales para todas las mallas.
- c) El valor promedio más alto corresponde a la malla 50 siguen las mallas 30, 80 y 16.

5. Se elaboró por último un gráfico de concentración medio y promedio de mercurio en rocas y sedimentos activos - fracción fina. En este gráfico se ploteó concentración contra número de mallas. Las conclusiones de este gráfico son (Fig. 56):

- a) El valor más alto en todas las mallas corresponden al valor promedio de los finos seleccionados.
- b) El valor más bajo en todas las mallas corresponde a los valores medianos de las rocas.
- c) Los valores más constantes en las diferentes mallas corresponden al valor promedio de las rocas, y
- d) En las mallas 80 y 50 el valor de la mediana de los finos seleccionados es bajo, mientras que las mallas 30 y 16 presentan valores altos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BOTERO, G., 1963.- *Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia*. Medellín, Anales de la Facultad de Minas, 57: 101.

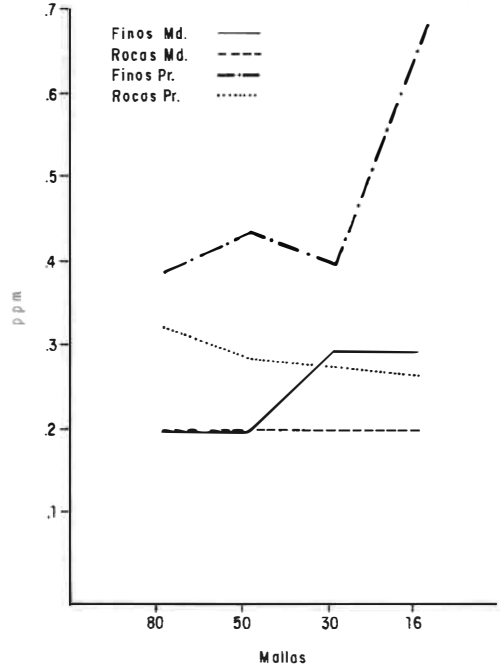


FIGURA 56: Estudio de orientación geoquímica. Gráficos de concentración media y promedio. Finos seleccionados y rocas. Mallas 80, 50, 30 y 16. Mercurio.

BRADSHAW, P., CLEWS, R., WALKER, L., 1972.- *Exploration Geochemistry. Serie de siete artículos tomados de Mining In Canadá y Canadian Mining Journal*. Barringer Research Ltda., 304 Carlingview Dr., Rexdale, Ontario, M-9 W-562, 49 p.

FEDORCHUK, P., 1958.- *Origen of native mercury*. *Geochemistry*, 3:345-352.

GONZALEZ, H., 1976.- *Geología del Cuadrángulo J-8, Sonsón*. Ingeominas, Informe 1704, 421 p.

GRDENIC, D., y TUNELL, G., 1970.- *Handbook of Geochemistry*. Springer-Verlag Berlin - Heidelberg. Mercury p. 80-A a 80-M.

HALL, R., ALVAREZ, J., RICO, H., 1972.- *Geology and Mineral Resources of Central Antioquia and part of Caldas Department (Zone II-A), Colombia*. Prepared of behalf of the Government of Colombia and the Agency for International Development U.S. Department of State, CO-22, 173 p.

- HARRINGTON, J. y LOPEZ, J., 1953.- *Segunda prospección del yacimiento de Mercurio en La Esperanza, Municipio de Aranzazu (Caldas)*. Ser. Geol. Nal. Colombia. Informe 961, 12 p.
- HAWKES, H., E., and WEBB, S., 1962.- *Geochemistry In Mineral Exploration*. Harper and Row. New York, 415 p.
- HENDERSON, B., 1969.- *Hydrothermal alteration and ore deposition in serpentine - type mercury deposits*. Econ. Geol., 64:489-499.
- HUBACH, E., 1951.- *El yacimiento de cinabrio de La Esperanza, Salamina, Departamento de Caldas*. Serv. Geol. Nal., Colombia, Informe 747, 11 p.
- JONASSON, R., and BOYLE, W., 1972.- *Geochemistry of Mercury and origin of natural, Contamination of the Environment. The Canadian Mining and Metallurgical*. Bull for January, p. 32-39.
- KASSEM, T., 1970.- *Geoquímica aplicada*. Ingeominas. Informe 1627, p. 122.
- KRAUSKOPF, K., 1951.- *Physical chemistry of quicksilver transportation in vein fluids*. Econ. Geol., 46, p. 498-523.
- LEPELTIER, C., 1969.- *A simplified statistical treatment of Geochemical Data by Graphical Representation*. Econ. Geol. Vol. 64: p. 538-550.
- LOPEZ, H., 1971.- *Ocurrencias Minerales del Departamento de Caldas*. Ingeominas. Informe 1602, p. 118.
- LOZANO, H., PEREZ, H., 1977.- *Método gráfico para determinar los valores de background y threshold en prospección geoquímica*. Ingeominas. Carta Técnica 56.
- LOZANO, H., McCARTHY, H., 1974.- *Muestreo geoquímico en la mina de mercurio de La Nueva Esperanza, Municipio de Aranzazu Departamento de Caldas*. Ingeominas. Informe 1666, p. 14.
- LLERAS CODAZZI, R., 1930.- *Las minas de mercurio en Colombia*. Bol. de Min. y Petr. 3 (13): 35-37.
- MARIANO, T., 1975.- *Comunicación interna*. Naciones Unidad.
- MORER, J., NICHOLLS, E., 1958.- *Mercurio de la mina La Esperanza de Aguadas (Caldas)*. Serv. Geol. Nal. Informe 1314.
- MOSQUERA, D., 1978.- *Geología del Cuadrángulo K-8*. Ingeominas. Informe Preliminar 1763, p. 63.
- PARK, F., McDIARMID, A., 1964.- *Ore Deposits* W. H. Freeman.
- RADELLI, L., PAGNACCO, P., 1962.- *Algunas de las mineralizaciones encontradas durante los estudios de campo relativas a la elaboración de las planchas J-8 y J-9 del mapa Geológico de Colombia*. Serv. Geol. Nal. Informe 1435, p. 7-13.
- ROMANOS, M., 1971.- *Informe sobre la mina de mercurio Nueva Esperanza*. Marzo. Fiscalización y Vigilancia. Ministerio de Minas y Petróleos. División Minas.
- 1972.- *Compañía Mercurífera de Caldas S.O.M. (Mercial)*. Fiscalización y Vigilancia a los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío, Tolima y Huila. Min. de Min. y Petr. Informe 478.
- RIVERA, A., 1969.- *Información interna*. Mina de la Nueva Esperanza.
- SARMIENTO, A., 1950.- *Comisión Geológica de Caldas*. Serv. Geol. Nal. Inf. 720.
- SARMIENTO, R., 1949.- *Contribución al conocimiento de la riqueza minera en Colombia*. Serv. Geol. Nal. Informe 709.
- SPIEGEL, R., 1961.- *Statistics*. McGraw-Hill. New York, p. 359.
- YAUGHN, W., McCARTHY, H., Jr., 1964.- *An Instrumental technique for the determination of subprogram concentration of Mercury in soils* Rock and Gas V.S., Geol. Survey, Prof. Paper 501, p. D 128 - D 130.
- WOKITTEL, R., 1957.- *Geología Económica y Minera, factores decisivos para el desarrollo industrial y de economía de Colombia*. Serv. Geol. Nal. Bol. Geol. Vol. 5 (3): 7-27.
- 1958.- *La Mina de Mercurio La Esperanza, Municipio Aranzazu, Departamento de Caldas*. Serv. Geol. Nal. Informe 1282, p. 15.