

**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 km<sup>2</sup>. b) Prospección detallada en 270 km<sup>2</sup>. 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 H<sub>2</sub>S 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 promisoriosa 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 km<sup>2</sup>. 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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> 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

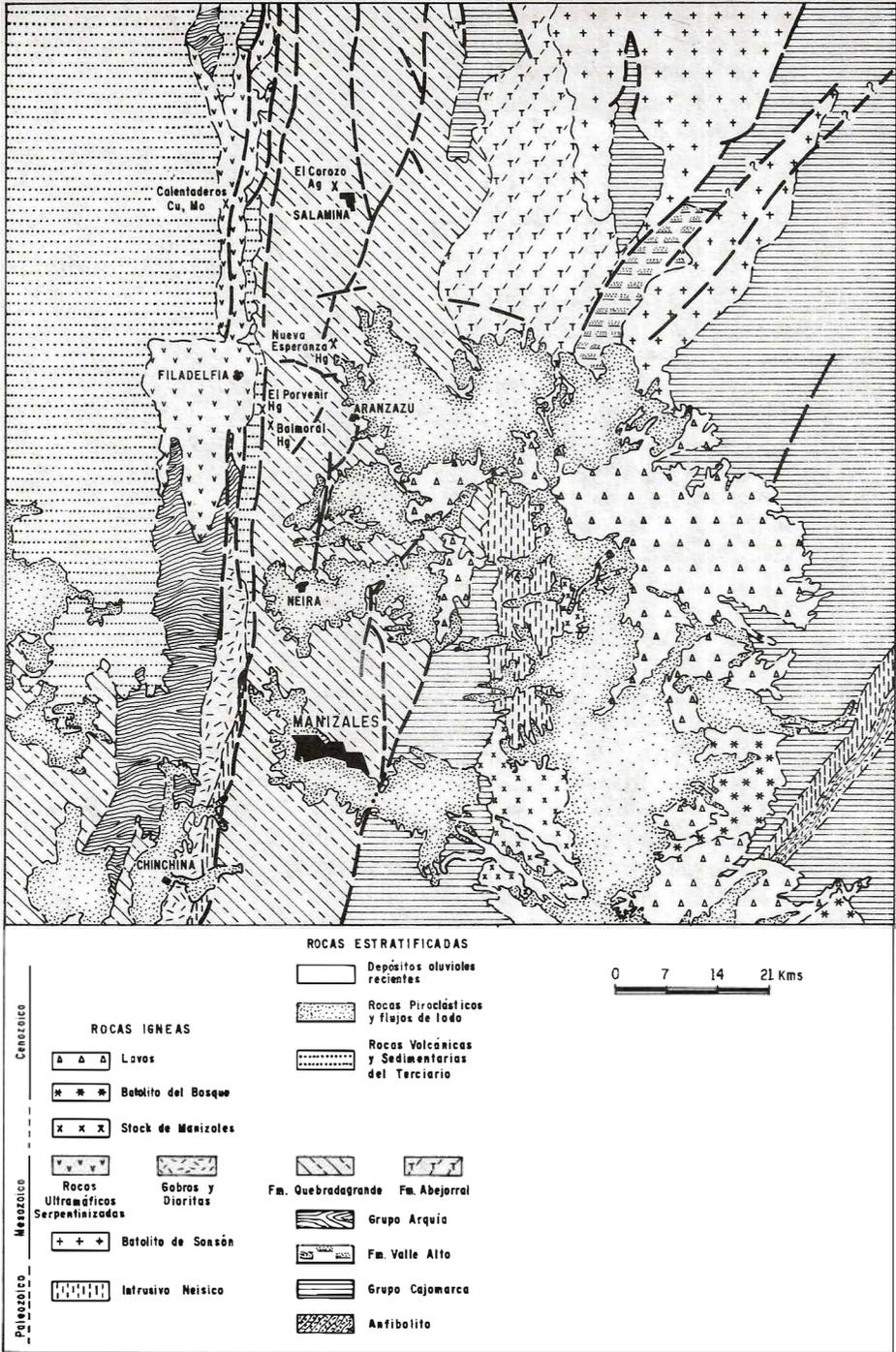


FIGURA 2: Mapa geológico generalizado del sector Manizales - Salamina. Tomado de González, H. (1978) y Mosquera, D. (en elaboración).

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 retazos 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 km<sup>2</sup> 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 colectaron en total 163 muestras de sedimentos activos en un área de 450 km<sup>2</sup>, o sea una muestra por cada 2.8 km<sup>2</sup>. 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.

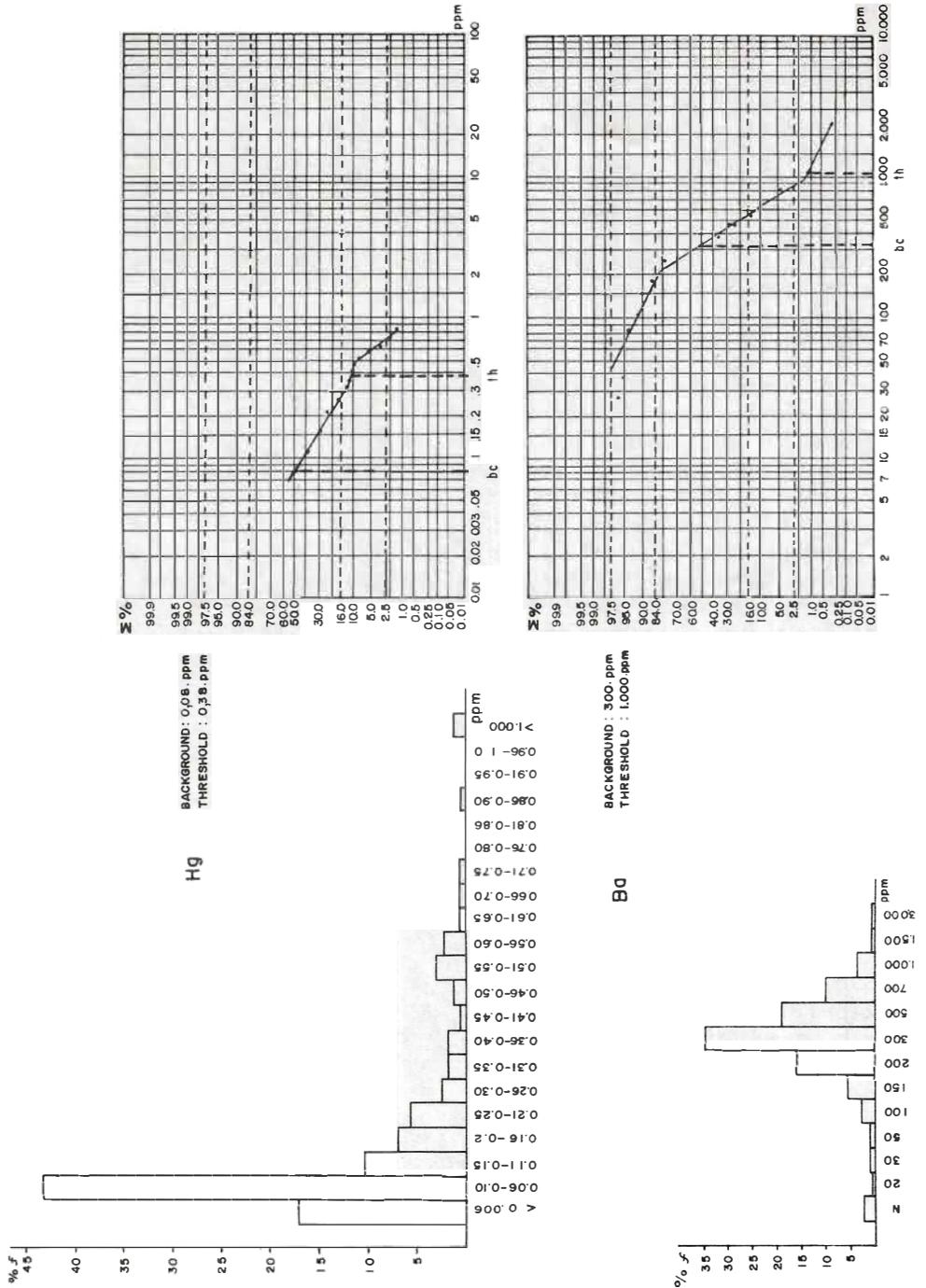


FIGURA 3: Histogramas y curvas de distribución de frecuencias acumuladas para Hg y Ba. Sedimentos activos fracción fina. Análisis espectrográfico para Ba y detector para Hg. Geoquímica regional. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

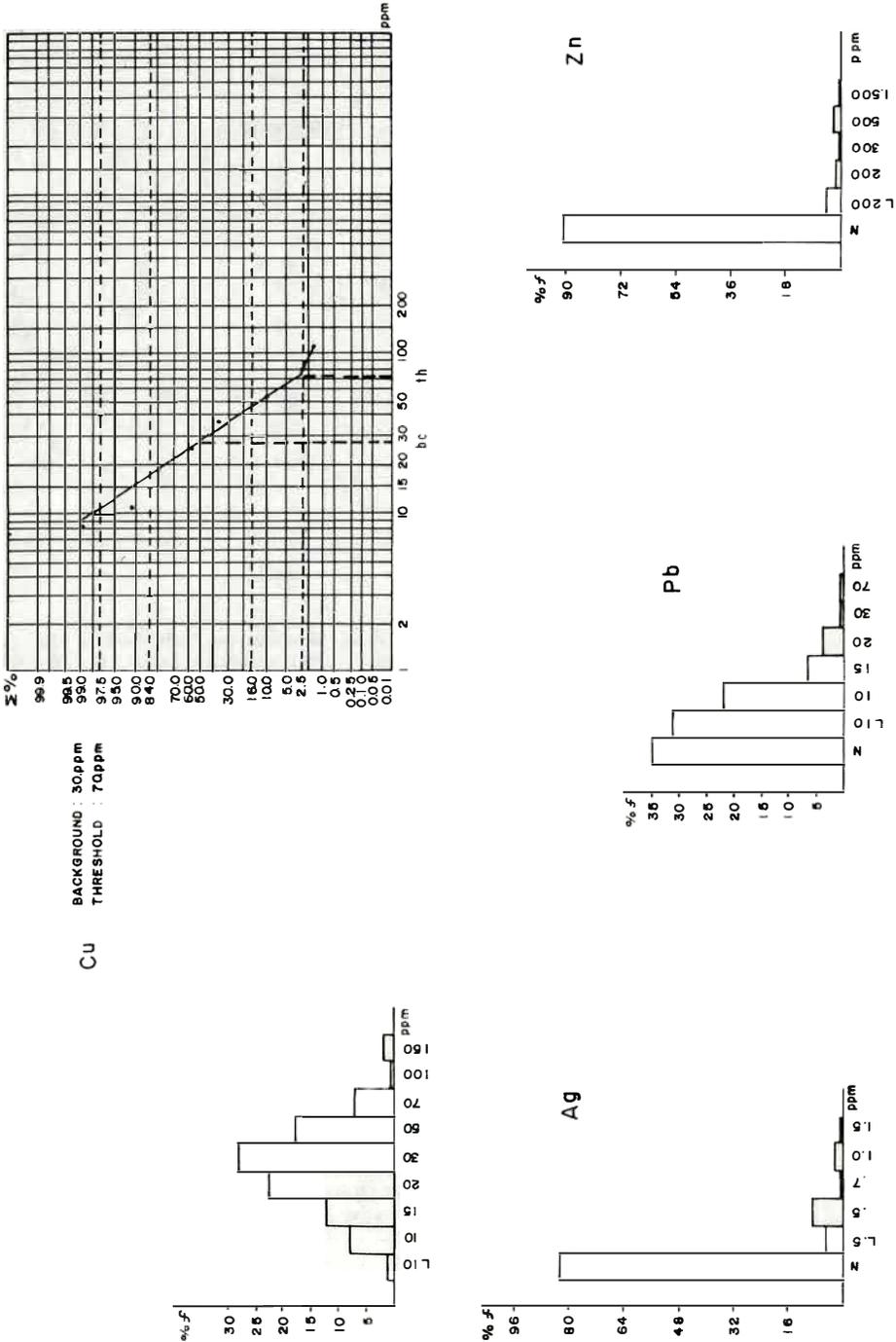


FIGURA 4: Histogramas para Cu, Ag, Pb y Zn y curva de distribución de frecuencias acumuladas para Cu. Sedimentos activos. Fracción fina. Análisis espectrográfico. Geoquímica regional. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

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.



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.

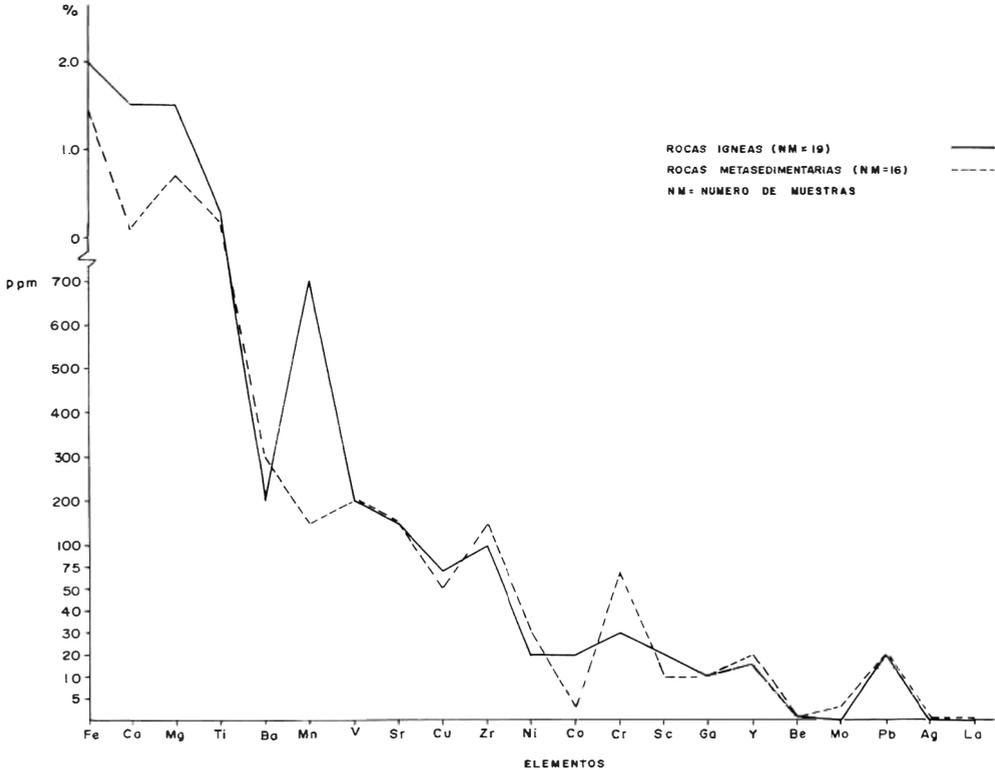


FIGURA 5: Gráficos de concentración media de elementos. Rocas ígneas y metasedimentarias. Análisis espectrográfico. Geoquímica regional. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

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

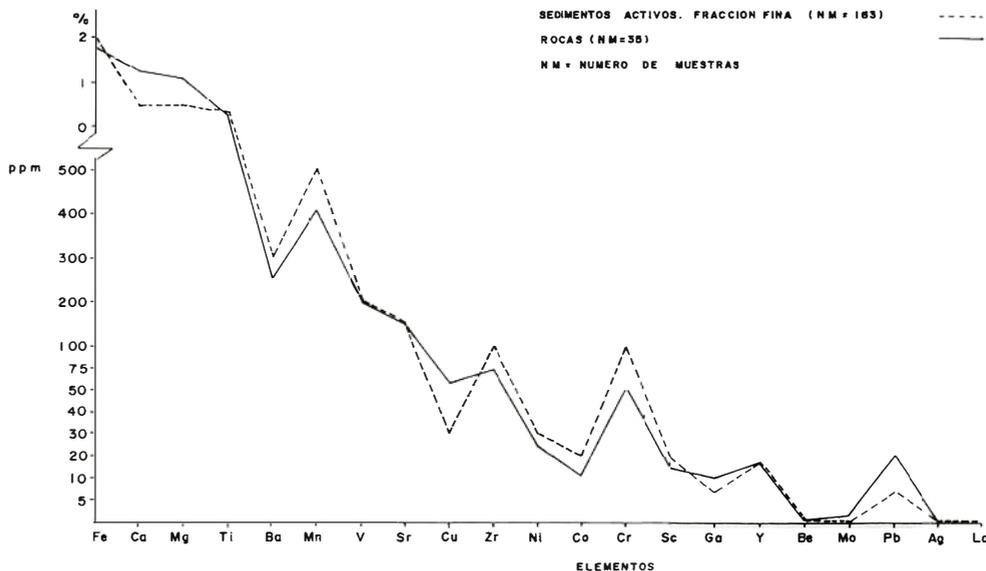


FIGURA 6: Gráficos de concentración media de elementos en rocas y en sedimentos activos. Fracción fina. Análisis espectrográfico. Geoquímica regional. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

—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-

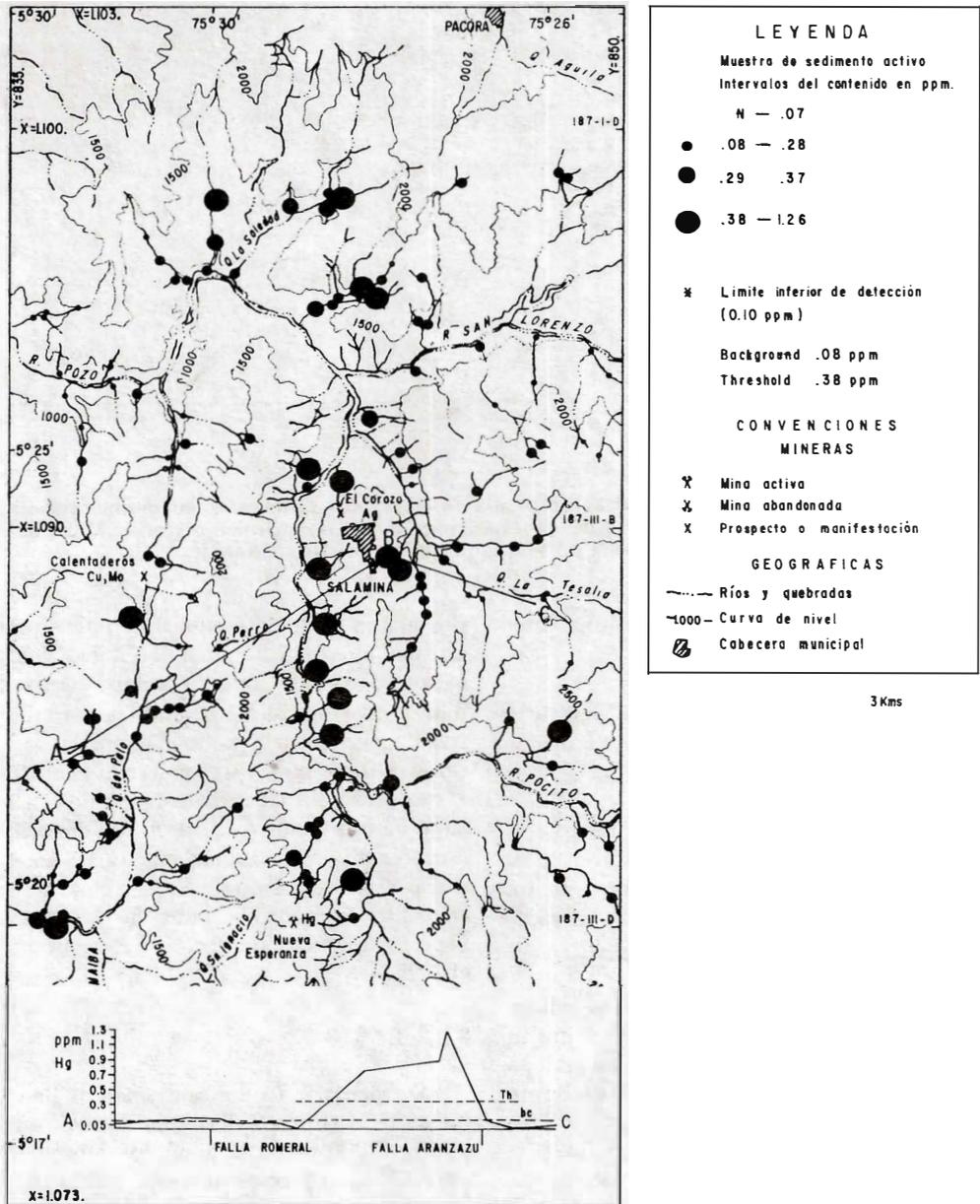


FIGURA 7: Contenido de mercurio. Sedimentos activos, fracción fina. Detector para Hg, malla 80. Prospección geoquímica regional.

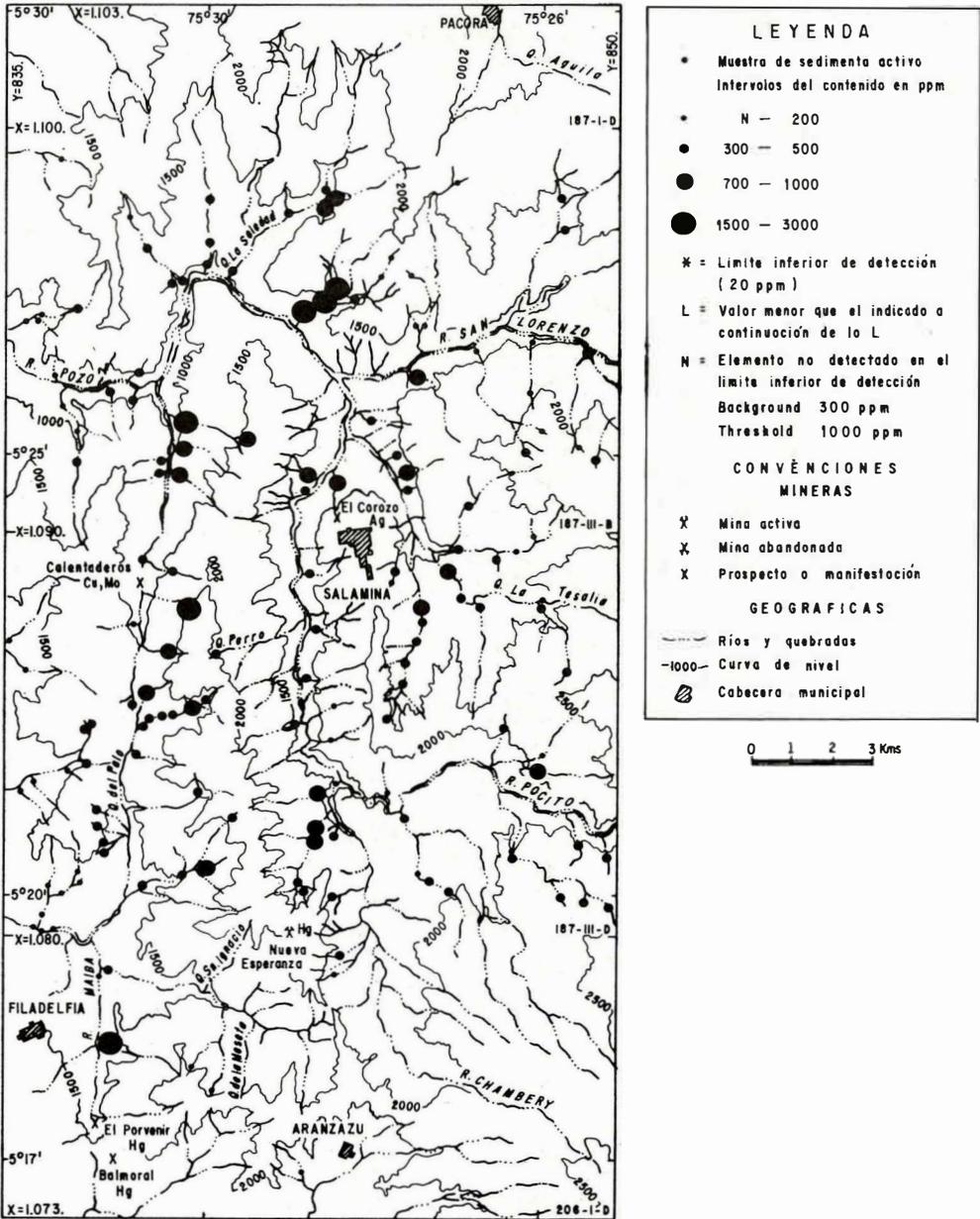


FIGURA 8: Contenido de bario. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico, malla 80. Prospección geoquímica regional.

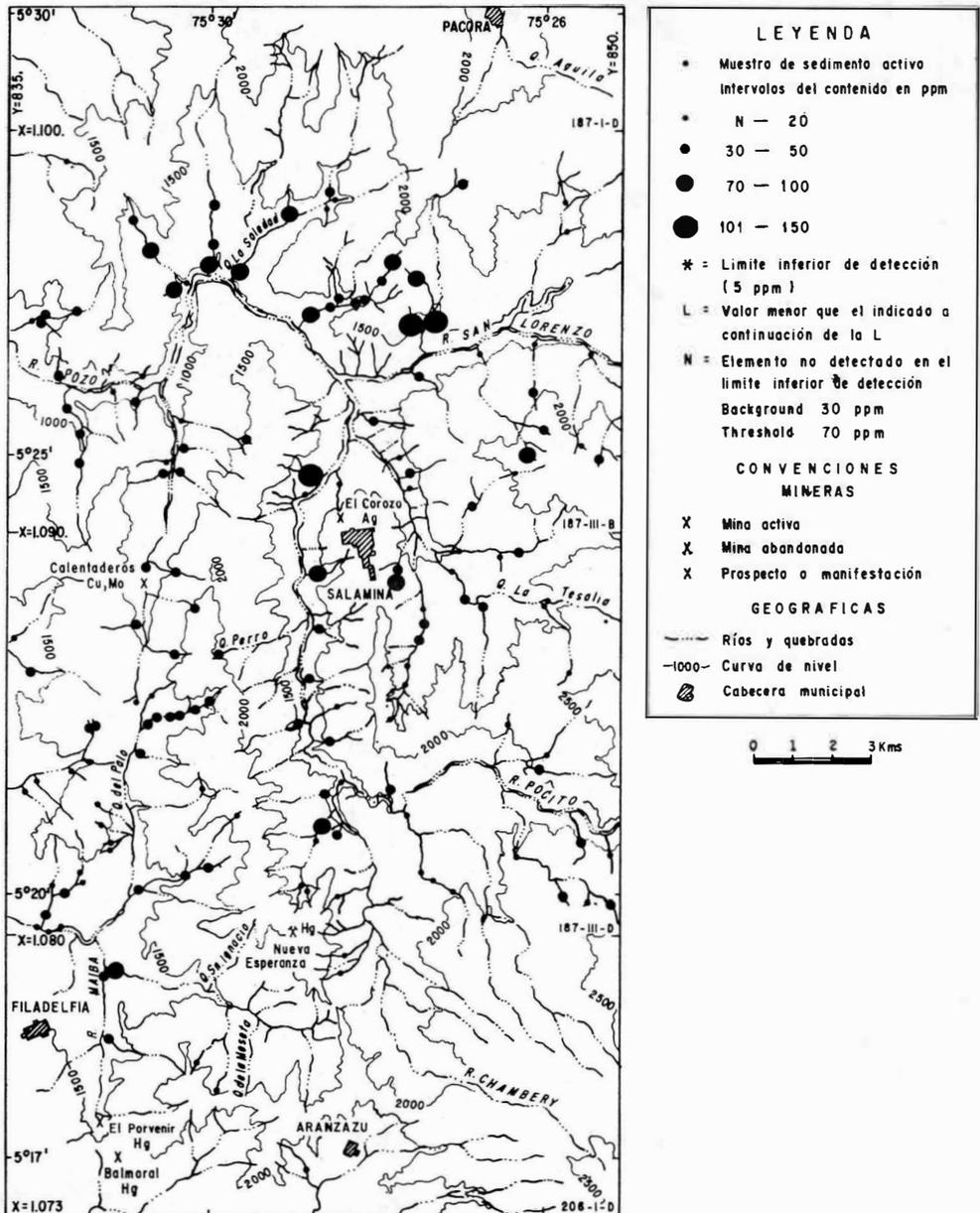


FIGURA 9: Contenido de cobre. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico, malla 80. Prospección geoquímica regional.

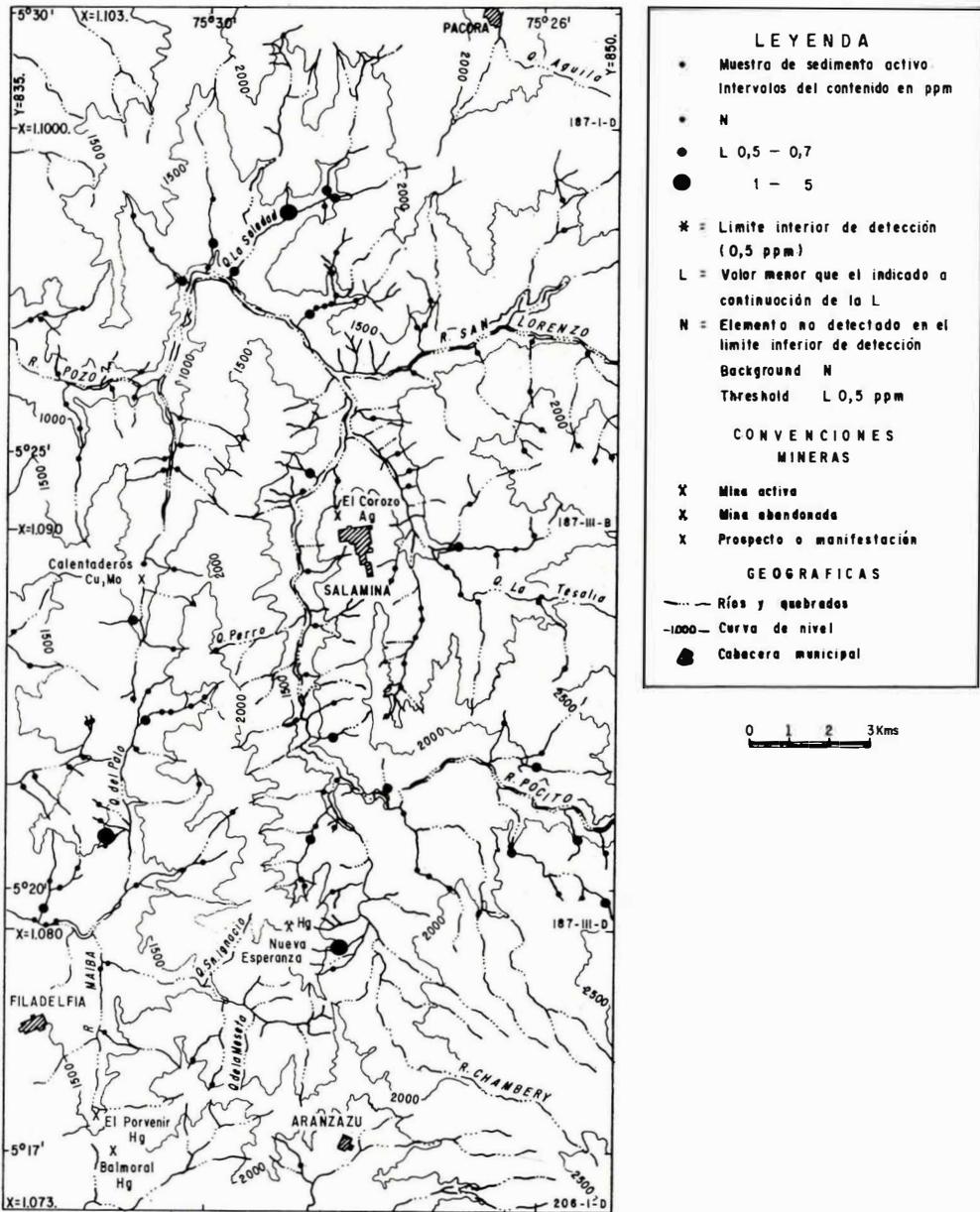


FIGURA 10: Contenido de plata. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico, malla -80. Prospección geoquímica regional.

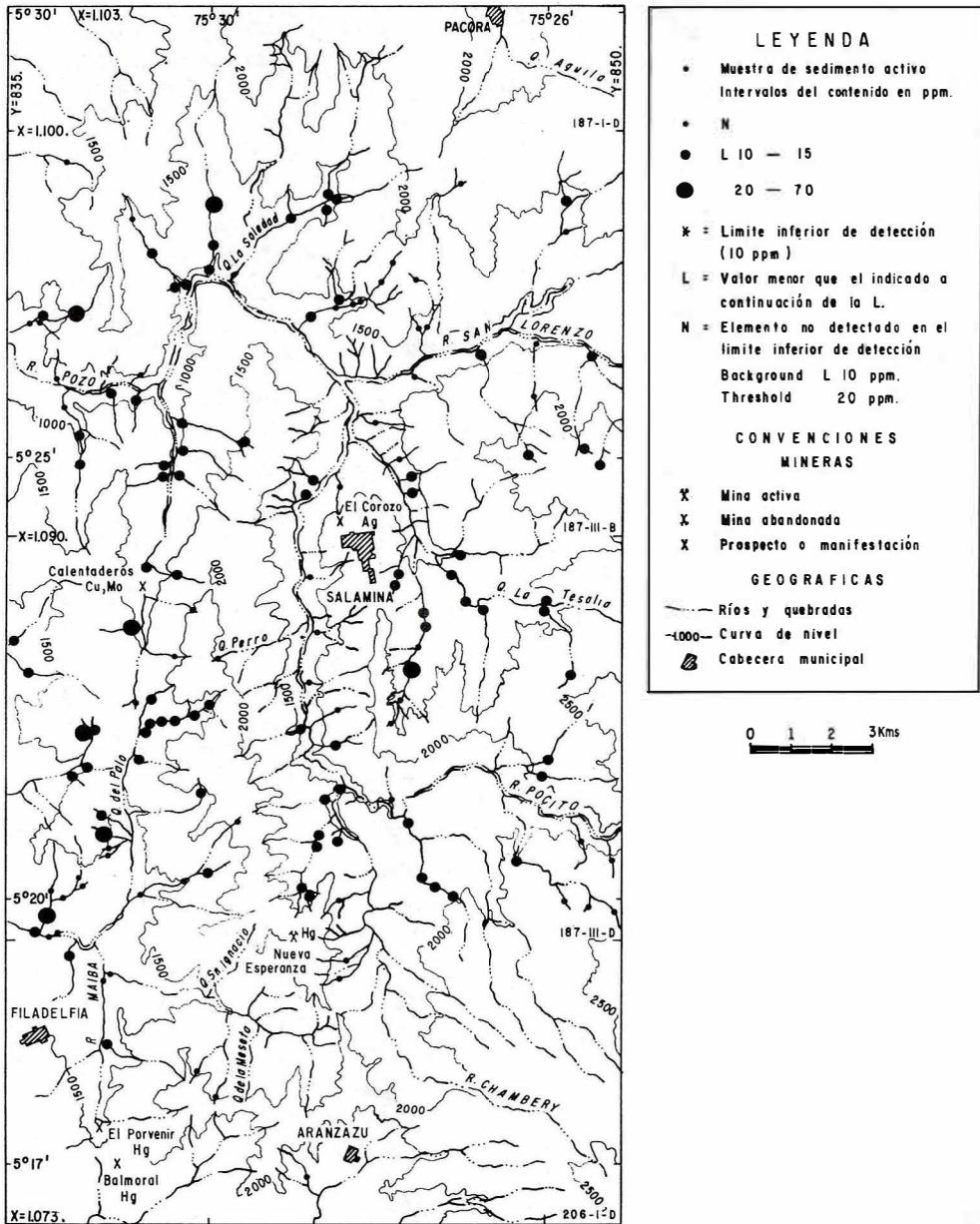


FIGURA 11: Contenido de plomo. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico, malla 80. Prospección geoquímica regional.

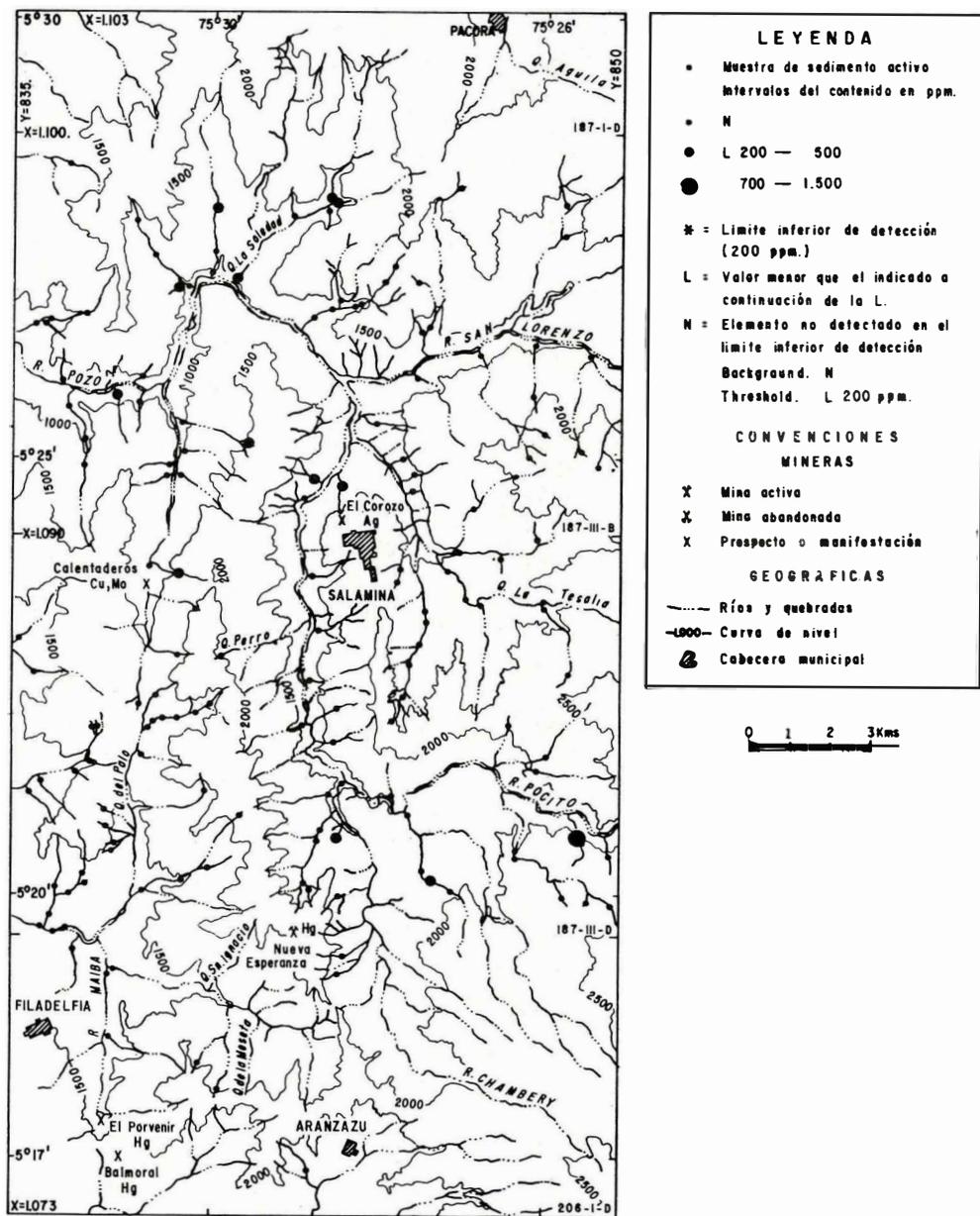


FIGURA 12: Contenido de zinc. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis espectrográfico, malla -80. Prospección geoquímica regional.

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-

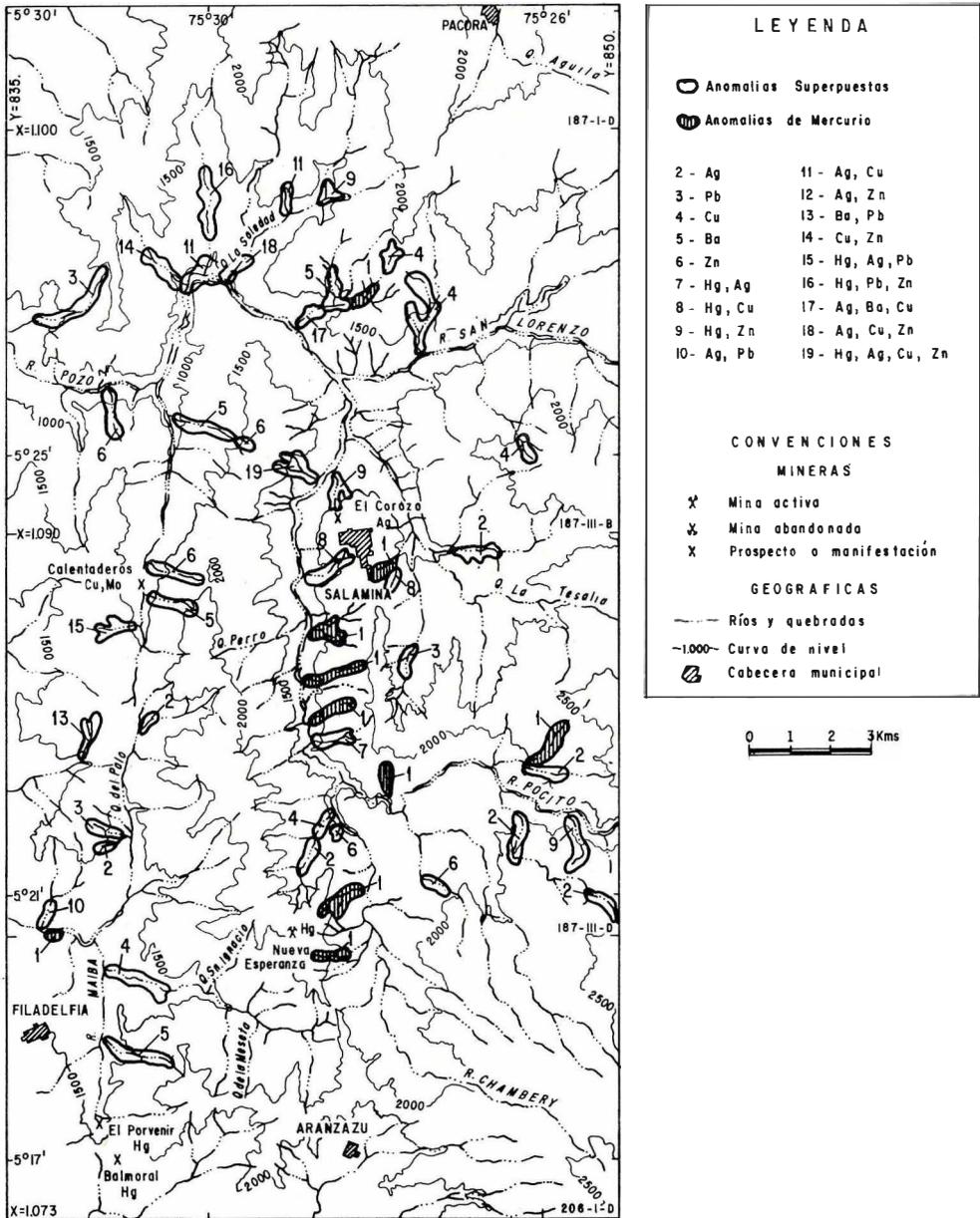


FIGURA 13: Anomalías geoquímicas.

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

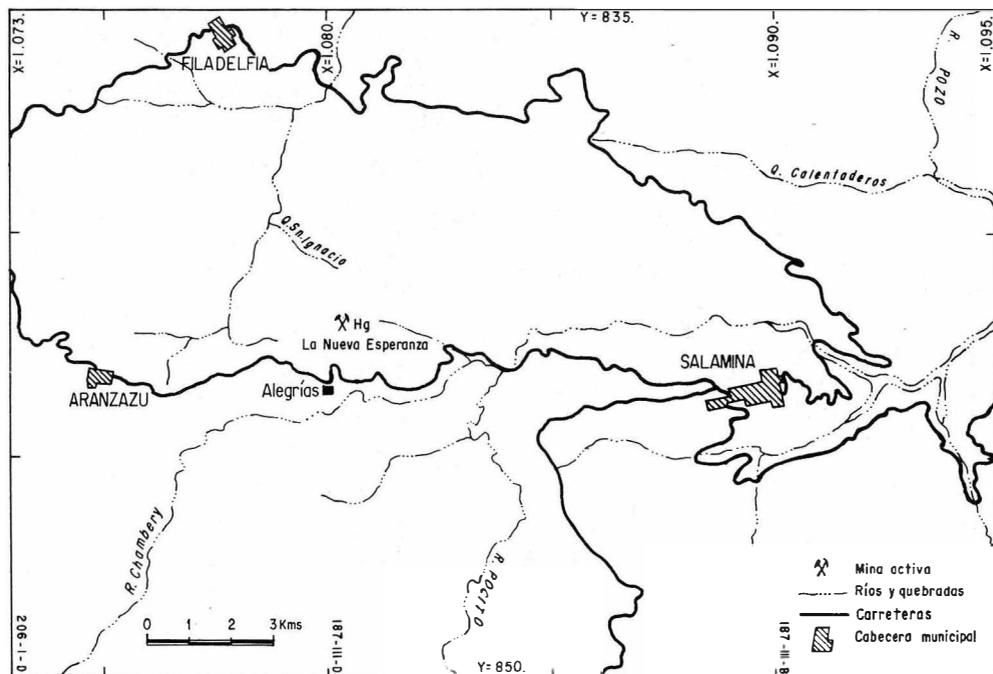


FIGURA 14: Localización de la mina de mercurio La Nueva Esperanza.

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 km<sup>2</sup>, 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 metagrauvacas de color negro, metagrauvacas calcáreas y metagrauvacas 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 grauvacas 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 interstratificados 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-

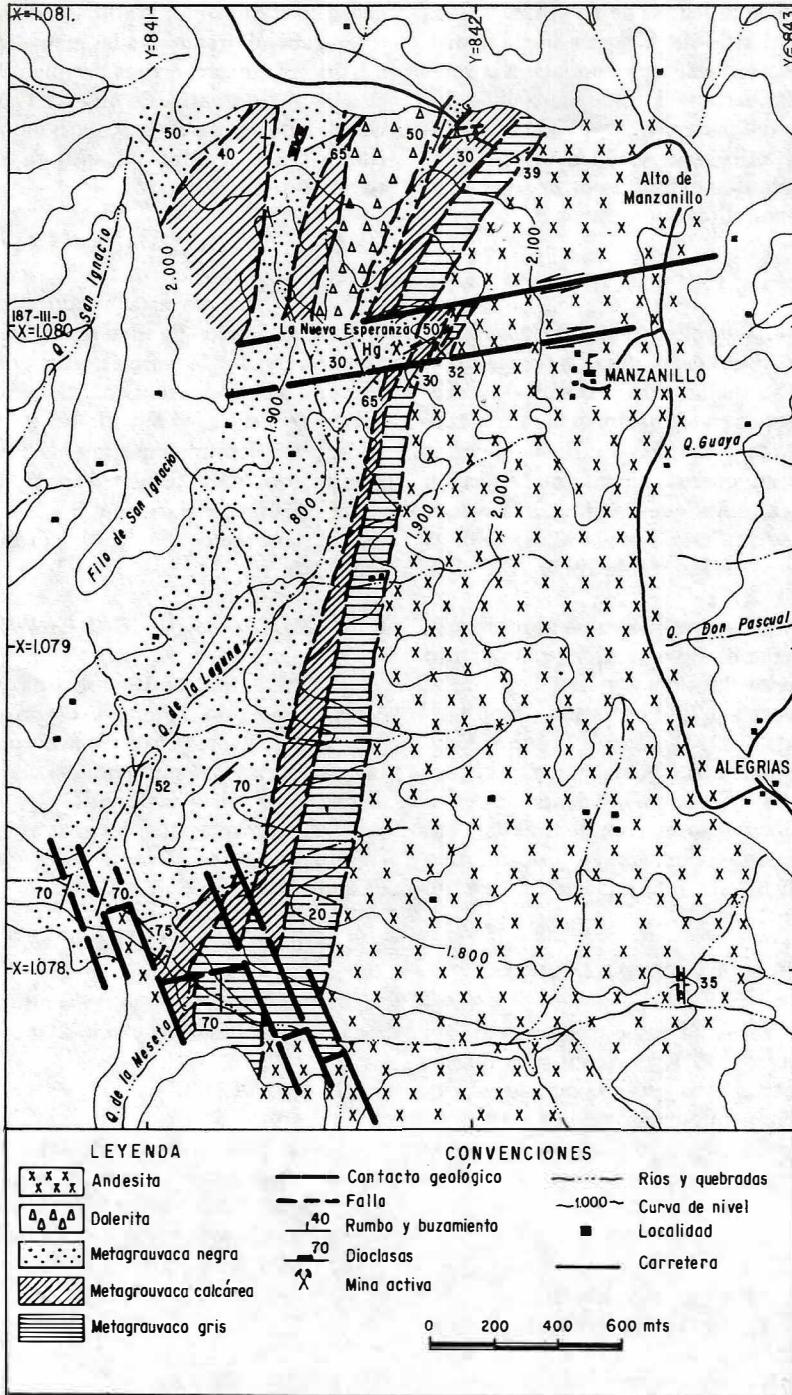


FIGURA 15: Mapa geológico de los alrededores de la mina de mercurio La Nueva Esperanza.

bular 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 (esquisto 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, saramda, 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

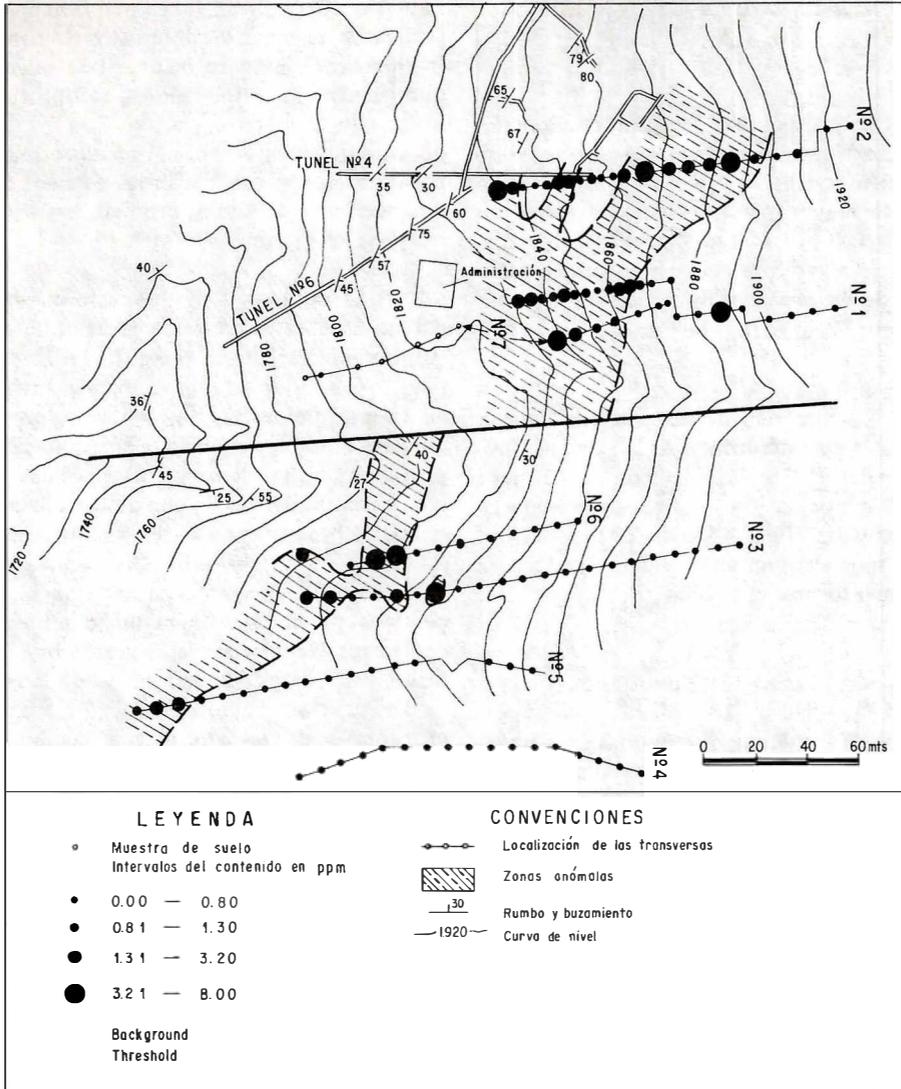


FIGURA 16: Localización de las transversas del muestreo de suelos mina La Nueva Esperanza, Aranzazu, departamento de Caldas.

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.

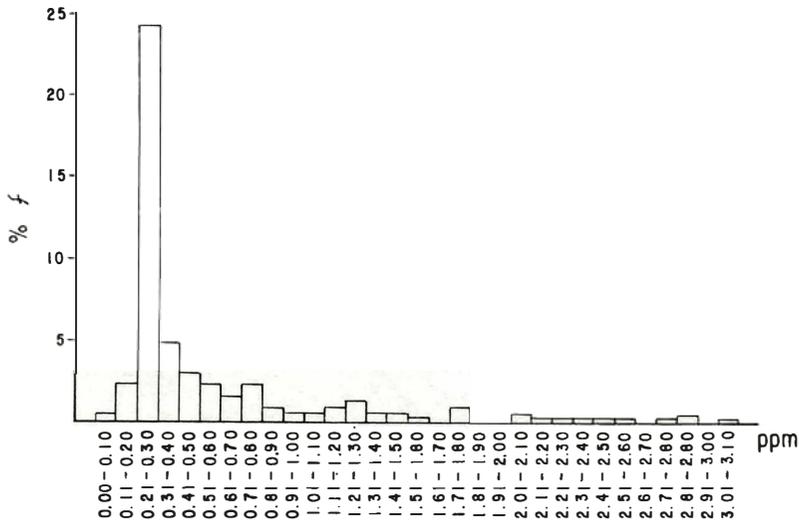
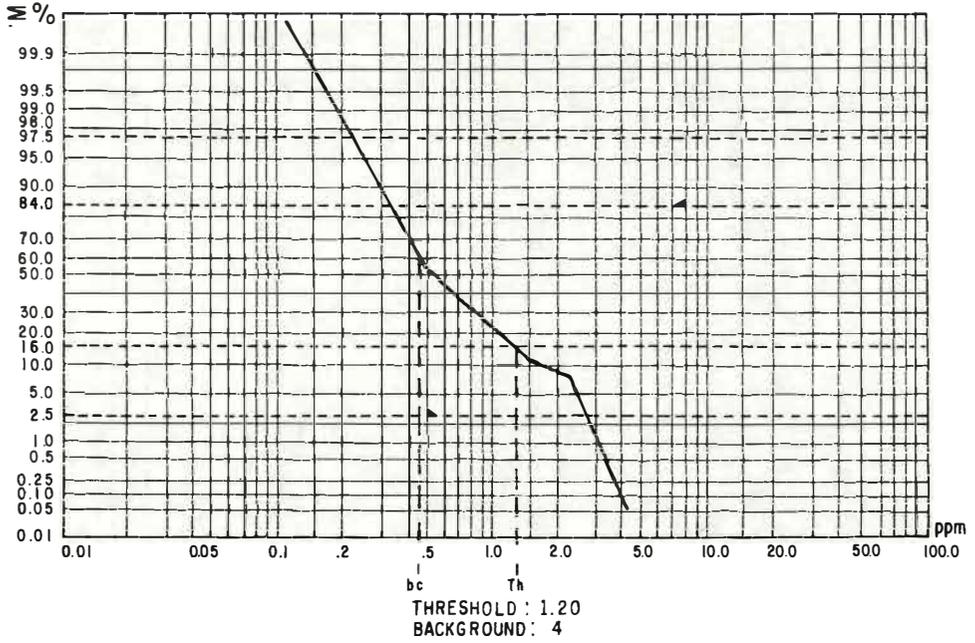


FIGURA 17: Gráfico e histogramas para la determinación de threshold y background. Mercurio. Análisis por absorción atómica. Suelos. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

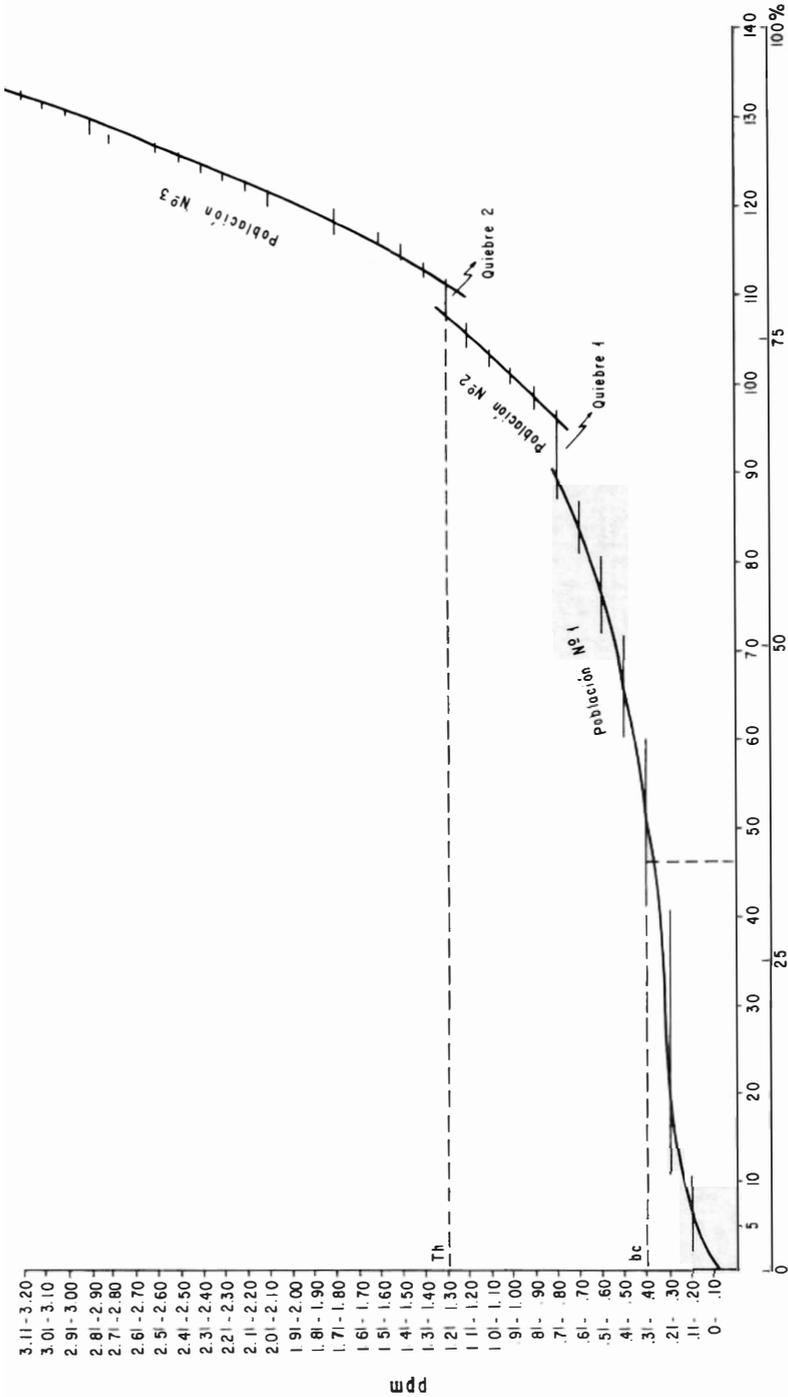


FIGURA 18: Gráfico de la curva de intervalos de concentración vs. número de muestras de mercurio. Suelos. Detector de Hg. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

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.

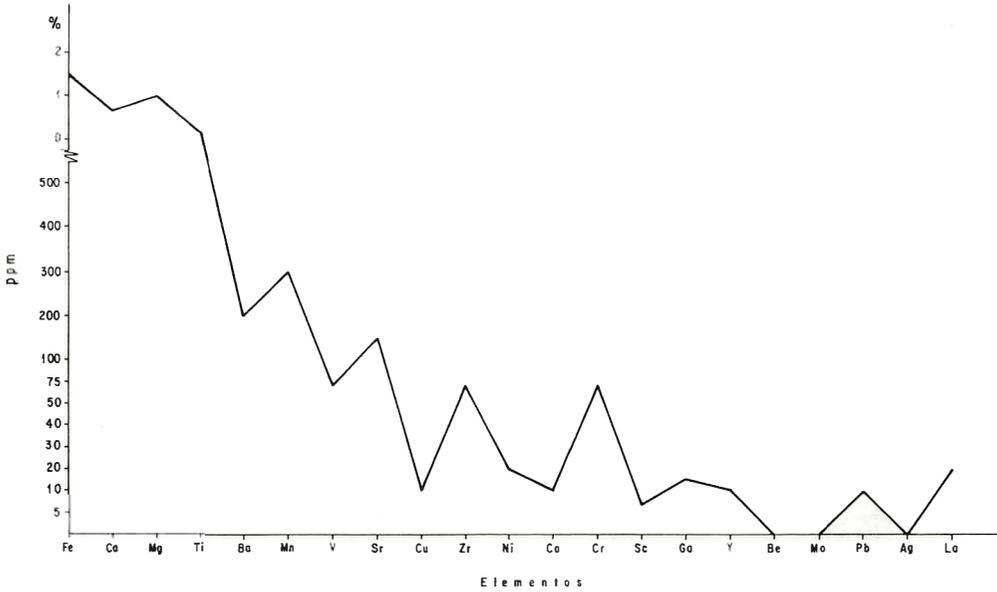


FIGURA 19: Gráfico de concentración media de elementos en suelos. Análisis espectrográfico de mercurio. Mina La Nueva Esperanza, Aranzazu, Caldas.

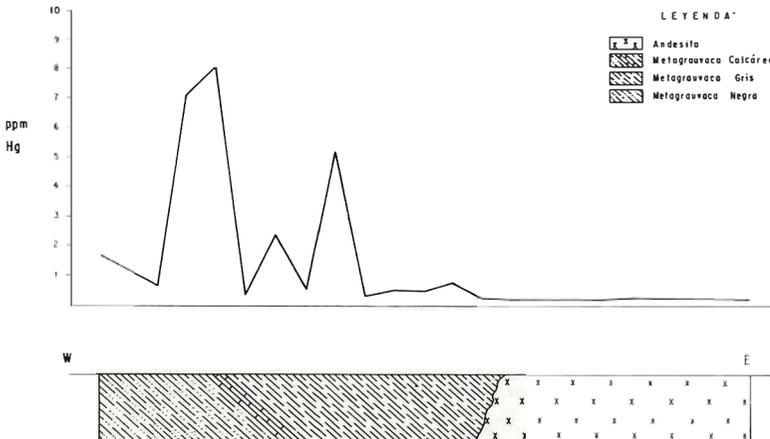


FIGURA 20: Corte geológico y concentración de Hg en los diferentes tipos de rocas. Detector de Hg. Quebrada La Esperanza, costado sur. Area de la mina La Nueva Esperanza, municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

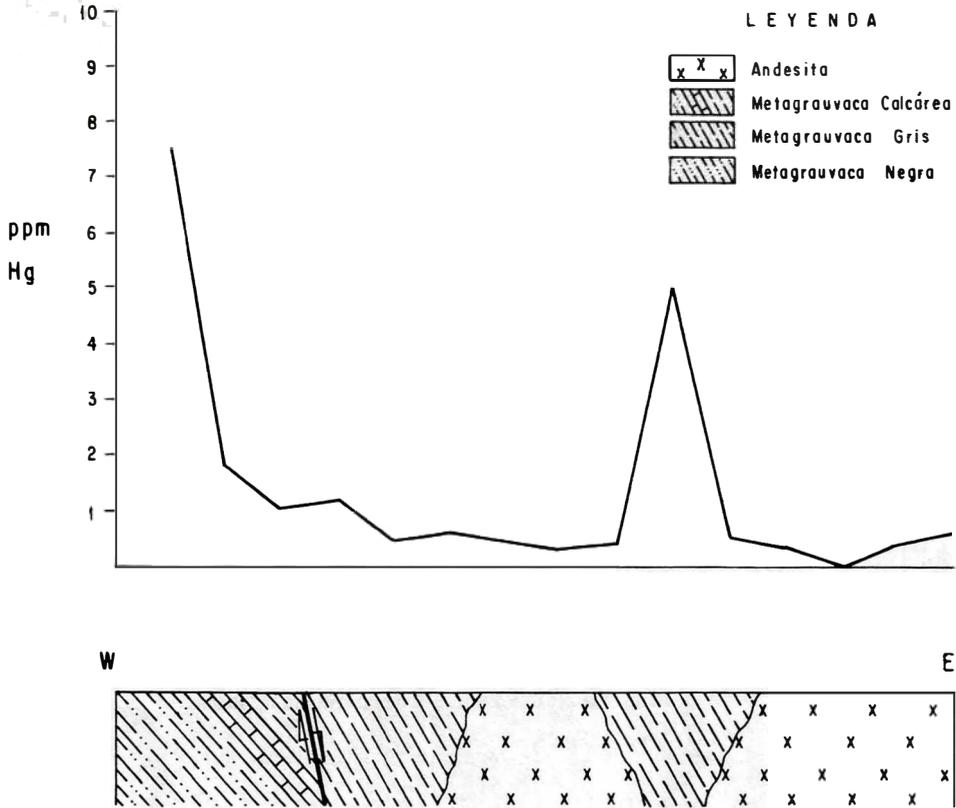


FIGURA 21: Corte geológico y concentración de Hg en rocas, transversa 3. Detector de Hg. Quebrada La Esperanza, costado norte. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

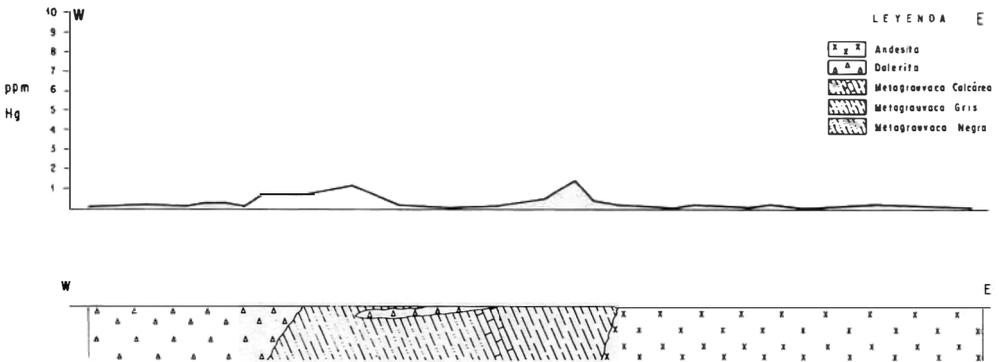


FIGURA 22: Corte geológico y concentración de Hg en rocas. Detector de Hg. Carretera El Roblal. Area de la mina La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

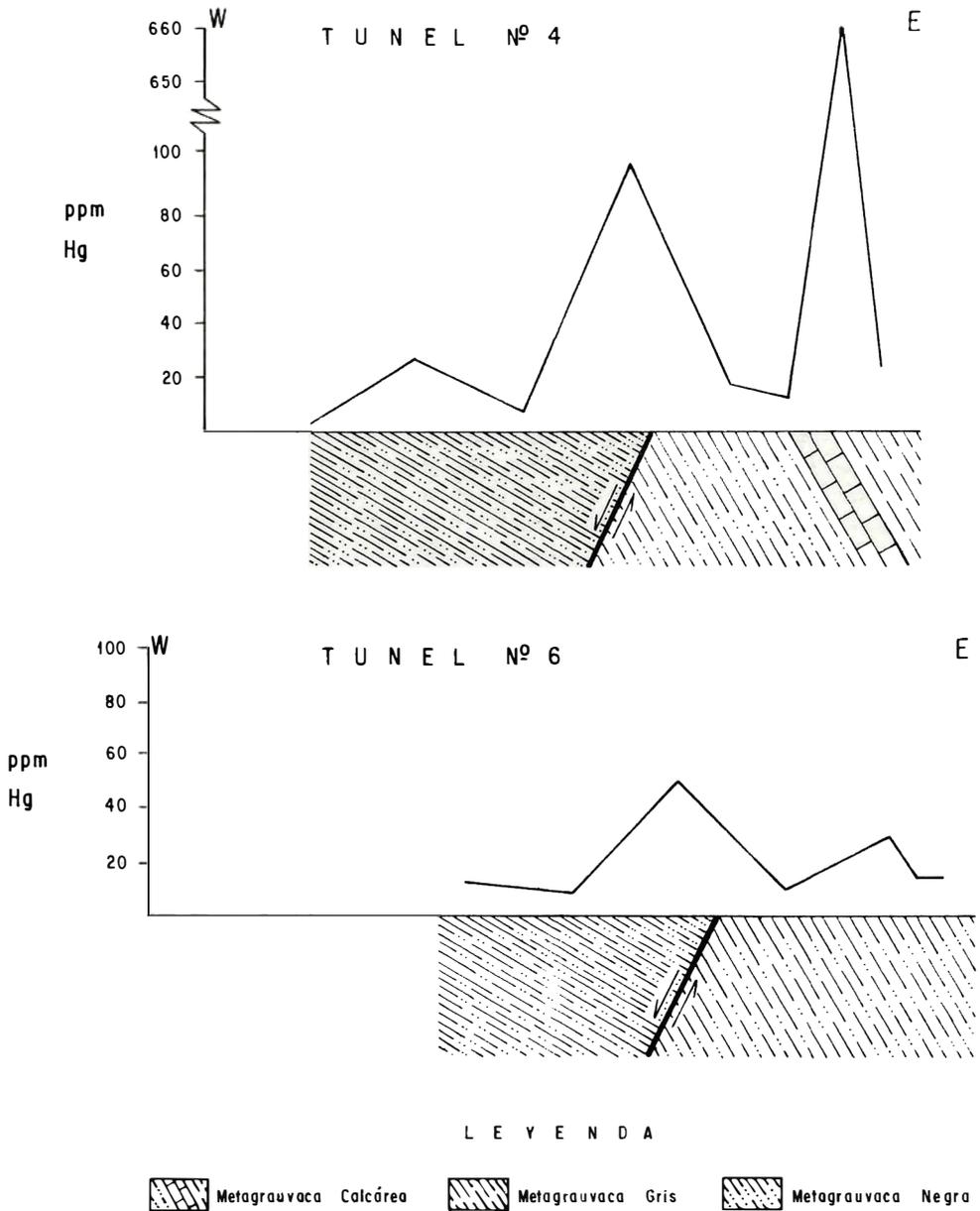


FIGURA 23: Corte geológico y concentración de Hg en rocas. Detector para Hg. Túneles 4 y 6. Mina de La Nueva Esperanza. Municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

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	-	1	15	200	500	100	150	15	100	20	15	-	-	-	-	L1	-	L10	-	20
HL-4127	0,79	1,5	-	1	15	200	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	-	L1	-	L10	-	-
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	-	1	.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	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.

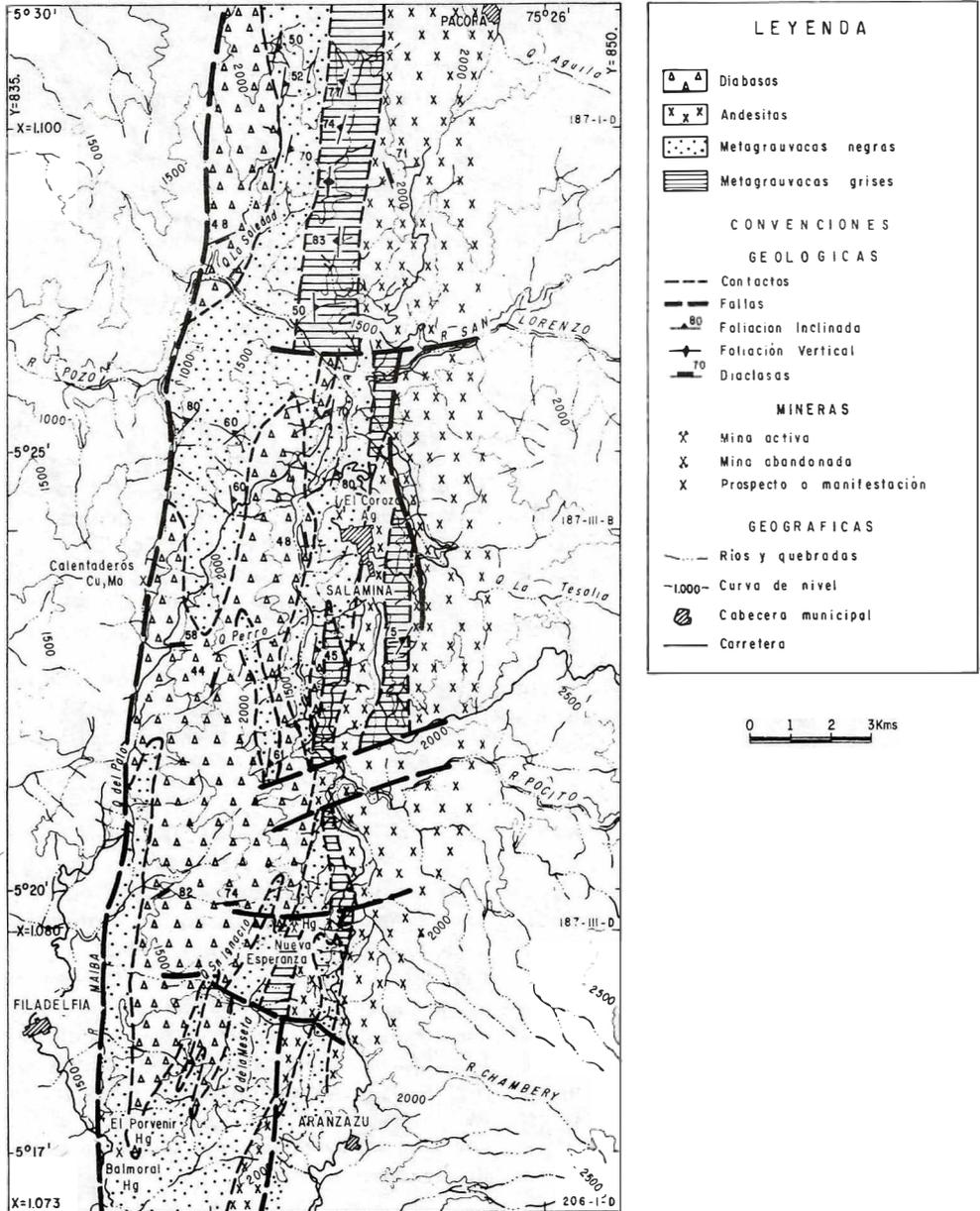


FIGURA 24: Mapa geológico detallado.

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-

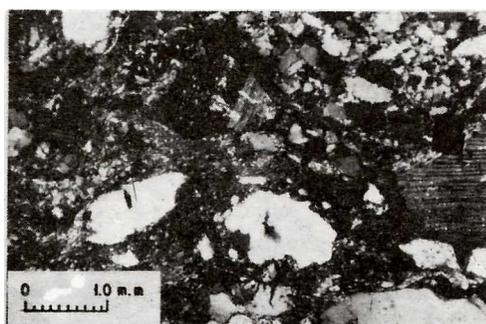
parada con los otros materiales, además, la baja concentración de fragmentos de roca, es característica la presencia de grafito y el alto contenido de granos de cuarzo comparado con plagioclasa (Fig. 26) (Foto HL 4181-IGM 100228; CB 3157-IGM 102477; HP 5355-IGM 101704; HP 5509-IGM 101714).

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

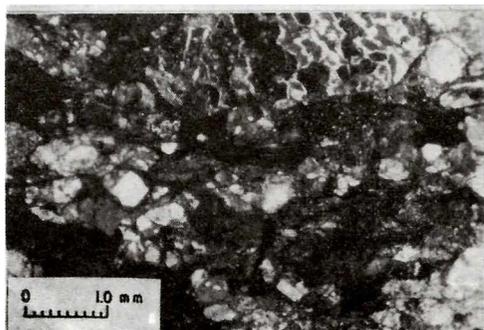
Se estudiaron 10 secciones delgadas. Estas rocas presentan concentraciones no mayores de 10% de cuarzo y plagioclasa en forma de granos pequeños embebidos erráticamente en una matriz compuesta esencialmente por arcilla y grafito con cantidades variables de calcita. Como minerales accesorios se encuentran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



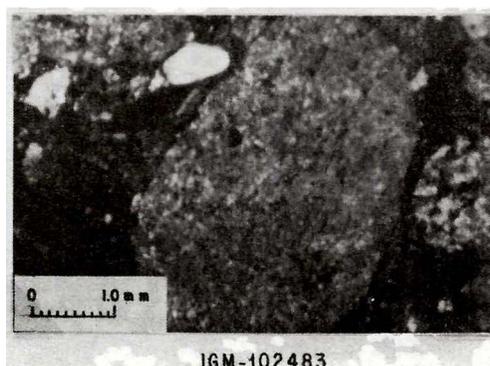
IGM-102512



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).

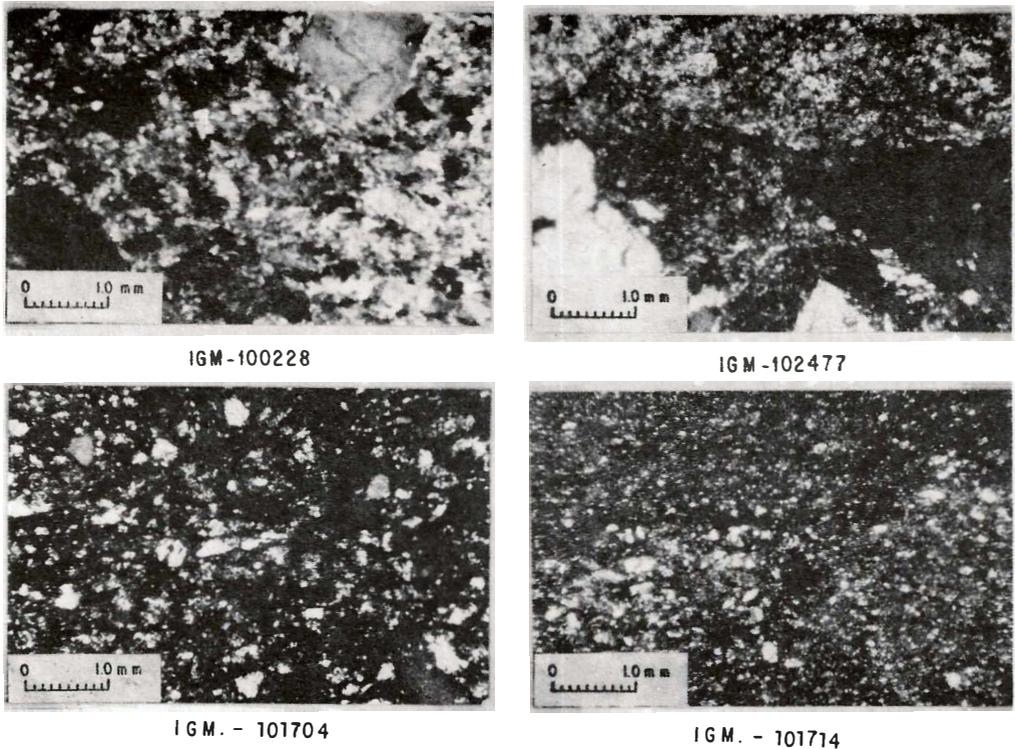


FIGURA 26: Fotografías de secciones delgadas de metasedimentos. Grauvacas grises; caracterizadas por abundancia de matriz, bajo contenido de fragmentos de roca y presencia de grafito. Muestras (HL 4181 - IGM 100228) (CB 3157 - IGM 102477) (HP 5355 - IGM 101704) (HP 5509 - IGM 101714).

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).

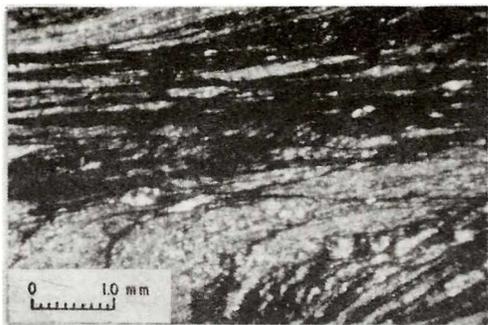
## 7.1.2. ROCAS IGNEAS

**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.

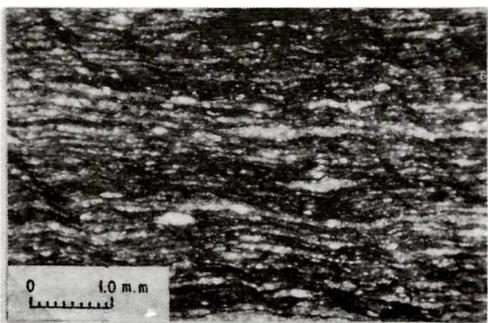
Plagioclasa (An 40): varía entre 30 y 40%; cristales maclados euhedrales y laths erráticamente distribuidos y parcialmente alterados a clorita, sericita y epidotas. Piroxeno (Augita): varía entre 2 y 5%; cristales euhedrales relativamente frescos y frecuentemente maclados. algunos muestran textura ofítica 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.

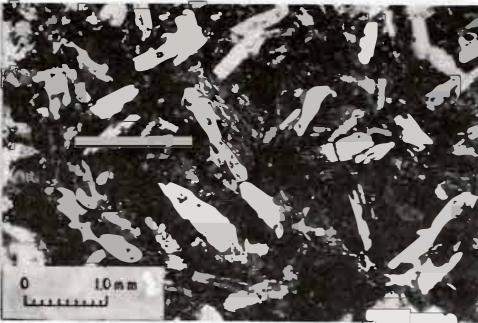
Los afloramientos más espectaculares en donde se observa el carácter intrusivo de las andesitas a través de las brechas, están localizados a 3 km al noroeste de Aranzazu en la quebrada Chupaderos que corre en dirección oeste. En este sitio, los fragmentos angulares que contienen la brecha están compuestos 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 clásicos, pero posiblemente dentro de los mismos procesos geológicos característicos de la formación de una zona de subducción.

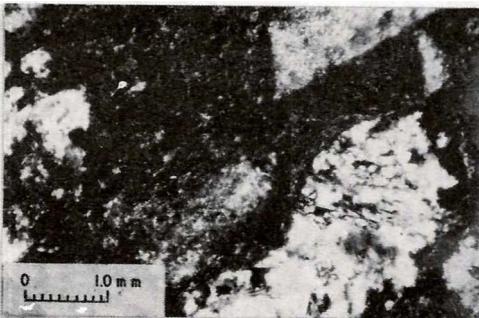
Se estudiaron 16 secciones delgadas descendentes: esta roca presenta textura holocristalina porfirítica seriada con fenocrista-



IGM-100238



IGM-100227



IGM-102475

**FIGURA 28:** Fotografías de secciones delgadas de rocas ígneas. Doleritas. Algunas muestras 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).

de 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 sauzuritización. 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-

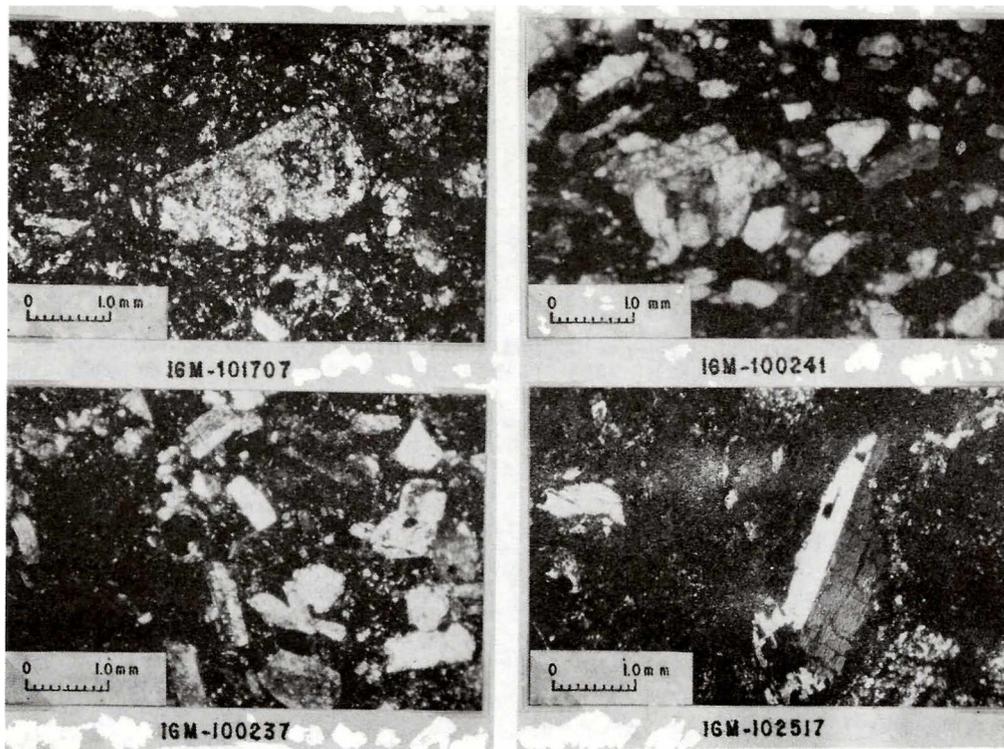


FIG. 29. Fotografías de secciones delgadas de rocas ígneas. Andesitas. En algunos sectores se observan fragmentos de chert, grauwacas y shales embebidos en andesita principalmente cerca al contacto con los metasedimentos. (HP 5398 - IGM 101707) (HL 5436 - IGM - 100237) (HP 5577 - IGM 102517).

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:

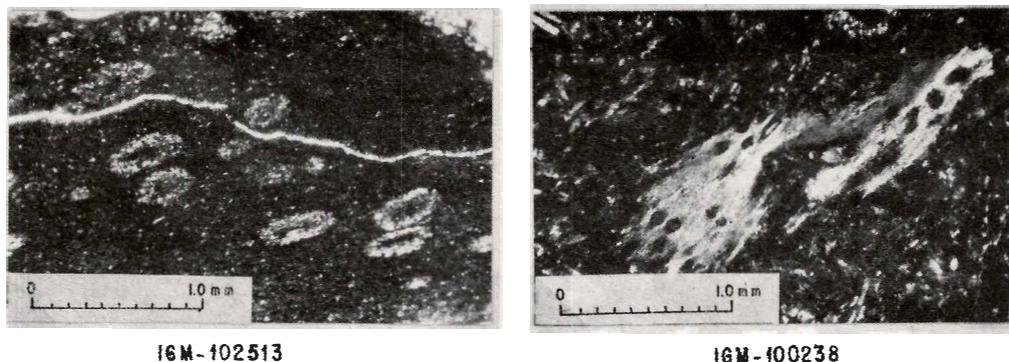
Tiene dirección que varía entre N-S y  $N15^{\circ}E$ . Es la dirección de fracturamiento predominante en el área, muestra fracturas relativamente continuas y largas, que en la mayoría de los casos coinciden con la foliación regional de las rocas.

#### Sistema 2:

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

#### Sistema 3:

La dirección varía entre  $N20^{\circ}W$  y  $N40^{\circ}W$ . 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 km<sup>2</sup>, 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

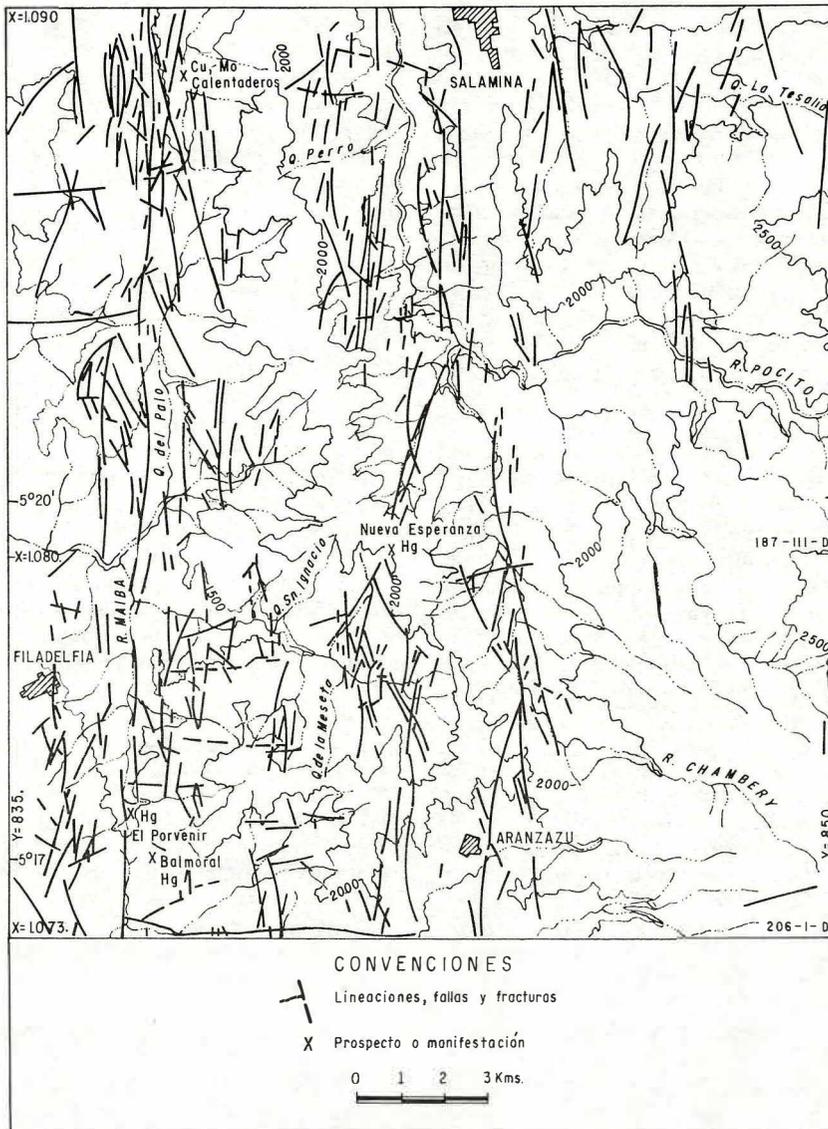


FIGURA 31: Mapa de fracturas. Tomado de mapa fotogeológico de la región Aranzazu, Salamina, departamento de Caldas. Elaborado por Geocolombia (1969) para Compañía Minera Nueva Esperanza S.A.

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 km<sup>2</sup> se colectaron 613 muestras de sedimentos activos finos lo cual representa 2,3 muestras por km<sup>2</sup>. 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 nort-sur, 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

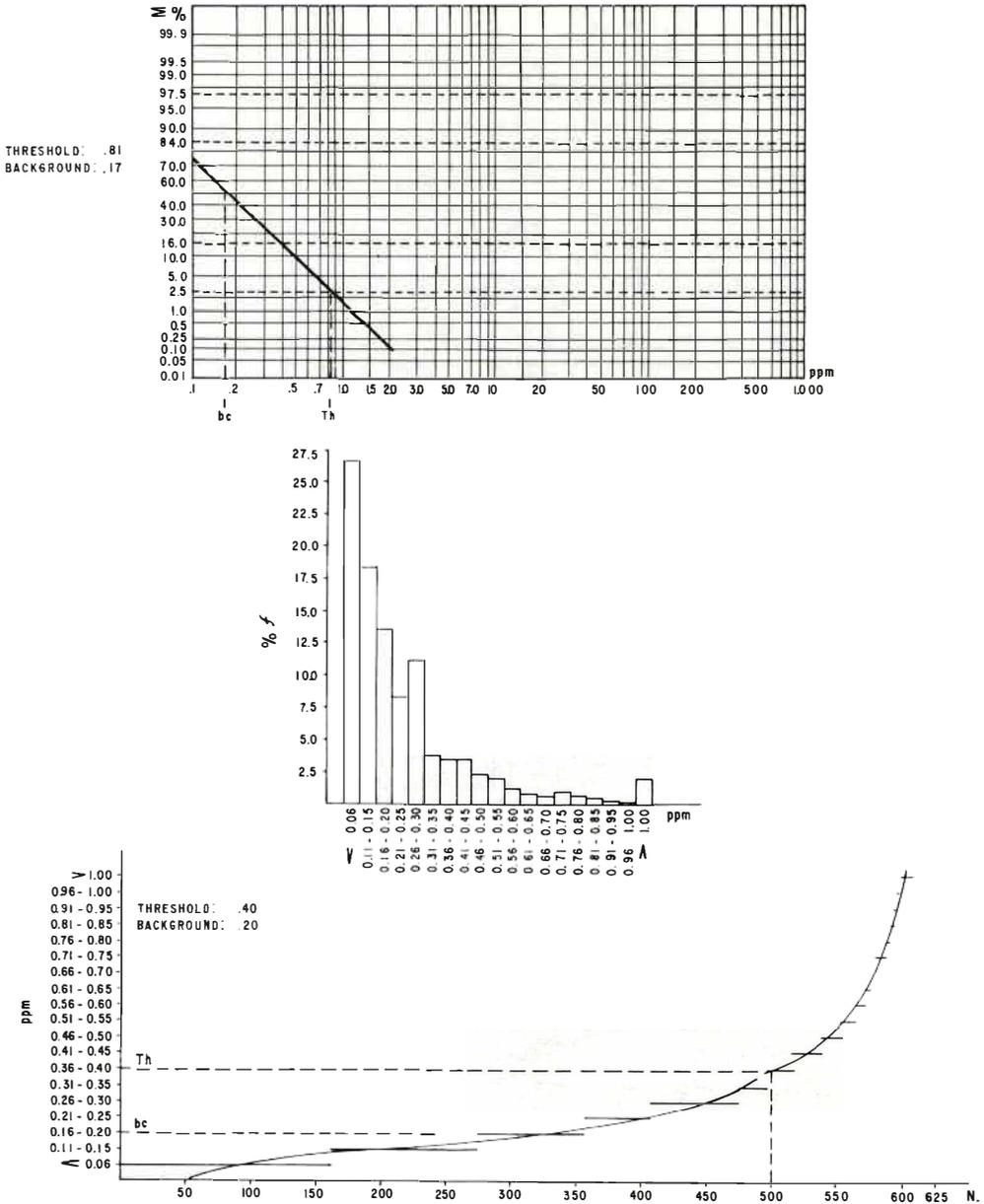


FIGURA 32: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Mercurio. Análisis por detector. Finos seleccionados. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

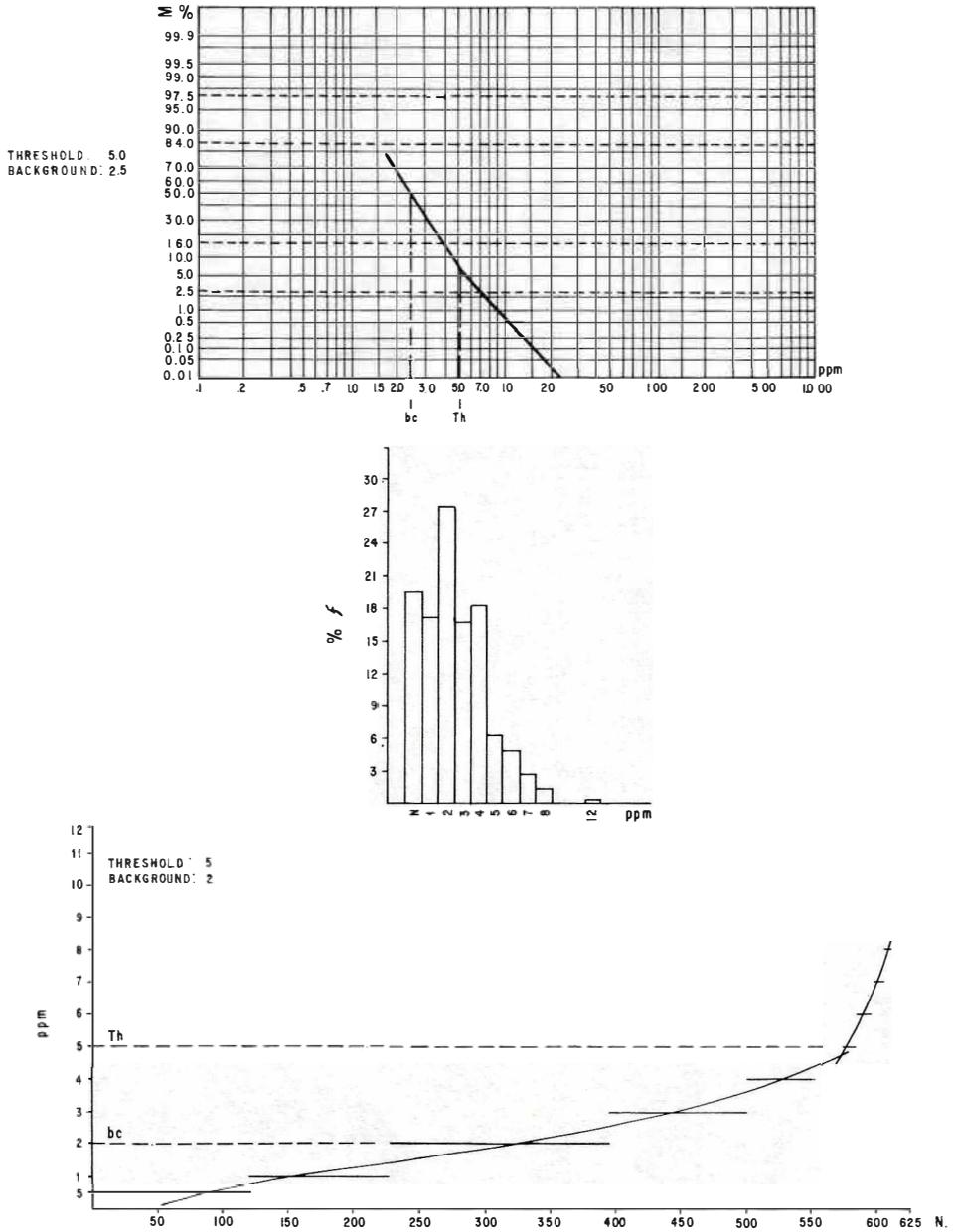


FIGURA 33: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Antimonio. Análisis colorimétrico. Finos seleccionados. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

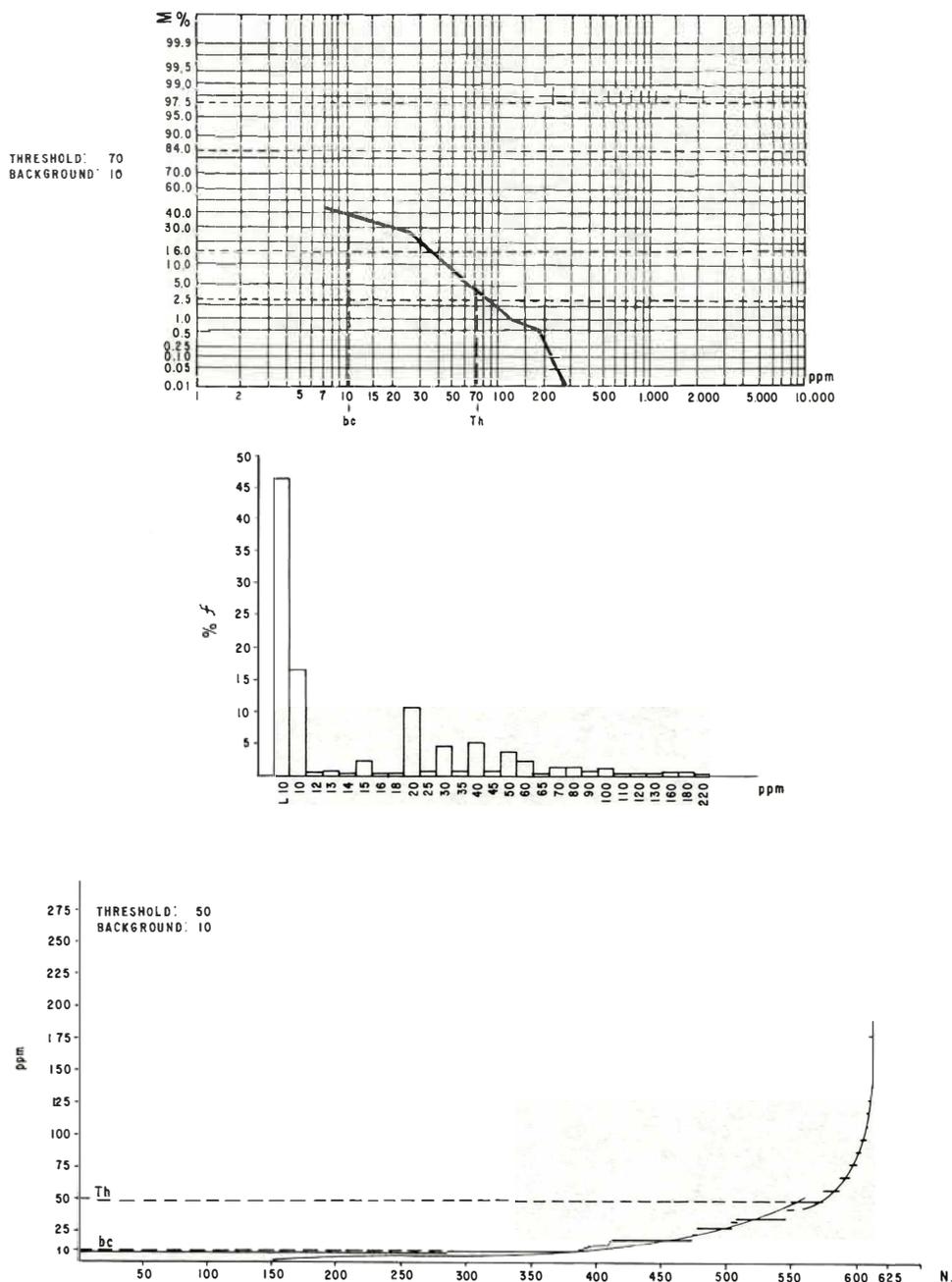


FIGURA 34: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Arsénico. Análisis colorimétrico. Finos seleccionados. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

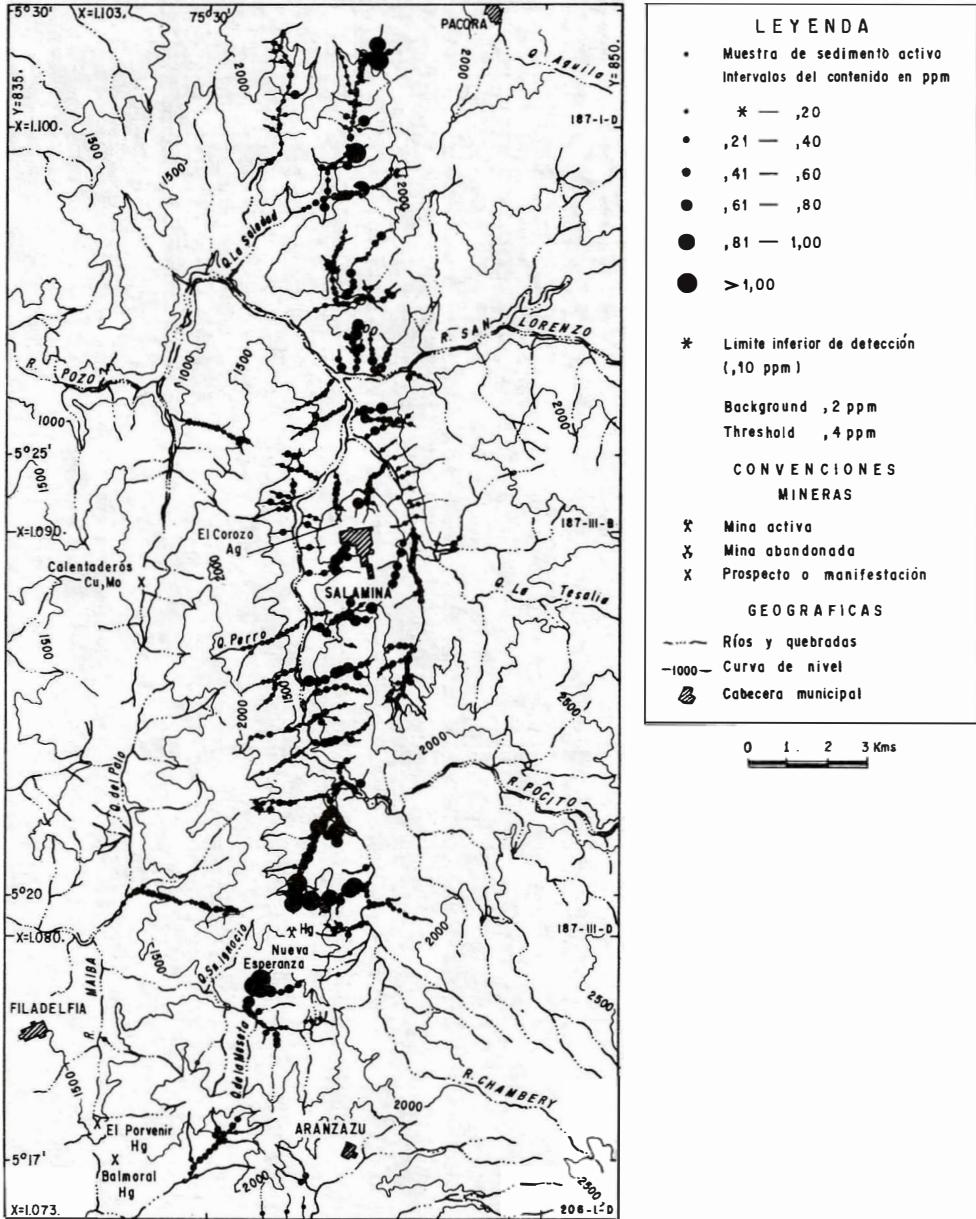


FIGURA 35: Contenido de mercurio. Sedimentos activos, fracción fina. Detector para Hg, mala -80. Prospección geoquímica detallada.

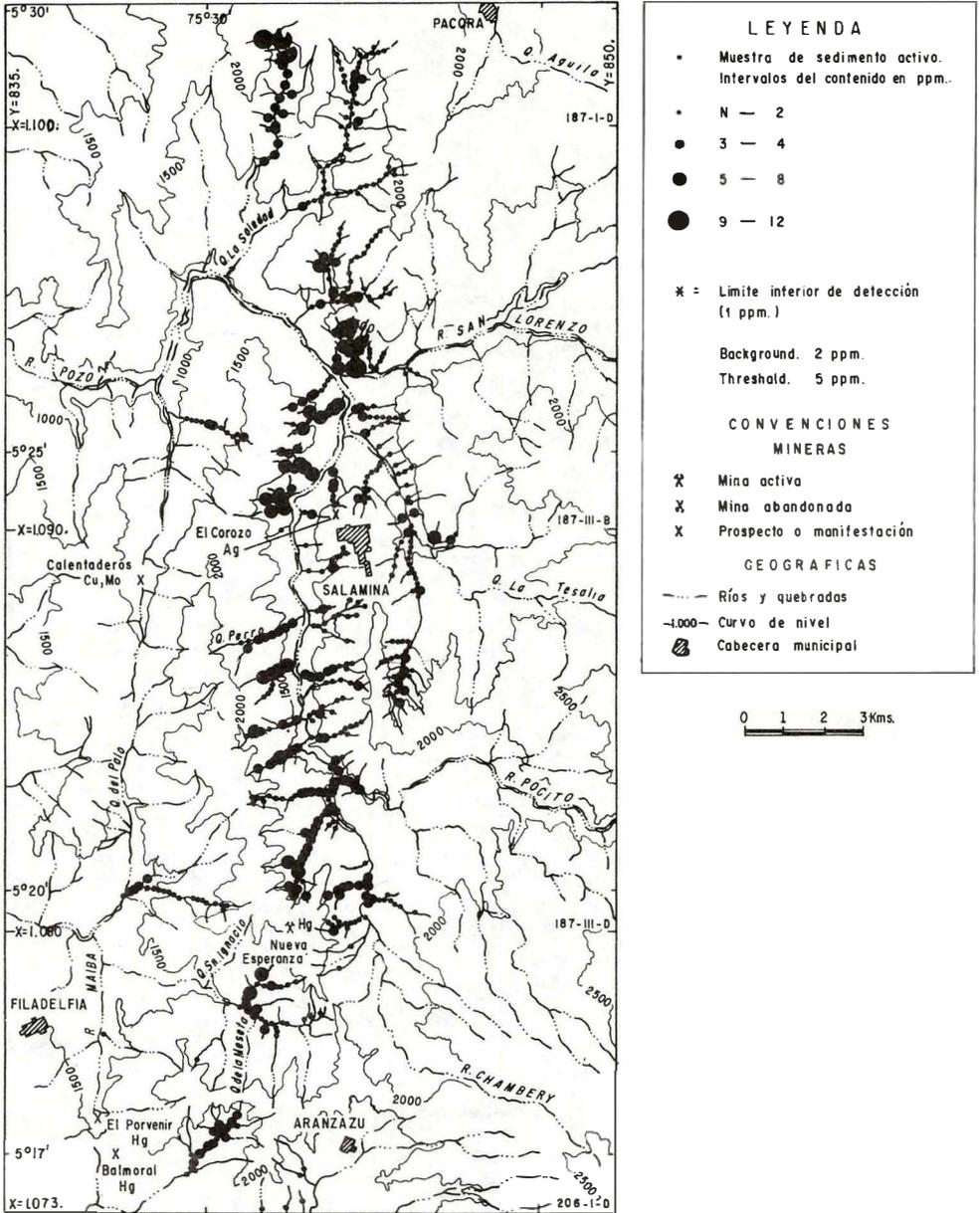


FIGURA 36: Contenido de antimonio. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis colorimétrico, malla -80. Prospección geoquímica detallada.

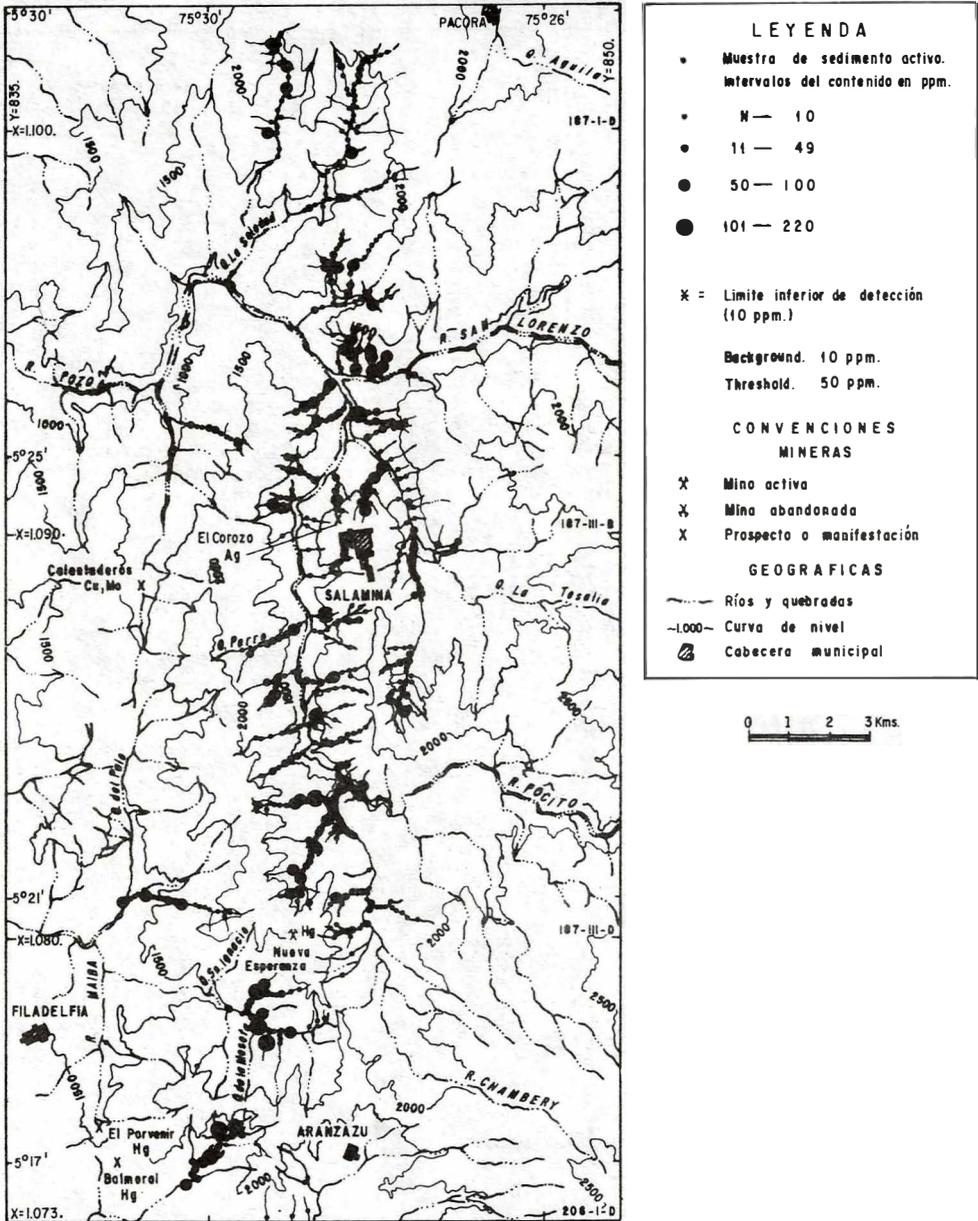


FIGURA 37: Contenido de arsénico. Sedimentos activos, fracción fina. Análisis colorimétrico, malla -80. Prospección geoquímica detallada.

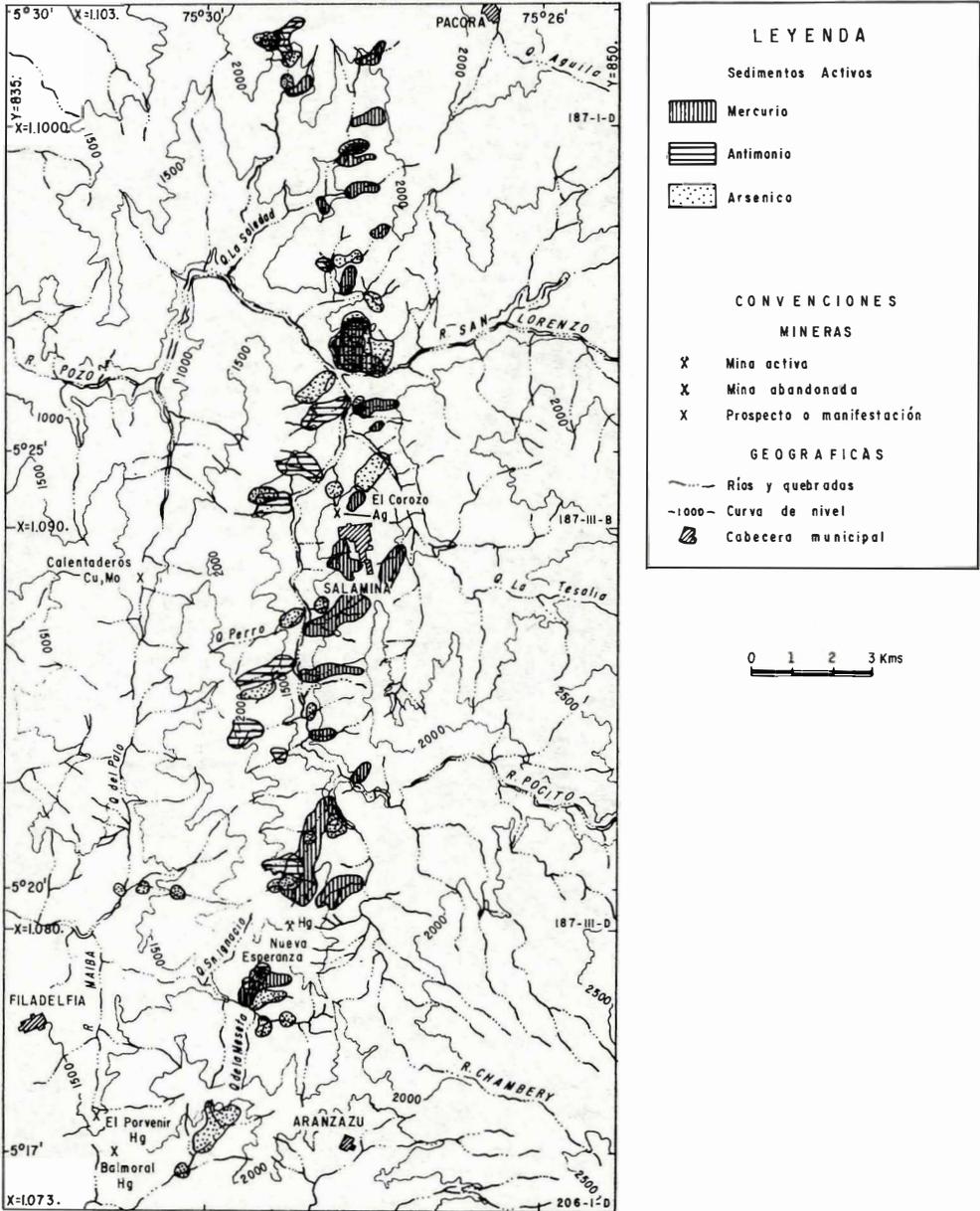


FIGURA 38: Anomalías de Hg, As y Sb. Sedimentos activos, fracción fina. Prospección geoquímica detallada.

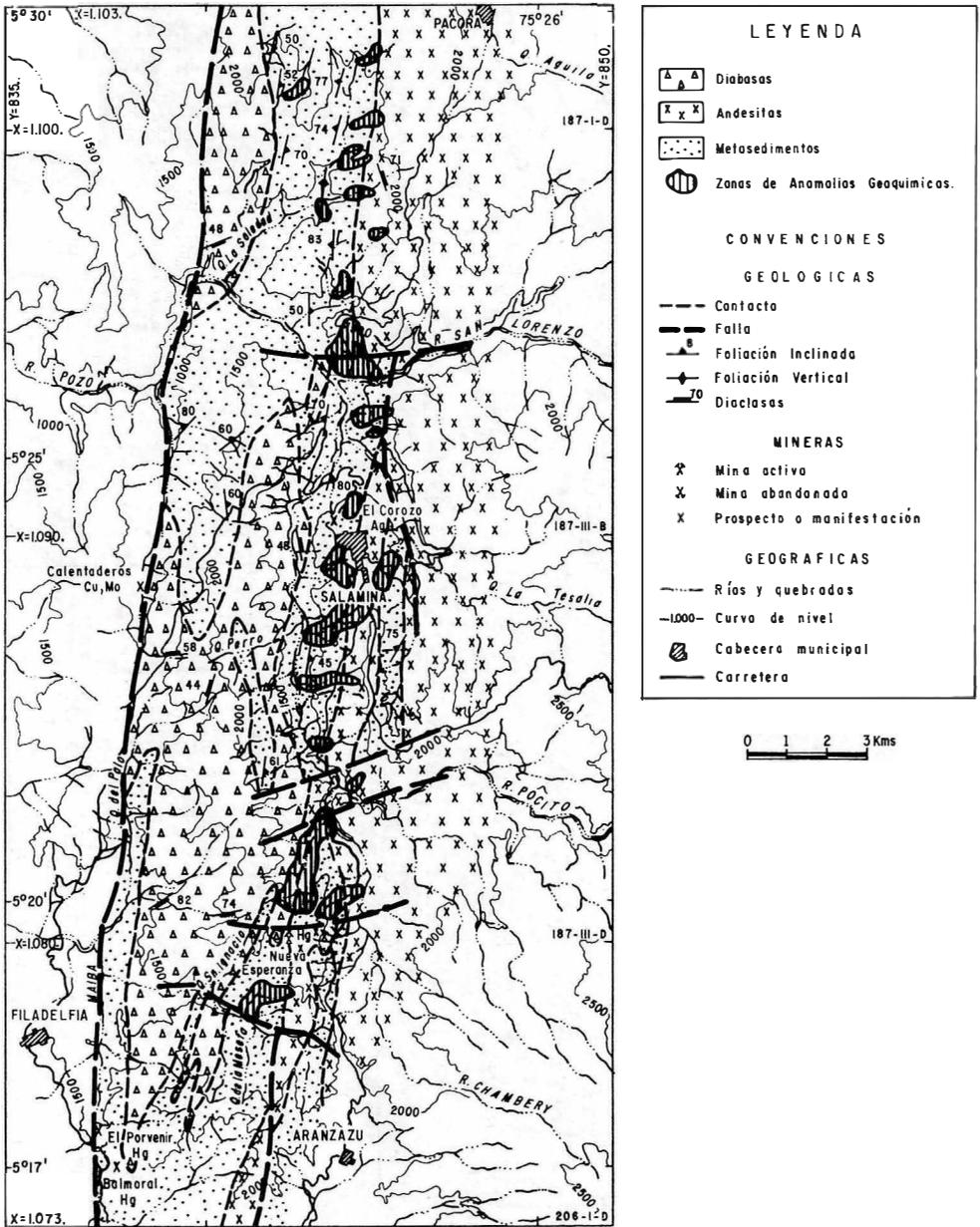


FIGURA 39: Mapa geológico detallado con anomalías de mercurio.

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 compararlos 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.

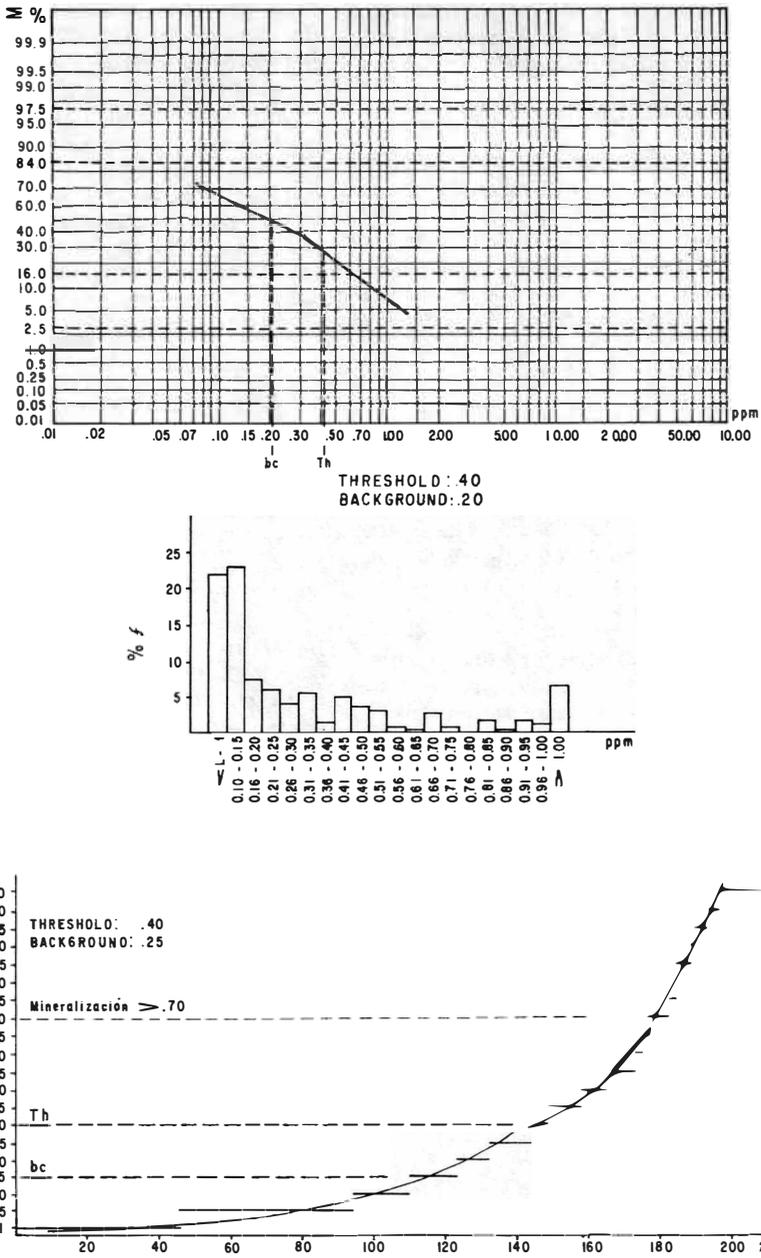


FIGURA 40: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Mercurio. Análisis por detector rocas. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

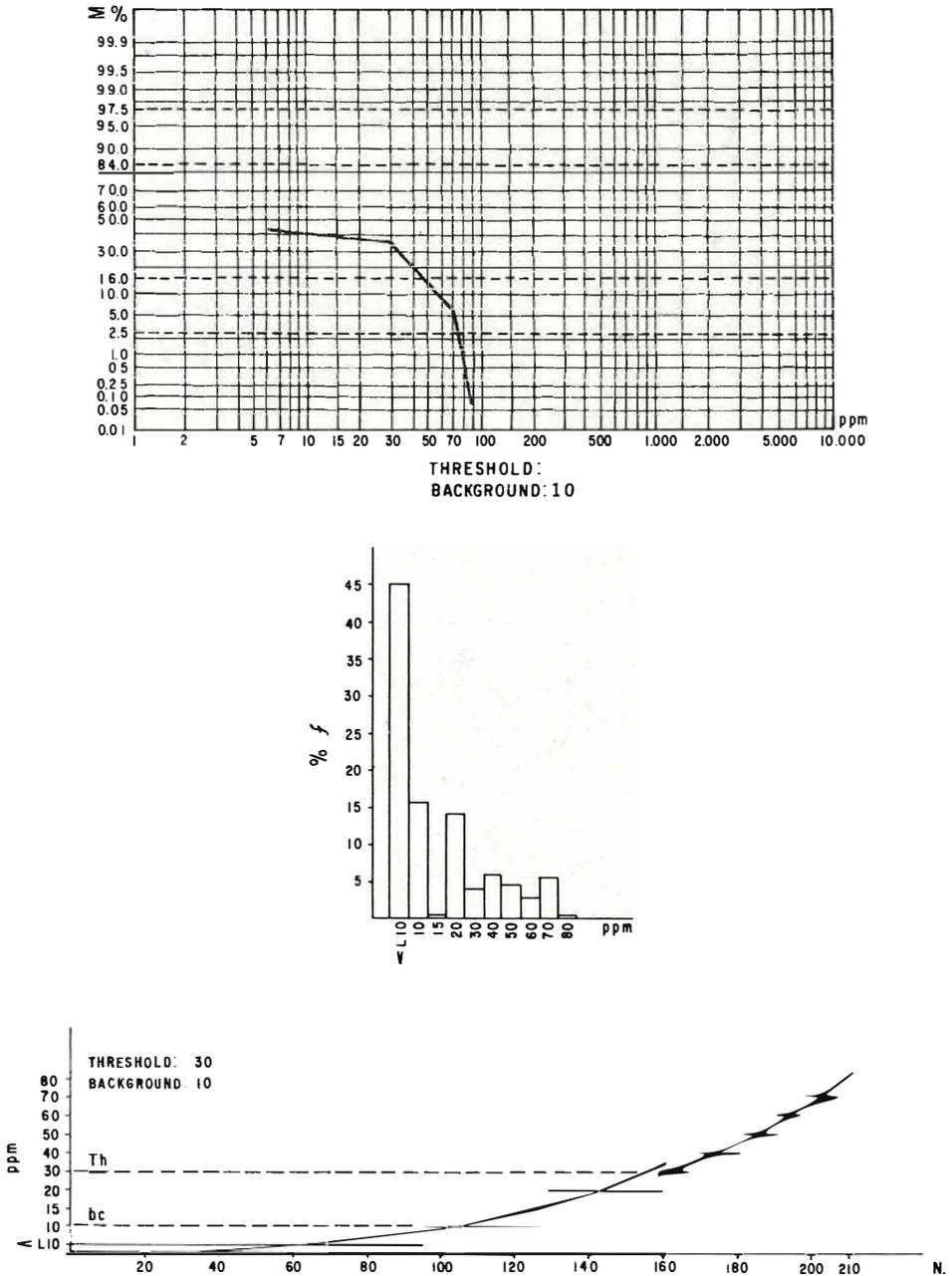


FIGURA 41: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Arsénico. Análisis colorimétrico. Rocas. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

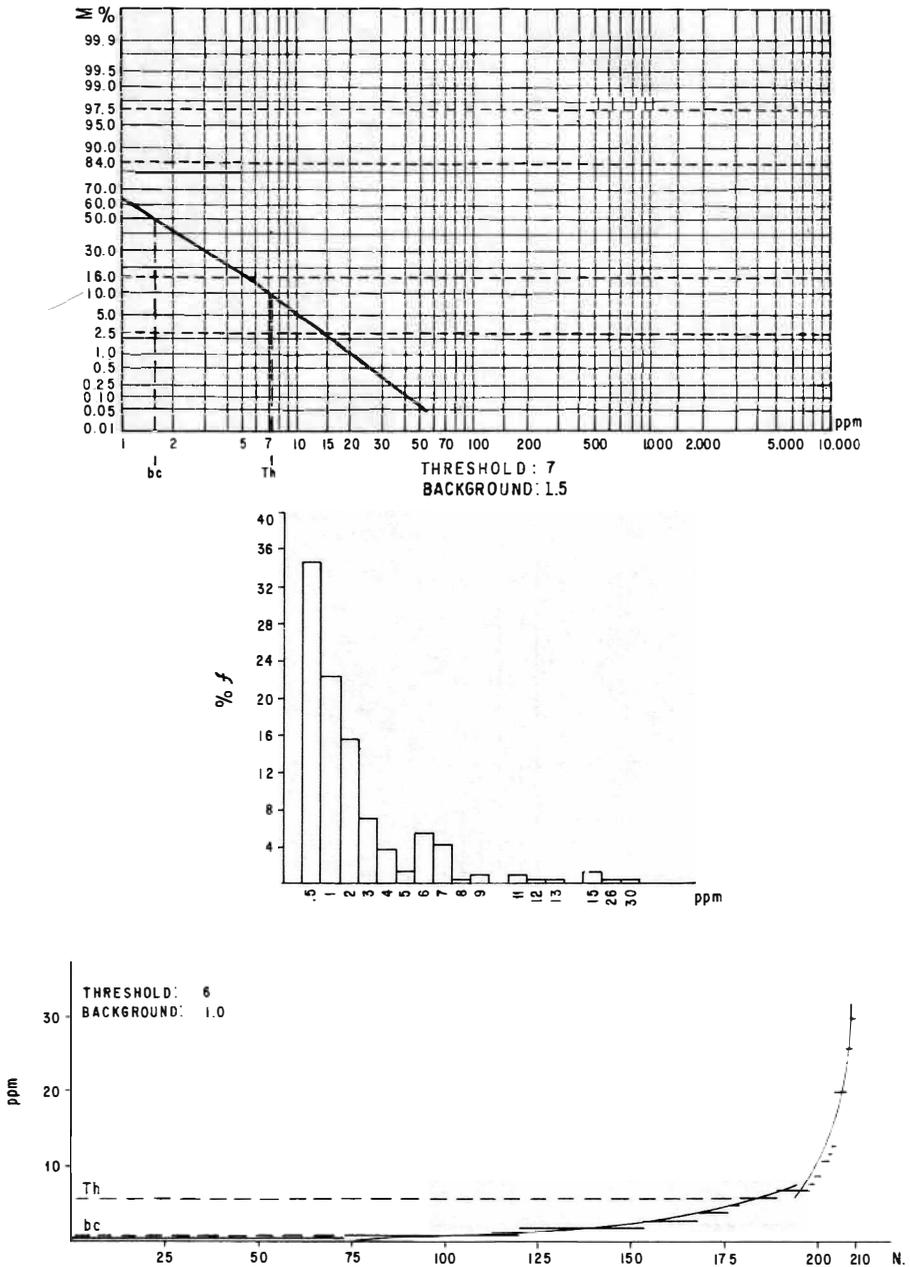


FIGURA 42: Gráficos e histogramas para la determinación de threshold y background. Antimonio. Análisis colorimétrico. Rocas. Prospección geoquímica detallada. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

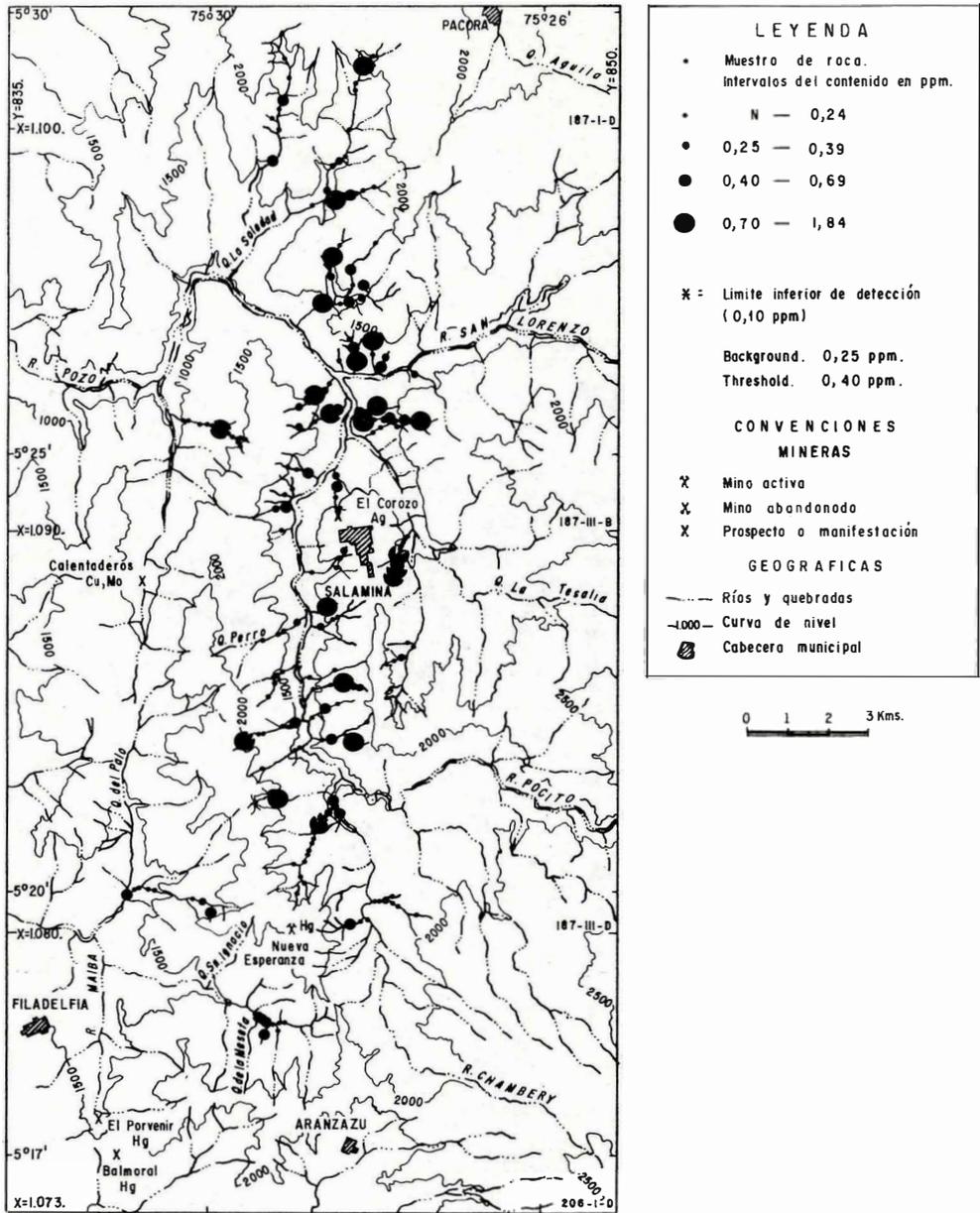


FIGURA 43: Contenido de mercurio. Rocas. Detector para Hg, malla -80. Prospección geoquímica detallada.

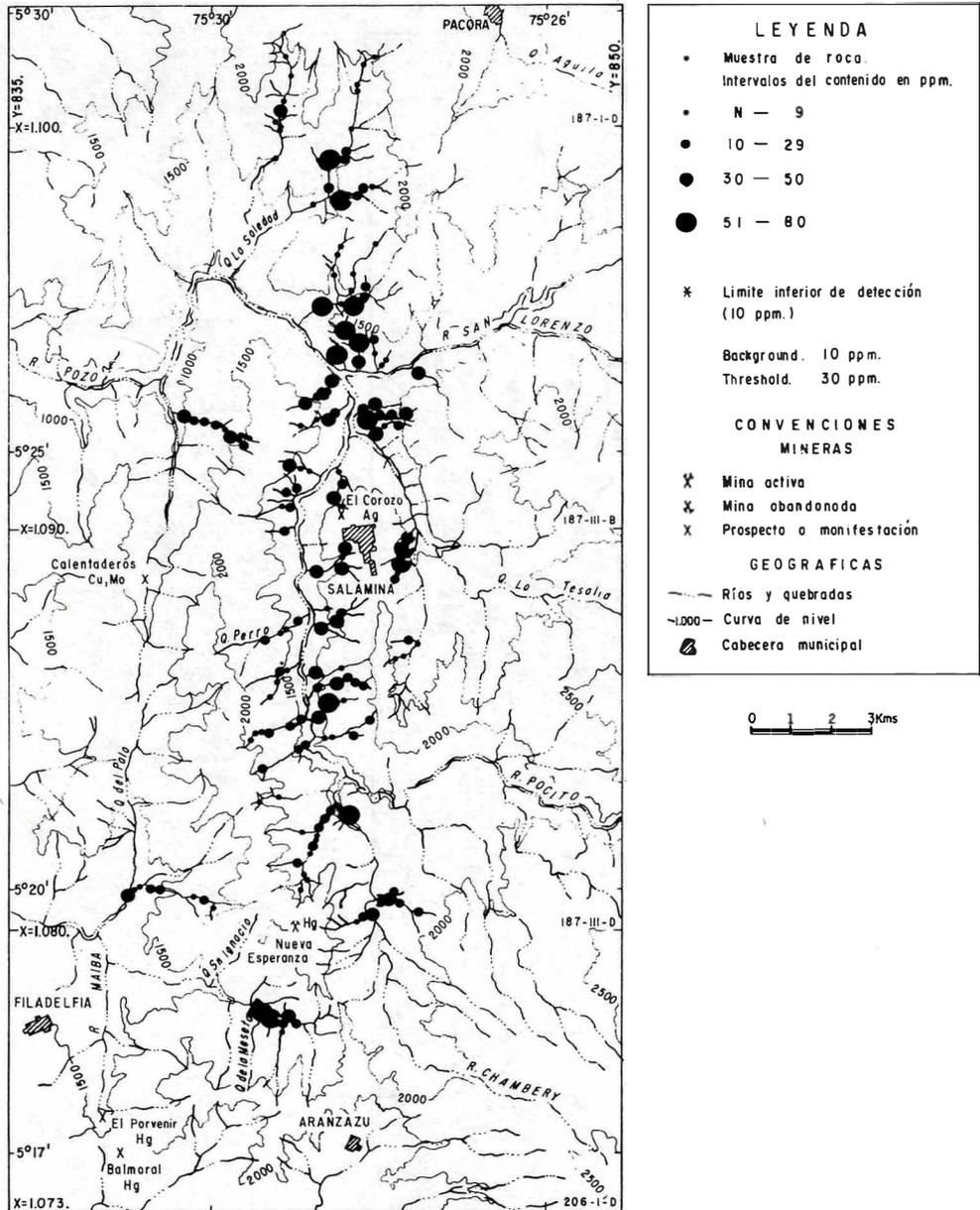


FIGURA 44: Contenido de arsenico. Rocas. Análisis colorimétrico, malla -80. Prospección geoquímica detallada.

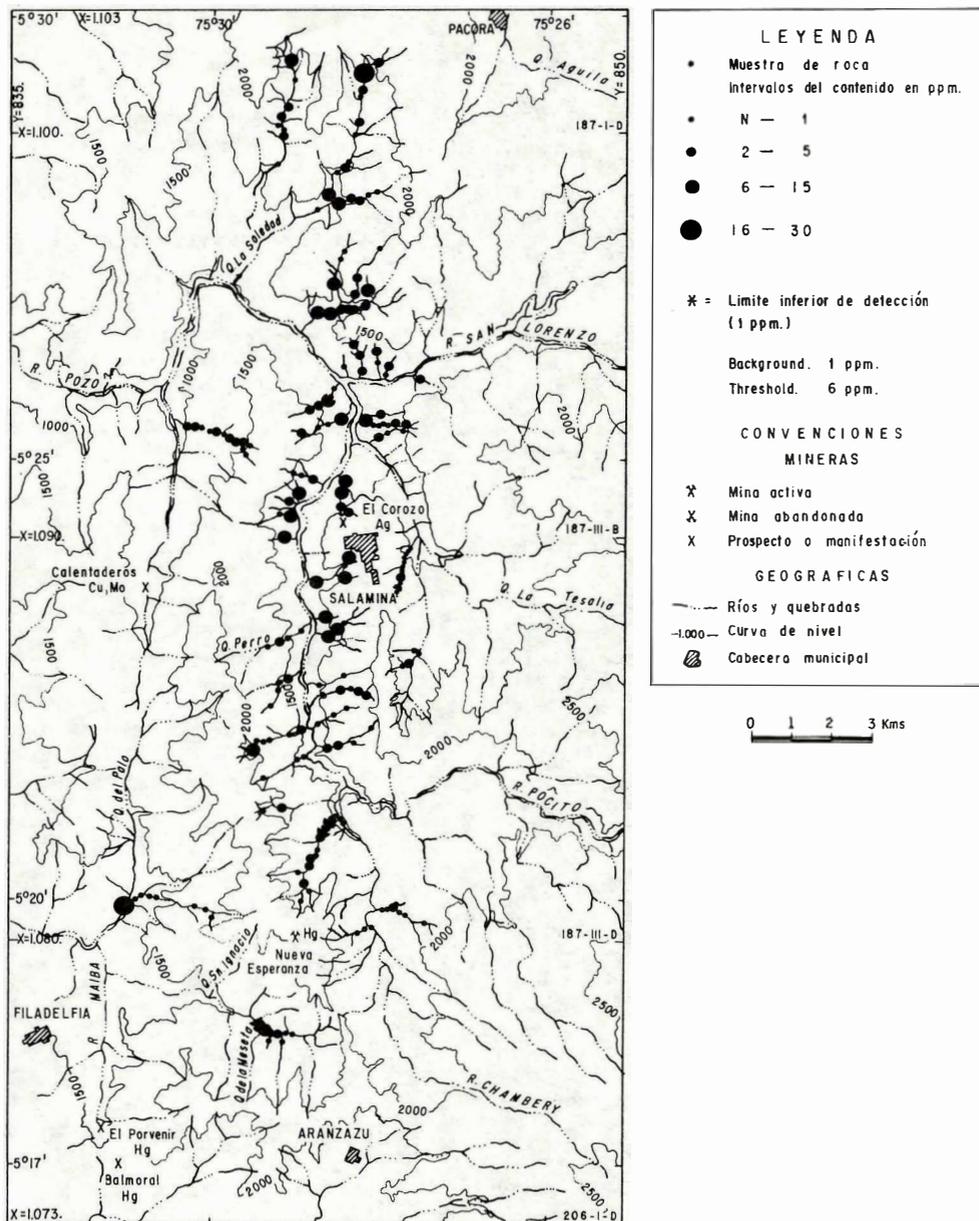


FIGURA 45: Contenido de antimonio. Rocas. Análisis colorimétrico, malla -80. Prospección geoquímica detallada.

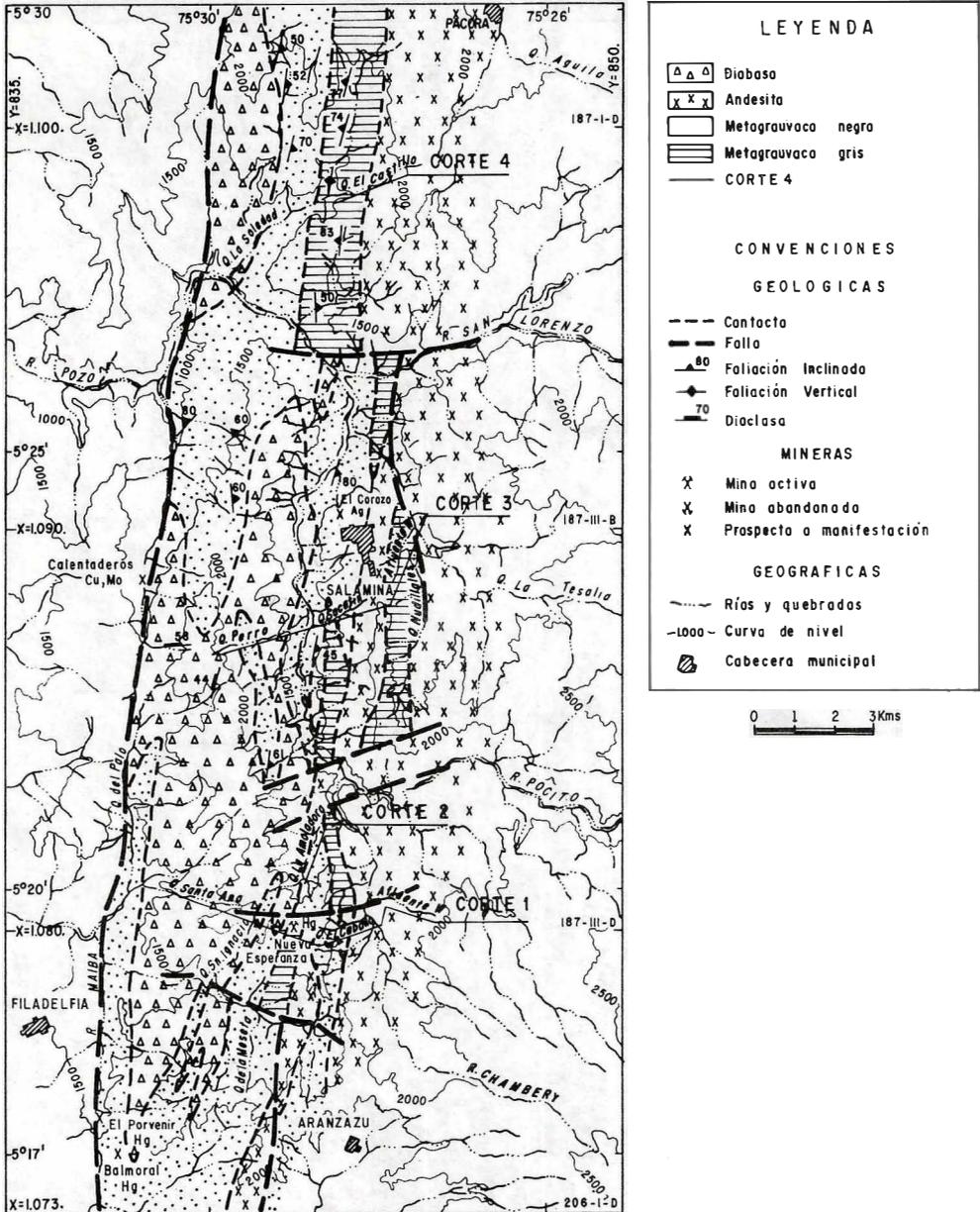


FIGURA 46: Ubicación de los cortes geológicos.

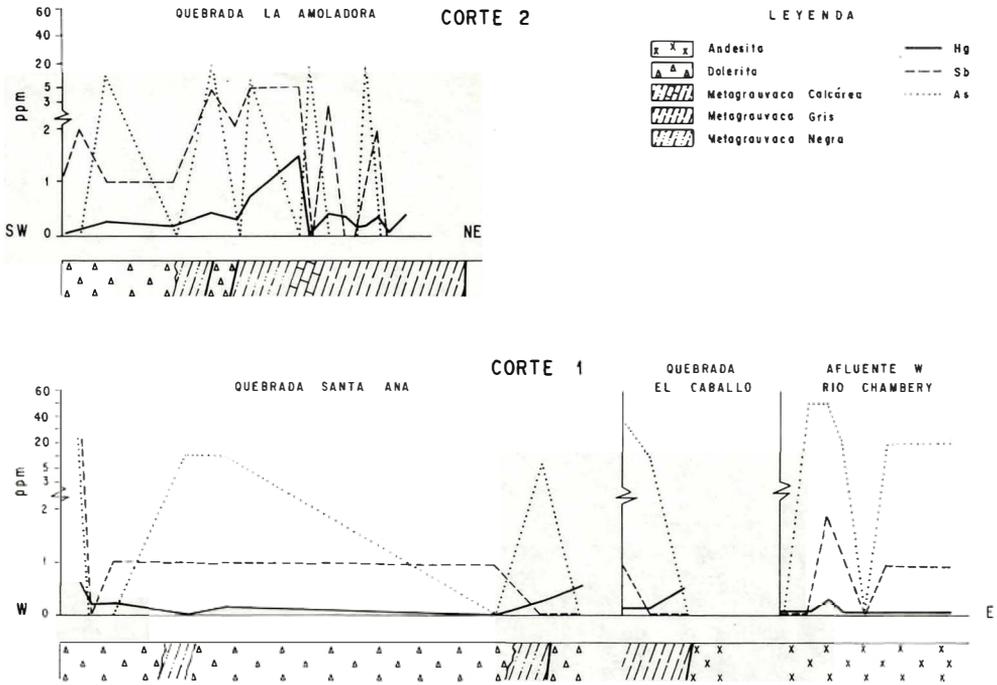


FIGURA 47: Corte geológico y contenido de Hg, Sb, As, en rocas. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

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

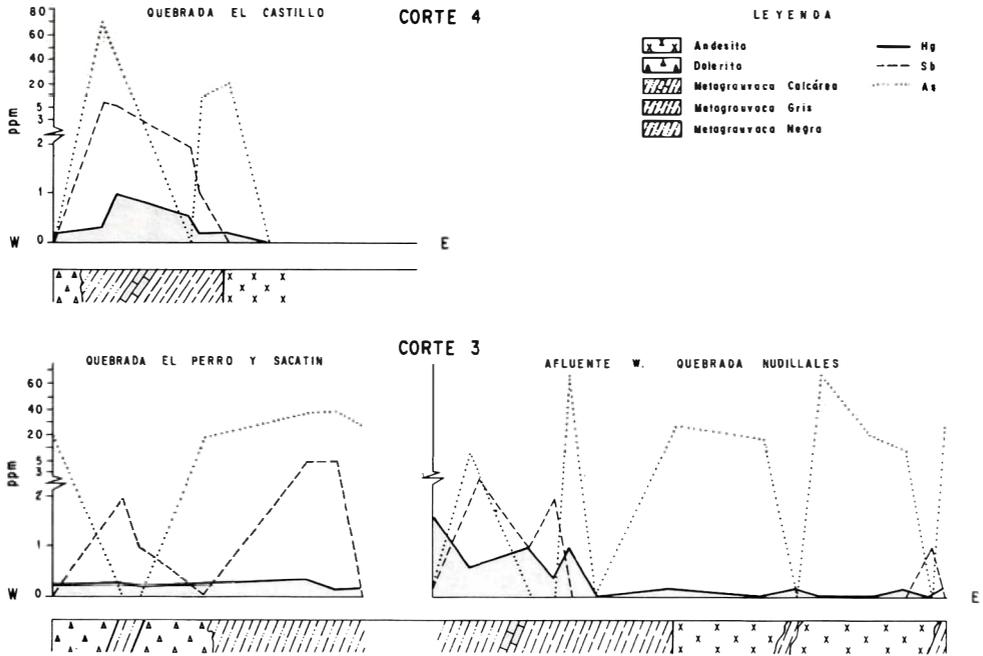


FIGURA 48: Corte geológico y contenido de Hg, Sb, As, en rocas. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

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 (Hg<sub>3</sub>S<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) y livingstonita (HgSb<sub>4</sub>S<sub>7</sub>) 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-

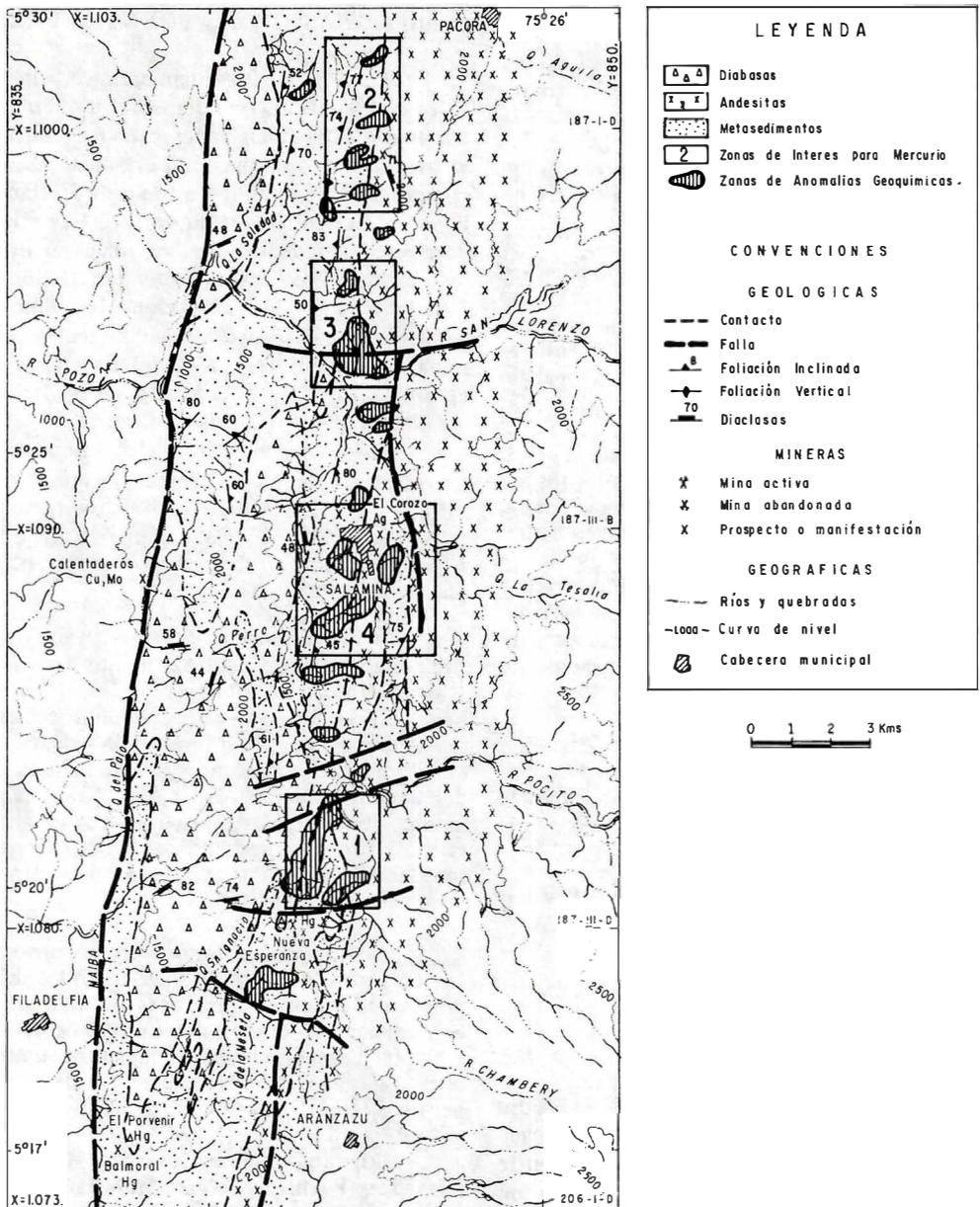


FIGURA 49: Zonas de interés para mercurio.

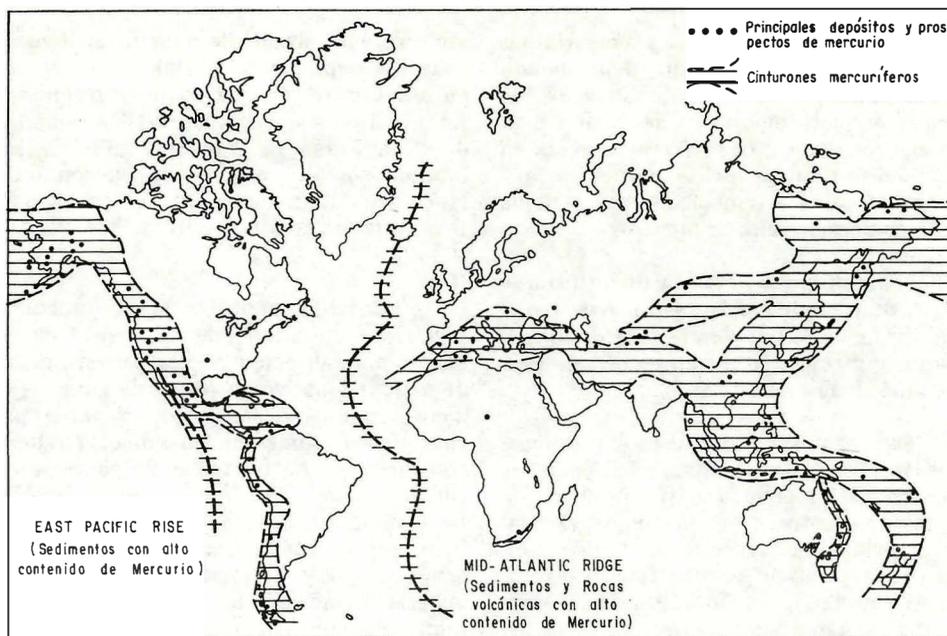


FIGURA 50: Mapa generalizado que muestra los cinturones mercuríferos en el mundo. (Tomado de JONASSON, R. y BOYLE, W., 1972).

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 metacinnabrio es muy baja, por esta razón el transporte del Hg y de S debió ocurrir por soluciones que tuvieron, además de agua y CO<sub>2</sub>, 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 HgS<sub>2</sub><sup>-</sup> en soluciones alcalinas alcalinas sulfatadas, HgCl<sub>2</sub> 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 metacinnabrio 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

metacinnabrio son depositados a temperaturas superiores a las del cinabrio, dependiendo del contenido de sulfuros de Zn y de Fe. Aunque el metacinnabrio 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 metacinnabrio 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 elemento 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 ejemplos 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 pirita; 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,

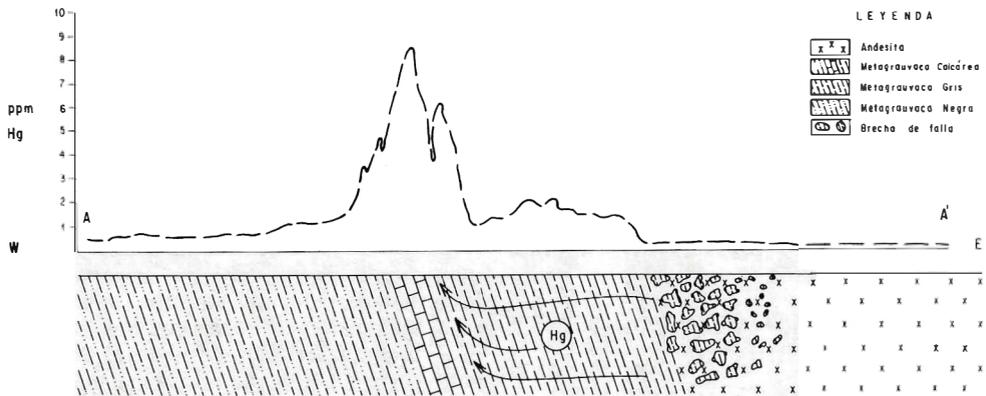


FIGURA 51: Esquema geológico y concentración de mercurio en suelos. Mina La nueva Esperanza, municipio de Aranzazu, departamento de Caldas.

—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.

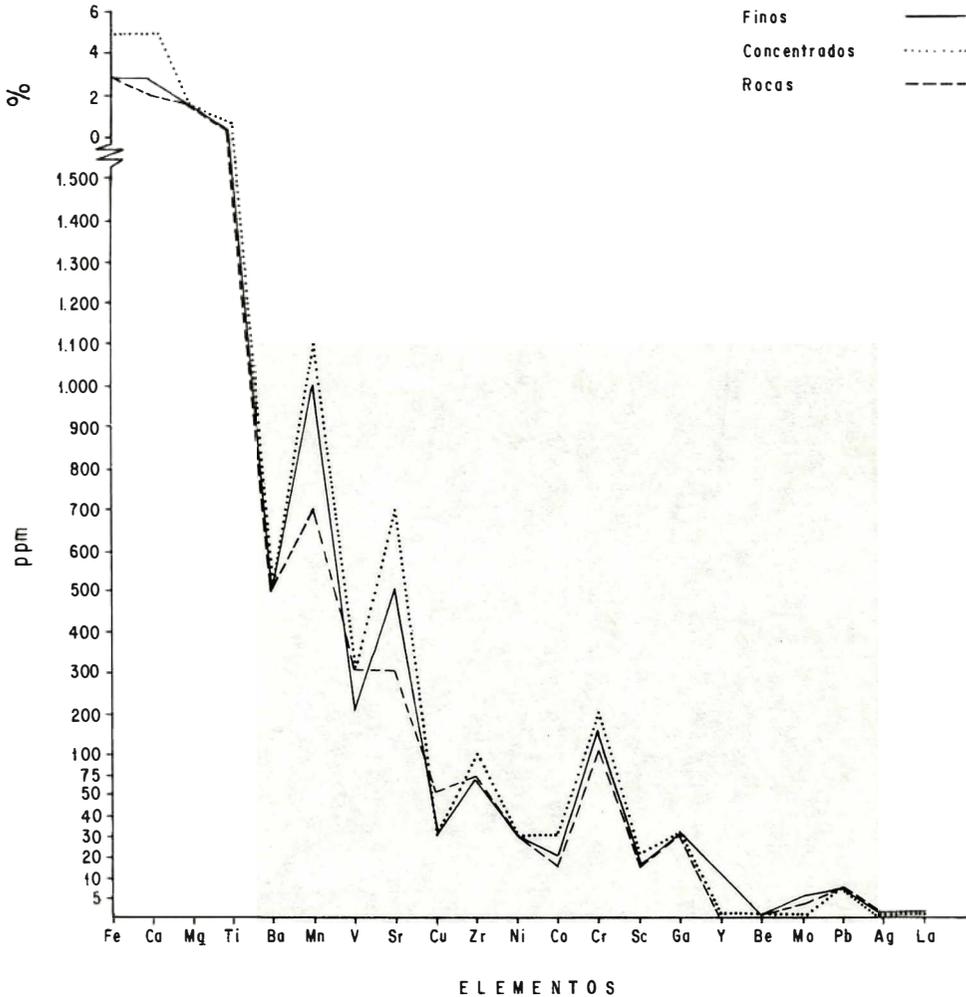


FIGURA 52: Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media de elementos. Finos, concentrados y rocas. Análisis espectrográfico malla 16. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

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):

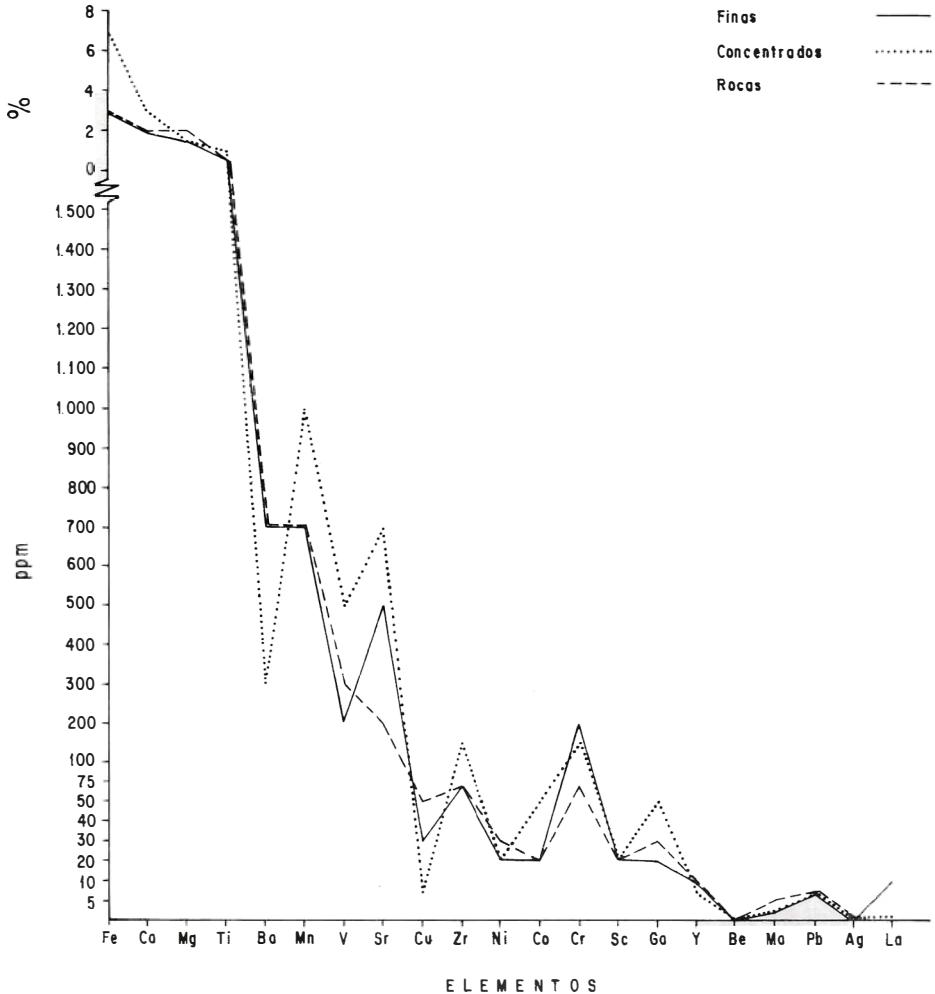


FIGURA 53: Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media de elementos. Finos, concentrados y rocas. Análisis espectrográfico malla 30. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

- 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.

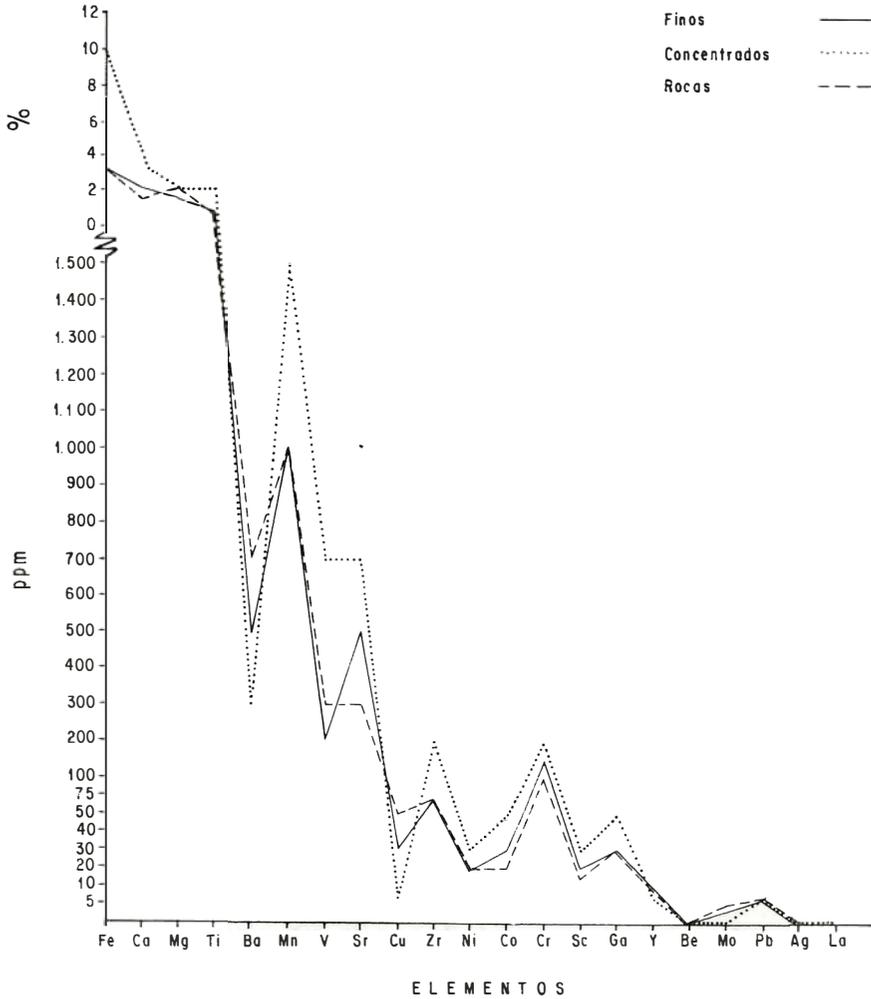


FIGURA 54: Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media de elementos. Finos, concentrados y rocas. Análisis espectrográfico malla 50. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

—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

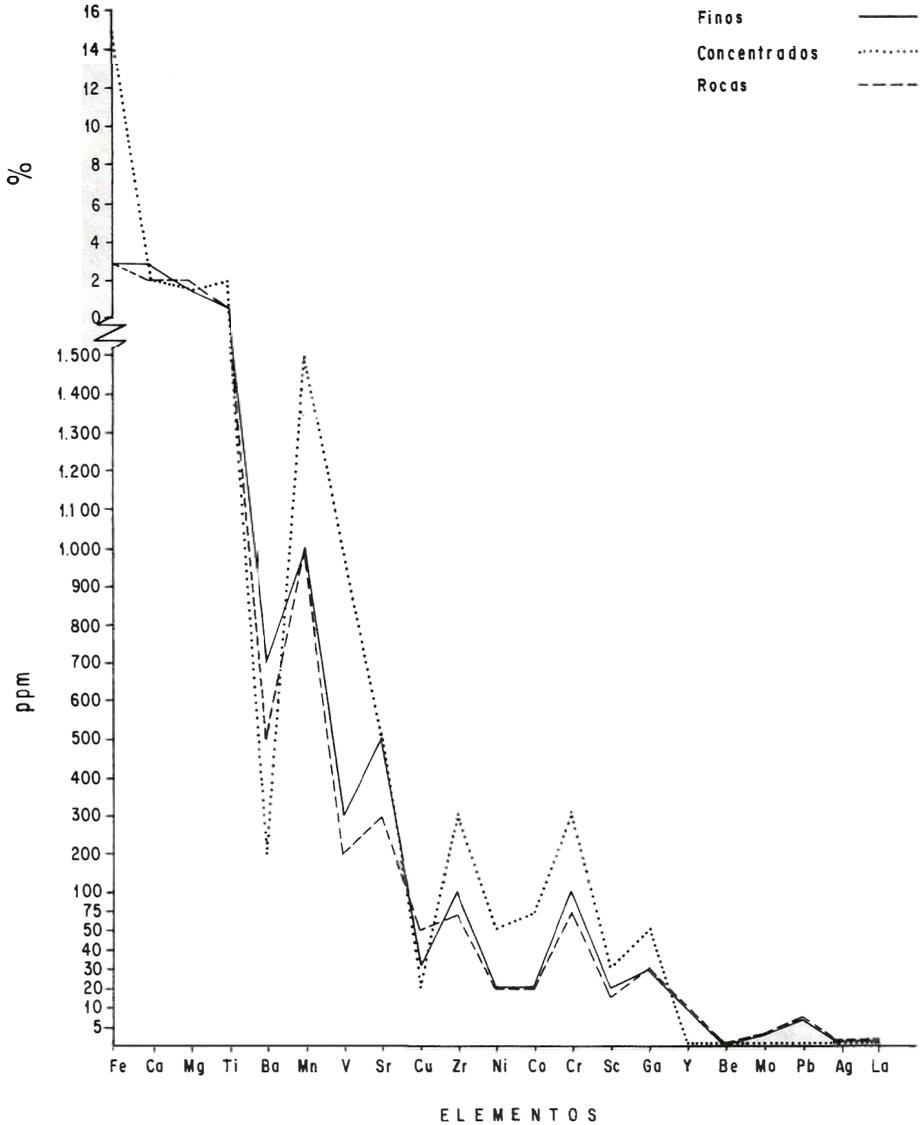


FIGURA 55: Estudio de orientación geoquímica. Gráfico de concentración media de elementos. Finos, concentrados y rocas. Análisis espectrográfico malla 80. Cinturón de mercurio. Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora, departamento de Caldas.

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
<b>ARSENICO</b>				
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
<b>ANTIMONIO</b>				
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.

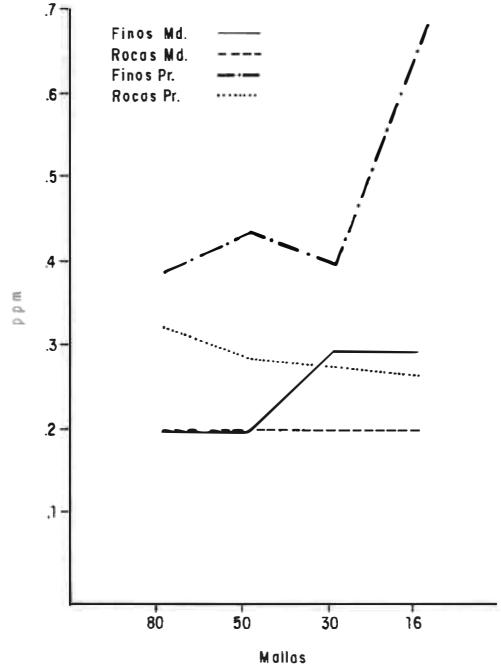


FIGURA 56: Estudio de orientación geoquímica. Gráficos de concentración media y promedio. Finos seleccionados y rocas. Mallas 80, 50, 30 y 16. Mercurio.

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*. Ser. 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)*. Ser. 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*. Ser. 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*. Ser. Geol. Nal. Inf. 720.
- SARMIENTO, R., 1949.- *Contribución al conocimiento de la riqueza minera en Colombia*. Ser. 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 Economica y Minera, factores decisivos para el desarrollo industrial y de economía de Colombia*. Ser. Geol. Nal. Bol. Geol. Vol. 5 (3): 7-27.
- 1958.- *La Mina de Mercurio La Esperanza, Municipio Aranzazu, Departamento de Caldas*. Ser. Geol. Nal. Informe 1282, p. 15.