

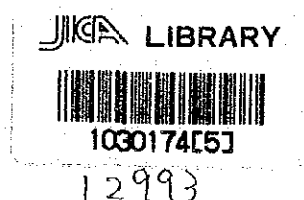
100

705
661
MFM

705
66.1
MPN

INFORME
SOBRE EXPLORACION DE MINERALES
DEL AREA DE ALMAGUER
DEPARTAMENTO DE CAUCA
REPUBLICA DE COLOMBIA

FASE I



MARZO 1985

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
METAL MINING AGENCY OF JAPAN

國際協力事業団	
受入 月日 86. 7. 30	705
登録 No. 12993	66.1
	MPN

PROLOGO

En respuesta a los requerimientos del gobierno de la República de Colombia, el gobierno de Japón ha decidido realizar el desarrollo de la exploración de minerales en Almaguer localizado en el sur-occidente colombiano y ha encargado tal investigación a "Japan International Cooperation Agency", el cual ha decidido encargar esos trabajos de investigación a "Metal Mining Agency of Japan" por razones de que la investigación se refiere a un campo especial de geología y a un examen de recursos minerales.

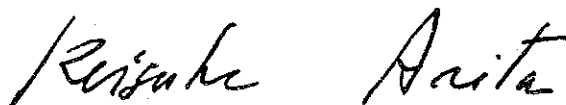
La primera fase de esta investigación empezó en 1984. Para la primera fase "Metal Mining Agency of Japan" organizó una misión para las investigaciones que constaba de siete personas quienes fueron enviados allí desde el 15 de agosto de 1984 hasta el 28 de noviembre del mismo año.

La investigación en el campo, gracias a la cooperación del Instituto Nacional de Investigaciones Geologico-Mineras, que es una agencia relativa al gobierno de la República de Colombia fue cumplido según se había planeado.

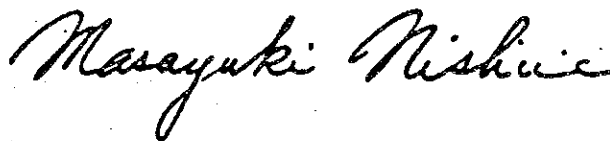
En este informe se ha recogido y arreglado los resultados de las investigaciones en la primera fase para hacer parte del informe final.

Finalmente queremos expresar nuestro agradecimiento por la cooperación a las agencias relativas al Gobierno de la República de Colombia, y también a "Ministry of Foreign Affairs", "Ministry of International Trade and Industry", a la Embajada del Japón en Colombia, y a todo el personal de las compañías concernientes a esta investigación.

Febrero, 1985



Presidente
Japan International
Cooperation Agency



Presidente
Metal Mining Agency of Japan

INDICE

PROLOGO
 MAPA DE UBICACION
 RESUMEN

1. INTRODUCCION	1
1.1. EXPLICACION DE LA INVESTIGACION	1
1.1.1. HISTORIA	1
1.1.2. OBJETIVO	1
1.1.3. LOCALIZACION : AREA DE TRABAJO	1
1.1.4. TRAFICO Y TOPOGRAFIA	1
1.1.5. METODOLOGIA Y DISTRIBUCION DEL TRABAJO	2
1.1.6. FASES DE LA INVESTIGACION Y PARTICIPANTES	2
1.2. EXPLICACION DEL AREA INVESTIGADO	5
1.2.1. GEOGRAFIA	5
1.2.2. TRABAJOS ANTERIORES	5
1.2.3. ESTRATIGRAFIA DE LA GEOLOGIA REGIONAL	5
2. RECOPIACION DE DATOS ANTERIORES	11
2.1. EXPLICACION DE LA INVESTIGACION	11
2.1.1. OBJETIVO	11
2.1.2. EXTENSION DE LA INVESTIGACION	11
2.1.3. PRESENTACION DE DATOS	11
2.2. RECOPIACION DE DATOS GEOLOGICOS	11
2.3. RECOPIACION DE DATOS GEOQUIMICOS	11
2.3.1. PREPARACION Y ANALISIS DE LAS MUESTRAS	11
2.3.2. DETERMINACION DE LOS VALORES ANOMALOS	11
2.4. ESTUDIOS SINTETICOS Y SELECCION DE AREAS DE INTERES	12
3. PIEDRA SENTADA	15
3.1. INVESTIGACION GEOLOGICA	15
3.1.1. OBJETIVO	15
3.1.2. LOCALIZACION	15
3.1.3. GEOLOGIA	15
3.1.4. ESTRUCTURA GEOLOGICA	16
3.1.5. MINERALIZACION Y ALTERACION	17
3.1.6. DISCUSION	18
3.2. GEOFISICA (METODO DE CSAMT Y SIP)	19
3.2.1. OBJETIVO	19
3.2.2. EXTENSION DE LA INVESTIGACION	19
3.2.3. ESPECIFICACIONES	19
3.2.4. METODOLOGIA	20
3.2.5. INSTRUMENTOS	25
3.2.6. ESTUDIOS Y ANALISIS DE MUESTRAS	28
3.2.7. RESULTADOS DE LOS ANALISIS	28
3.2.8. DISCUSION	34
4. DOMINICAL	37
4.1. INVESTIGACION GEOLOGICA	37
4.1.1. OBJETIVO	37
4.1.2. LOCALIZACION	37
4.1.3. GEOLOGIA	37
4.1.4. MINERALIZACION Y ALTERACION	38
4.1.5. DISCUSION	38
4.2. GEOQUIMICA	39
4.2.1. OBJETIVO	39
4.2.2. PREPARACION Y ANALISIS DE LAS MUESTRAS	39
4.2.3. RESULTADO DE LOS ANALISIS	39
4.2.4. ELEMENTOS GUIA	39
4.2.5. METODOLOGIA	39
4.2.6. DETERMINACION DE LOS VALORES ANOMALOS	39
4.2.7. SELECCION Y TASACION DE AREAS ANOMALAS	40

5. CERRO NEGRO	41
5.1. INVESTIGACION GEOLOGICA	41
5.1.1. OBJETIVO	41
5.1.2. LOCALIZACION	41
5.1.3. TOPOGRAFIA	41
5.1.4. GEOLOGIA	41
5.1.5. MINERALIZACION Y ALTERACION	43
5.1.6. DISCUSION	43
5.2. GEOQUIMICA	43
5.2.1. SELECCION Y TASACION DE AREAS ANOMALAS	43
6. LA MEDINA	47
6.1. INVESTIGACION GEOLOGICA	47
6.1.1. OBJETIVO	47
6.1.2. LOCALIZACION	47
6.1.3. GEOLOGIA	47
6.1.4. MINERALIZACION Y ALTERACION	48
6.1.5. DISCUSION	48
6.2. GEOQUIMICA	48
6.2.1. SELECCION Y TASACION DE AREAS ANOMALAS	48
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA SEGUNDA FASE	49
7.1. CONCLUSIONES	49
7.2. RECOMENDACIONES PARA LA SEGUNDA FASE	51
BIBLIOGRAFIA	53

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1-1-1 MAPA DE UBICACION
- Fig. 1-2-1 MAPA GEOLOGICO ALMAGUER
- Fig. 1-2-2 CORTES GEOLOGICOS AA', BB' Y CC' ALMAGUER
- Fig. 1-2-3 COLUMNA ESTRATIGRAFICA ESQUEMATIZADA DEL AREA ALMAGUER
- Fig. 1-2-4 COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA FORMACION MOSQUERA
- Fig. 1-2-5 COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA FORMACION ESMITA
- Fig. 1-2-6 EVOLUCION GEOLOGICA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA
- Fig. 1-2-7 EVOLUCION GEOLOGICA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA (CONTINUACION)
- Fig. 1-2-8 EVOLUCION GEOLOGICA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA (CONTINUACION)
- Fig. 2-3-1 HISTOGRAMAS DE CONCENTRACION GEOQUIMICA EN SEDIMENTOS ACTIVOS FINOS, Cu, Pb
- Fig. 2-3-2 HISTOGRAMAS DE CONCENTRACION GEOQUIMICA EN SEDIMENTOS ACTIVOS FINOS, Zn, Mo
- Fig. 2-3-3 HISTOGRAMAS DE CONCENTRACION GEOQUIMICA EN SEDIMENTOS ACTIVOS FINOS, Ni, Cr
- Fig. 3-1-1 MAPA GEOLOGICO PIEDRASENTADA
- Fig. 3-1-2 CORTES GEOLOGICOS AA' Y BB' PIEDRASENTADA
- Fig. 3-1-3 COLUMNA ESTRATIGRAFICA ESQUEMATIZADA PIEDRASENTADA
- Fig. 3-1-4 DIAGRAMA ACF
- Fig. 3-1-5 CLASIFICACION DE ROCAS PLUTONICAS (GEO TIMES 1974)
- Fig. 3-2-1 MAPA DE PUNTOS Y LINEAS DE MEDIDA
- Fig. 3-2-2 LOGISTICA EN UNA PROSPECCION CSAMT
- Fig. 3-2-3 EFECTO ESPECTRAL SIP
- Fig. 3-2-4 FORMAS DE ONDA TRANSMITIDA Y RECIBIDA
- Fig. 3-2-5 RELACION ENTRE EL EFECTO DE FRECUENCIA Y EL DESFASE
- Fig. 3-2-6 LINEAS DE LA PROSPECCION SIP
- Fig. 3-2-7 ARREGLO DE LOS ELECTRODOS DE POTENCIAL Y DEL PREAMPLIFICADOR
- Fig. 3-2-8 ARREGLO DE LOS ELECTRODOS DE CORRIENTE
- Fig. 3-2-9 CONFIGURACION TIPICA DEL SISTEMA UTILIZADO PARA CSAMT
- Fig. 3-2-10 DIAGRAMA DE BLOQUE DE LA INSTRUMENTACION USADA EN SIP
- Fig. 3-2-11 EJEMPLO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD PARA 2 CAPAS
- Fig. 3-2-12 DIAGRAMA DE FASE DESACOPADA DE 3 PUNTOS
- Fig. 3-2-13 DIAGRAMA DE BLOQUE PARA LA MEDICION DE LA MUESTRA
- Fig. 3-2-14 EJEMPLO DE DIAGRAMAS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES EN LA MUESTRA PA 12.5A

- Fig. 3-2-15 MODELO DE SIMULACION (LINEA-PA)
- Fig. 3-2-16 MODELO DE SIMULACION (LINEA-PB)
- Fig. 3-2-17 MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES APARENTE (512HZ)
- Fig. 3-2-18 MODELO BIDIMENSIONAL DE RESISTIVIDAD (A-A')
- Fig. 3-2-19 MODELO BIDIMENSIONAL DE RESISTIVIDAD (B-B')
- Fig. 3-2-20 MODELO BIDIMENSIONAL DE RESISTIVIDAD (C-C')
- Fig. 3-2-21 TIPO DE ESPECTRO DE FASE TIPICA DE LA LINEA-PA
- Fig. 3-2-22 TIPO DE ESPECTRO DE FASE TIPICA DE LA LINEA-PB
- Fig. 3-2-23 ESPECTRO DE FASE
- Fig. 3-2-24 ESPECTRO DE MAGNITUD
- Fig. 3-2-25 DIAGRAMA DE COLE-COLE
- Fig. 3-2-26 RESISTIVIDAD APARENTE (OHM-M)
- Fig. 3-2-27 FASE SIN CORREGIR [0.125HZ]
- Fig. 3-2-28 FASE DESACOPLADA DE 3-PUNTOS [0.125HZ-0.375HZ-0.625HZ]
- Fig. 3-2-29 PORCENTAJE DEL EFECTO DE FRECUENCIA [0.125HZ-1.0HZ]
- Fig. 3-2-30 MAPA DE INTERPRETACION
- Fig. 4-1-1 MAPA GEOLOGICO Y ANOMALIAS DE GEOQUIMICAS DOMINICAL
- Fig. 4-1-2 CORTES GEOLOGICOS AA' Y BB' DOMINICAL
- Fig. 4-2-1 CURVAS DE DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE VALORES GEOQUIMICOS EN SUELOS, Cu, Zn, Pb Y Mo, Ni, Ag
- Fig. 4-2-2 CURVAS DE DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE VALORES GEOQUIMICOS EN SUELOS, Cr, Au
- Fig. 4-2-3 HISTOGRAMAS DE CONCENTRACION GEOQUIMICA EN SUELOS, Au, Ag
- Fig. 4-2-4 HISTOGRAMAS DE CONCENTRACION GEOQUIMICA EN SUELOS, Cu, Pb
- Fig. 4-2-5 HISTOGRAMAS DE CONCENTRACION GEOQUIMICA EN SUELOS, Zn, Mo
- Fig. 4-2-6 HISTOGRAMAS DE CONCENTRACION GEOQUIMICA EN SUELOS, Ni, Cr
- Fig. 5-1-1 MAPA GEOLOGICO Y ANOMALIAS DE GEOQUIMICAS CERRO NEGRO
- Fig. 5-1-2 CORTE GEOLOGICO AA' CERRO NEGRO
- Fig. 6-1-1 MAPA GEOLOGICO Y CORTE GEOLOGICO AA' LA MEDINA

LISTA DE TABLAS

- Tab. 1-1-1 DISTRIBUCION DEL TRABAJO
- Tab. 1-1-2 PERIODOS DE TRABAJO
- Tab. 2-3-1 ESTADIGRAFOS DE SEDIMENTOS ACTIVOS EN EL AREA DE ALMAGUER
- Tab. 2-3-2 ANOMALIAS GEOQUIMICAS DE ALMAGUER
- Tab. 3-1-1 RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DE ROCA TOTAL
- Tab. 3-1-2 CALCULACION DE NORMA DE ROCAS
- Tab. 3-2-1 LISTA DE LINEAS Y PUNTOS PROSPECTADOS
- Tab. 3-2-2 INSTRUMENTACION
- Tab. 3-2-3 RESULTADES DE MEDICIONES DE LABORATORIO EN LAS MUESTRAS DE ROCAS
- Tab. 4-2-1 ESTADIGRAFOS DE SUELO

LISTA DE PLANOS

PL. 1-1	MAPA GEOLOGICO ALMAGUER, TIMBIO ESTE	1:50,000
PL. 1-2	MAPA GEOLOGICO ALMAGUER, TIMBIO OESTE	1:50,000
PL. 1-3	MAPA GEOLOGICO ALMAGUER, BOLIVAR OESTE	1:50,000
PL. 2	MAPA GEOLOGICO PIEDRASENTADA	1: 5,000
PL. 3	MAPA GEOLOGICO DOMINICAL	1: 5,000
PL. 4	MAPA GEOLOGICO CERRO NEGRO	1: 5,000
PL. 5	MAPA GEOLOGICO y CORTE GEOLOGICO AA' LA MEDINA	1: 5,000
PL. 6	CORTES GEOLOGICOS AA', BB' y CC' ALMAGUER	1:50,000
PL. 7	CORTES GEOLOGICOS AA' y BB' PIEDRASENTADA	1: 5,000
PL. 8	CORTES GEOLOGICOS AA' y BB' DOMINICAL	1: 5,000
PL. 9	CORTE GEOLOGICO AA' CERRO NEGRO	1: 5,000
PL. 10-1	RESULTADO DE LA EXPLORACION GEOQUIMICA ALMAGUER, TIMBIO ESTE	1:50,000
PL. 10-2	RESULTADO DE LA EXPLORACION GEOQUIMICA ALMAGUER, TIMBIO OESTE	1:50,000
PL. 10-3	RESULTADO DE LA EXPLORACION GEOQUIMICA ALMAGUER, BOLIVAR OESTE	1:50,000
PL. 11	RESULTADO DE LA EXPLORACION GEOQUIMICA DOMINICAL	1: 5,000
PL. 12	RESULTADO DE LA EXPLORACION GEOQUIMICA CERRO NEGRO	1: 5,000
PL. 13	RESULTADO DE LA EXPLORACION GEOQUIMICA LA MEDINA	1: 5,000
PL. 14-1	MAPA DE LOCALIZACION DE LAS MUESTRAS COLECTADAS, PIEDRASENTADA	1: 5,000
PL. 14-2	MAPA DE LOCALIZACION DE LAS MUESTRAS COLECTADAS, DOMINICAL	1: 5,000
PL. 14-3	MAPA DE LOCALIZACION DE LAS MUESTRAS COLECTADAS, CERRO NEGRO	1: 5,000
PL. 14-4	MAPA DE LOCALIZACION DE LAS MUESTRAS COLECTADAS, LA MEDINA	1: 5,000
PL. 15	MAPA GEOLOGICO SEMIDETALLADO	1:50,000
PL. 16	MAPA DE PUNTOS Y LINEAS DE MEDIDA	1: 5,000
PL. 17-1	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES APARENTES PARA LA FRECUENCIA DE 2048 Hz	1: 5,000
PL. 17-2	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES APARENTES PARA LA FRECUENCIA DE 1024 Hz	1: 5,000
PL. 17-3	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES APARENTES PARA LA FRECUENCIA DE 512 Hz	1: 5,000
PL. 17-4	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES APARENTES PARA LA FRECUENCIA DE 256 Hz	1: 5,000

PL. 17-5	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES APARENTES PARA LA FRECUENCIA DE 128 Hz	1: 5,000
PL. 17-6	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES APARENTES PARA LA FRECUENCIA DE 64 Hz	1: 5,000
PL. 17-7	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES APARENTES PARA LA FRECUENCIA DE 32 Hz	1: 5,000
PL. 17-8	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDAD APARENTES PARA LA FRECUENCIA DE 16 Hz	1: 5,000
PL. 17-9	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDAD APARENTES PARA LA FRECUENCIA DE 8 Hz	1: 5,000
PL. 17-10	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES APARENTES PARA LA FRECUENCIA DE 4 Hz	1: 5,000
PL. 18-1	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES A 200m DE PROFUNDIDAD	1: 5,000
PL. 18-2	MAPA EN PLANO DE RESISTIVIDADES A 300m DE PROFUNDIDAD	1: 5,000
PL. 19-1	MODELO BIDIMENSIONAL DE RESISTIVIDADES (A-A')	1: 5,000
PL. 19-2	MODELO BIDIMENSIONAL DE RESISTIVIDADES (B-B')	1: 5,000
PL. 19-3	MODELO BIDIMENSIONAL DE RESISTIVIDADES (C-C')	1: 5,000
PL. 20	MAPA DE INTERPRETACION	1: 5,000

LISTA DE APENDICES

- Apendice 1 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS PETROGRAFICOS DE LAS SECCIONES
- Apendice 2 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE LAS SECCIONES PULIDAS
MICROFOTOGRAFIAS DE LOS SECCIONES Y LAS SECCIONES PULIDAS
- Apendice 3 RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DE LAS MUESTRAS DE ROCAS
- Apendice 4 RESULTADOS DE LOS ANALISIS GEOQUIMICOS EN SUELO
- Apendice 5 CURVA DE RESISTIVIDAD APARENTE
- Apendice 6 PSEUDOSECCION DE LA FASE SIN CORREGIR A CADA FRECUENCIA
(LINEA PA Y PB)

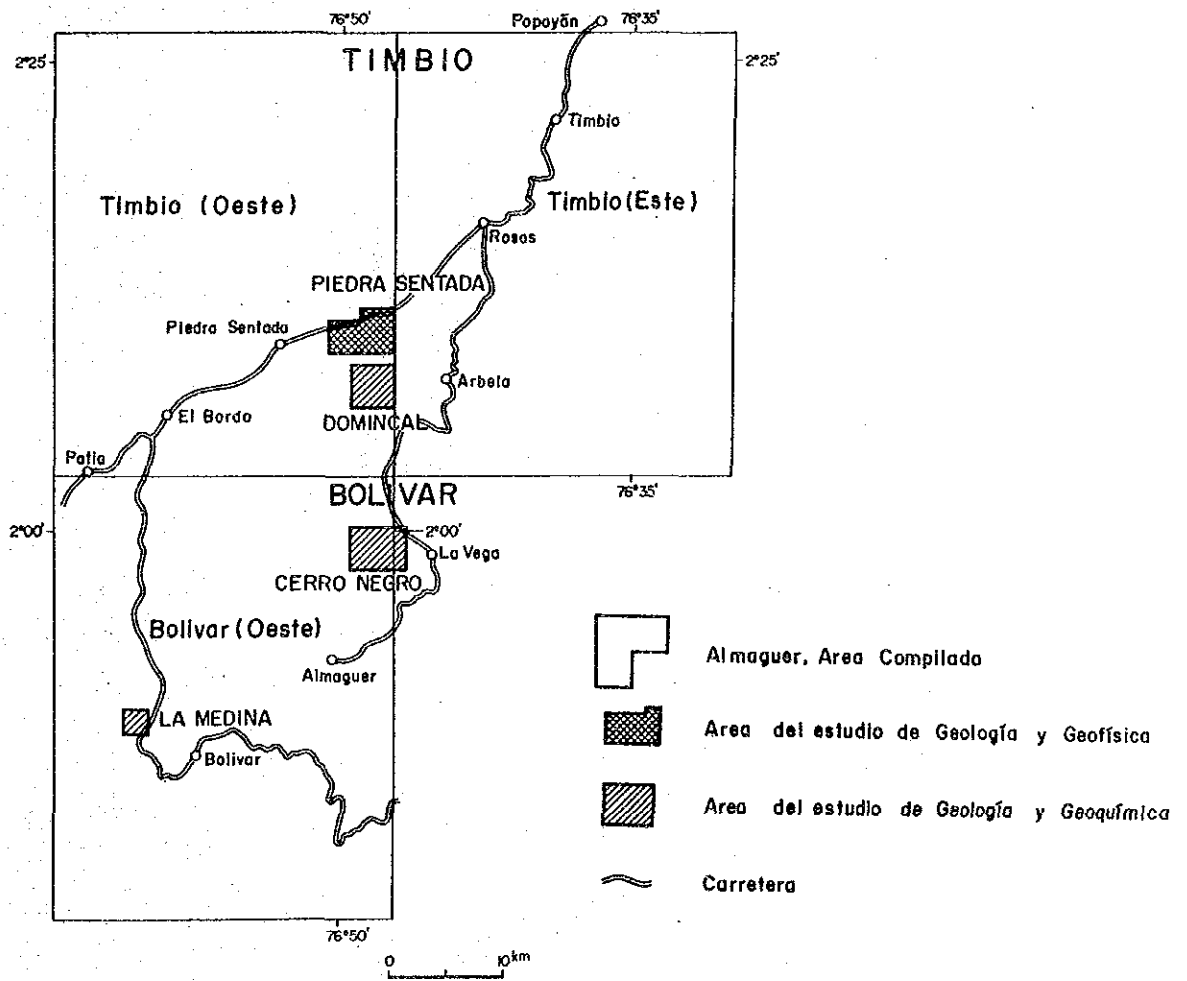
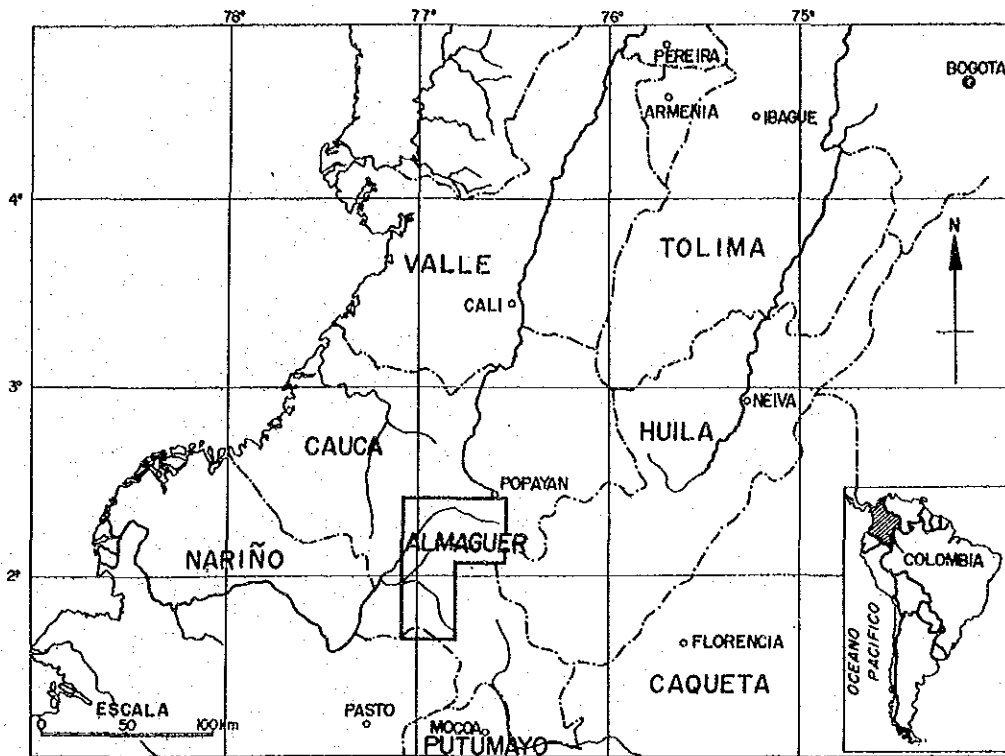


Fig. 1-1-1 MAPA DE UBICACION

RESUMEN

Durante el año 1984, dentro del Convenio Colombo-Japonés para incrementar la minería en el sur-occidente colombiano, se realizaron investigaciones geológicas, geoquímicas y geofísicas en el área del Proyecto Almaguer localizado en la parte sur-central del Departamento del Cauca, República de Colombia.

El objetivo primordial de esta investigación fue el de clarificar aún más su geología y conocer exactamente su verdadero potencial minero. Los trabajos de campo se iniciaron en agosto de 1984 y se terminaron en noviembre del mismo año.

Los métodos de prospección y volumen de trabajo realizados en cada área seleccionada están resumidos en la siguiente tabla :

Método	Proyecto	Superf.	Metas Físicas
Recopilación de datos geológicos y geoquímicos	Almaguer	3600 km ²	
Geológico	Piedrasentada	21 km ²	Total longitud trabajada 74 km.
Geofísico CSAMT	Piedrasentada	21 km ²	107 Estaciones
Geofísico SIP	Piedrasentada	21 km ²	108 Estaciones, 3.2 km trabajados
Geológico-geoquímico	Dominical	16 km ²	En los tres proyectos se recolectaron 517 muestras de suelos y se trabajaron 113 km.
Geológico-geoquímico	Cerro Negro	20 km ²	
Geológico-geoquímico	La Medina	4 km ²	

Almaguer.- Según los resultados de los estudios geológicos y geoquímicos hasta ahora realizados se han elegido 13 zonas anómalas geoquímicas. De las cuales 4 zonas son de Cu y Mo, asociadas geológicamente con roca intrusiva ácida y mostrando un sistema pórfido cuprífero.

6 zonas de Ni y Cr geológicamente asociadas con roca ultrabásica.

1 zona de Pb-Zn.

1 zona de Cu-Ni

y otra zona de Ag-Mo.

Piedrasentada.- Este proyecto se localiza unos 40 km. al sur de Popayán entre los caseríos de Piedrasentada y la Sierra. En el área de interés se encontraron dos tipos de mineralización, una del sistema pórfido cuprífero y la otra corresponde a filones auríferos ricos en plata y antimonio.

En la parte central del área investigado, en una extensión de 1 km. (E-W) × 1.5 km. (N-S), se observó una asociación mineralógica típica de un sistema pórfido cuprífero. La zona está compuesta por rocas intrusivas granodioríticas a dacíticas con una diseminación muy débil de piritita y en menor proporción calcopiritita. La roca de caja exhibe alteración propilitica, lo cual podría significar que el área corresponde a la parte más extensa de un depósito pórfido cuprífero.

Igualmente, se efectuó un reconocimiento preliminar mediante el método SIP (Spectral Induced Polarization) en la zona con mejor mineralización y a través del método CSAMT (Control Source Audio Magneto Telluric) se descubrió

una área anómala con baja resistividad. El método SIP reveló parcialmente zonas anómalas, que están localizadas muy cerca de la superficie.

Dominical.- En la parte norte-central del área trabajado, en una extensión de 2 km (E-W) × 1.5 km (N-S), fue descubierta una disseminación de sulfuros. Igualmente, en la zona de interés se presenta una serie de filones auríferos y en esta misma zona se encontró una anomalía de cobre y molibdeno en el suelo.

La roca de caja y la alteración en la zona mineralizada es muy similar a lo observado en Piedrasentada e igualmente puede corresponder a un sistema pórfido cuprífero.

En la región sur del proyecto se detectaron varias anomalías geoquímicas de oro asociadas a cuerpos dacíticos.

Cerro Negro.- En este proyecto se encontraron indicios de mineralizaciones filonianas de oro y plata y de sulfuros disseminados asociados a cuerpos intrusivos. El área de interés corresponde a una zona montañosa de difícil acceso y con muy débiles indicios de mineralización lo cual dificulta extremadamente cualquier geoexploración. Las zonas anómalas para plata corresponden exactamente con las manifestaciones filonianas de oro y plata.

La Medina.- En esta zona no se encontró ningún rasgo geológico que nos indicara la presencia de una posible mineralización en el área.

Los siguientes trabajos son recomendados para continuar con la exploración en cada una de las áreas seleccionadas del Proyecto Almaguer.

Piedrasentada: Continuar con el método IP ó SIP con el fin de seleccionar los posibles sitios de perforación. Además es recomendable hacer perforaciones en las zonas anómalas de SIP con el fin de correlacionar la mineralización.

Dominical: En este proyecto, con el propósito de precisar aún más las zonas mineralizadas, se recomienda efectuar una prospección geofísica y geoquímica a lo largo de las quebradas y zonas más interesantes. En la región anómala para oro se sugiere un estudio geológico mucho más detallado simultáneamente con un muestreo reticulado de suelos.

Cerro Negro: Para esta zona se recomienda realizar estudios geológicos y geoquímicos en el cuerpo intrusivo localizado al oeste.

Cerro Bellones: Esta nueva área fue seleccionada por poseer una alta potencialidad de recursos minerales según los resultados de la investigación de sedimentos activos. Se sugiere realizar estudios geológicos y geoquímicos semidetallados en esta región.

1. INTRODUCCION

1.1. EXPLICACION DE LA INVESTIGACION

1.1.1. HISTORIA

La República de Colombia está situada en la parte norte del continente Suramericano, haciendo parte del Cinturón Circum-Pacífico, considerado como una de las fuentes principales de recursos naturales no renovables del mundo entero. Su vasto territorio está compuesto por rocas desde el pre-Cambriano hasta rocas volcánico-araníticas del Cuaternario. INGEOMINAS está haciendo el mapa geológico, concentrando todos sus esfuerzos especialmente en la geoexploración de metales básicos y preciosos. Se están obteniendo resultados positivos, en el descubrimiento de la Mineralización de Mocoa, sin embargo, el volumen de los trabajos de exploración es mínimo si lo comparamos con las grandes posibilidades y con lo extenso de su territorio.

Esta investigación está dirigida a la prospección de minerales de rendimiento económico mediante un acuerdo de cooperación técnica entre los gobiernos de Colombia y el Japón. La Misión Japonesa encargada de la negociación arribó a Colombia en mayo de 1984 y el 18 de mayo se firmó el convenio S/W (SCOPE OF WORK) entre las dos partes. En agosto del mismo año se empezó la investigación en el campo.

1.1.2. OBJETIVO

El objetivo primordial de esta investigación es el de clarificar su geología, sus estructuras geológicas y prospectar su potencialidad minera empleando los métodos de geoquímica y geofísica.

1.1.3. LOCALIZACION

El área bajo exploración denominada "Almaguer", está localizada al sureste de Popayán y hace parte de los municipios caucanos de La Sierra, La Vega, Almaguer y Bolívar. Igualmente, el área de Almaguer está ubicada en las planchas topográficas, escala 1:100,000 364-Timbío y mitad oeste plancha 387-Almaguer.

Una vez hecha la evaluación de la geología y geoquímica regional de más de 4000 muestras de sedimentos activos, las siguientes 4 áreas fueron seleccionadas para investigarlas en la primera fase del convenio. Piedrasentada, 21 km², Dominical, 16 km², Cerro Negro 20 km² y La Medina 4 km². (Fig. 1-1-1).

1.1.4. TRAFICO Y TOPOGRAFIA

El acceso al área de trabajo es bastante bueno. La carretera Panamericana saliendo de Popayán, cruza el caserío de Piedrasentada a escasos minutos de la parte central del área de interés de Piedrasentada. Igualmente, ésta zona está cruzada por una carretera secundaria de penetración que comunica a la Depresión con La Sierra. Las áreas el Dominical y Cerro Negro están situadas a escasos kilómetros de la carretera no pavimentada que conecta los municipios de La Vega y La Sierra con Popayán. Igualmente sucede en la zona de La Medina, la cual está localizada muy cerca de la carretera que va del Bordo a Bolívar (Fig.1-1-1). Por consiguiente, a excepción de Piedrasentada, el transporte a las zonas de interés tuvo que realizarse esencialmente a pie y a caballo.

Las áreas estudiadas están localizadas en la Cuenca del Patía, limitadas por las Cordilleras Central y Occidental, cuya elevación varía entre 1200 m en Piedrasentada y 3400 m en Cerro Negro.

La precipitación promedio anual está entre 1200 - 1600 mm y la temperatura oscila entre 15 y 25°C.

La industria principal de la región y en general de todo el sur-occidente colombiano está representada por la agricultura y ganadería.

1.1.5. METODOLOGIA Y DISTRIBUCION DEL TRABAJO

En el primer año del convenio se realizaron trabajos de investigación geológica, prospección geoquímica y exploración geofísica.

Los trabajos de investigación geológica fueron ejecutados en las 4 áreas. En cada área de interés las investigaciones fueron ejecutadas a base de líneas con espaciamento entre 400 y 500 m, mediante tránsito y cinta métrica. Los resultados de las investigaciones fueron compilados en un mapa geológico con una escala de 1:5,000.

La prospección geoquímica fue llevada conjuntamente con la investigación geológica en todas las áreas a excepción de Piedrasentada. Las muestras de suelos (Horizonte B) fueron colectadas aproximadamente cada 200 m sobre líneas de ruta.

La exploración geofísica fue llevada a cabo únicamente en el área de Piedrasentada. El método CSAMT (Controlled Source Audiofrequency Magnetotelluric) cubrió todo el área de interés, con el fin de detectar sus zonas con más baja resistividad. El método SIP (Spectral Induced Polarization) fue aplicado a las zonas anómalas detectadas por geología, geoquímica y por el método CSAMT.

La distribución del trabajo del primer año fue como sigue (Tab. 1-1-1).

1.1.6. FASES DE LA INVESTIGACION Y PARTICIPANTES

El trabajo de campo en la investigación geológica y geoquímica fue realizado entre agosto y octubre de 1984 y el estudio geofísico entre octubre y comienzos de noviembre.

Un informe verbal preliminar fue dirigido a Ingeominas, una vez que la totalidad de los trabajos de campo fueron determinados. El resto de la investigación así como la integración de los análisis se realizaron en el Japón, consignándolos en el informe final.

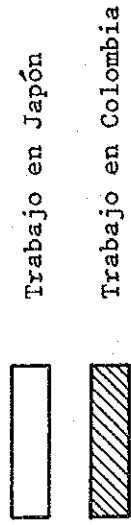
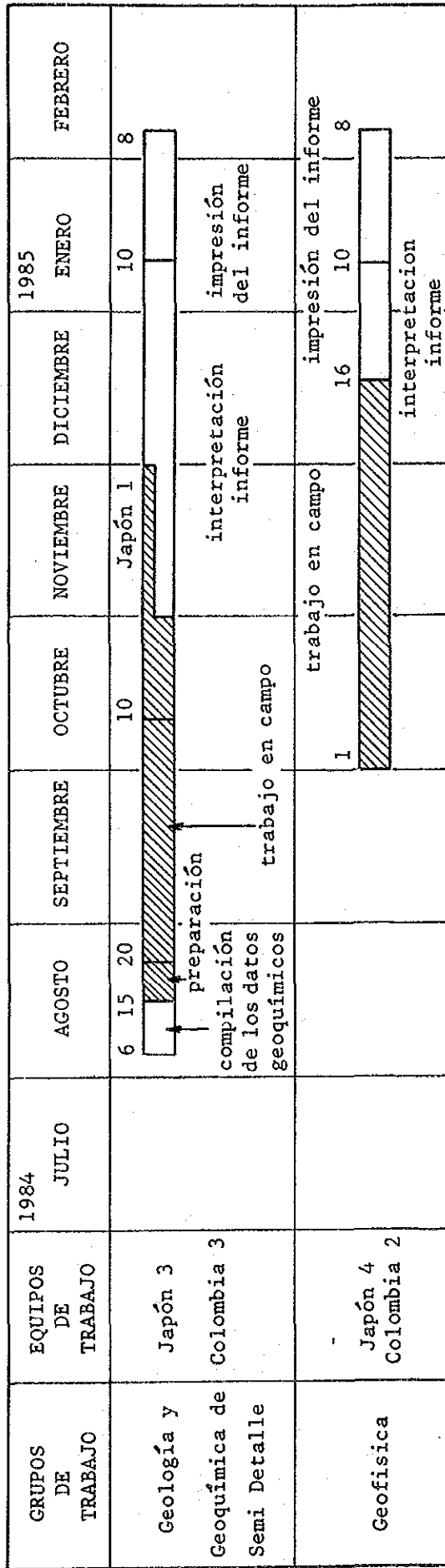
La siguiente tabla revela las Fases de la investigación (Tab. 1-1-2).

Tab. 1-1-1 DISTRIBUCION DEL TRABAJO

Area de Trabajo	Cantidad del Trabajo		Análisis geoquímicos de suelo (Au, Ag, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn)	Análisis químicos de roca total	Análisis químicos de mena							Secciones delgadas	Secciones pulidas	
	Area km ²	Total de perfiles kms			Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Ni			Cr
PIEDRASSENTADA	21	74.8	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	21	11
DOMINICAL	16	45.8	205	-	16	6	16	6	6	6	6	6	22	8
CERRO NEGRO	20	56.0	256	-	9	4	9	4	4	4	4	4	21	4
LA MEDINA	4	11.5	53	-	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0
TOTAL	61	188.1	514	10									73	23

Area de Trabajo	Método	Cantidad del Trabajo en el área
PIEDRASSENTADA	CSAMT SIP	107 puntos en el área de 21 km ² 108 puntos en 2 líneas, 3.2 km

Tab. 1-1-2 PERIODOS DE TRABAJO



Participantes en la investigación

Las personas que participaron en los trabajos de planeamiento y coordinación, examinación de las investigaciones y participación de trabajos en el campo durante el primer año fueron las siguientes.

o Convenio y coordinacion

(JAPON)

Honjo, Kaoru	:	MINISTRY OF INTERNATIONAL TRADE AND INDUSTRY
Kitajima, Masatoshi	:	JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
Sakasegawa, Toshio	:	METAL MINING AGENCY OF JAPAN
Fure, Masahiro	:	"
Hosoi, Yoshitaka	:	"
Endo, Yasuo	:	"

(COLOMBIA)

Jorge Luis Ordoñez	:	MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES
Nohora Bateman Duran	:	DEPARTAMENTO NACIONAL PLANEACION
Alfonso López Reyna	:	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO -MINERAS
Raúl Durán Rodríguez	:	"
Humberto Patiño	:	"
Germán Contreras	:	"

o Trabajos en Campo

(JAPON)

Nagumo, Yoshihiro	Jefe de delegación,	MITSUI MINERAL DEVELOPMENT
	geología, geoquímica	ENGINEERING CO., LTD.
Saito, Nobuo	(geología, geoquímica)	"
Doi, Shinichi	(")	"
Inuzuka, Shigezo	(geofísica)	"
Suzuki, Takashi	(")	"
Tanaka, Tomio	(")	"
Kato, Masatane	(")	"

(COLOMBIA)

Pedro Marín	(geología, geoquímica)	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
		GEOLOGICO-MINERAS
Dario Mosquera	(")	"
Rosalba Salinas	(")	"
Oscar Pulido	(")	"
Clemente Ropaín	(geofísica)	"
Miguel Garzón	(")	"

1.2. EXPLICACION DEL AREA INVESTIGADO

1.2.1. GEOGRAFIA

El área bajo estudio, o área de Almaguer está ubicado en el Departamento del Cauca en el SW de Colombia. Almaguer está conformado topográficamente por las Cordilleras Central, Occidental y la Depresión Intercordillerana del Cauca-Patía a excepción de algunos pocos ríos que caen a la cuenca del río Cauca, la gran mayoría de los ríos y quebradas conforman la gran cuenca del río Patía.

Este área posee un clima de bosque seco tropical con precipitaciones promedio anual de 1500 mm, y en la parte baja el promedio anual de la temperatura es 26°C.

La industria principal de la región está representada por la agricultura: cultivo de caña de azúcar, café, maíz y yuca. También a la ganadería.

1.2.2. TRABAJOS ANTERIORES

Los más recientes trabajos geológicos en la región corresponden a Marulanda (1976, 1978), Pérez (1980), Paris y otros (1980), Orrego y otros (1984).

Marulanda realizó estudios geológicos y geoquímicos detallados en el centro del área y reportó muchas indicaciones de minerales. Pérez discutió la evolución de la geotectónica del área a través del movimiento de placas. Paris y Marín estudiaron y compilaron la geología del Departamento del Cauca. Orrego en su último trabajo cubrió la mitad norte del área de Almaguer y discutió en detalle su geología.

La terminología y nomenclatura en esta investigación seguirá las pautas establecidas en estos trabajos.

1.2.3. ESTRATIGRAFIA DE LA GEOLOGIA REGIONAL

Geología

La cronoestratigrafía del área Almaguer y los alrededores es como sigue (PL. 1-1, 1-2, 1-3, Fig. 1-2-1, 1-2-2, 1-2-3).

Precámbrico (Pem).- Aunque esta unidad no aflora en el área investigado, sí se presenta en la parte más este del Departamento y está representada por rocas metamórficas consistentes en cuarcitas, anfibolitas, migmatitas, paraneis, ortoneis y granitos anatócticos. Estas rocas constituyen la prolongación más occidental del Escudo Guayanés, cuya edad ha sido datada como pre-cámbrica (Grosse, E., 1935, Vesga, C.J., et al, 1973).

Paleozoico (Pzm).- Una serie de rocas metamórficas correlacionables al Grupo Cajamarca afloran en gran parte de la Cordillera Central Caucana. El Grupo Cajamarca, aflorante en Cerro Negro, fue definido por Nelson, W. (1962) en la ruta Ibagué-Armenia, en la sección comprendida entre las "Vueltas del Perico" (Cajamarca) y El Páramo de la línea. El Grupo Cajamarca está constituido por esquistos clorito-actinolíticos, esquistos verdes, esquistos carbonosos, esquistos cuarzo-sericíticos, esquistos sericíticos, cuarcitas macizas y foliadas y en menor proporción esquistos aluminicos. Estas rocas correspondieron posiblemente a tobas básicas, grauvacas, shales carbonáceos, areniscas ortocuarcíticas y areniscas impuras, cuya composición mineralógica primaria fue reconstruida con nuevas asociaciones mineralógicas como producto de un metamorfismo regional de alto a bajo grado, en donde hubo una mayor influencia de la temperatura que de la presión y constituyendo una agrupación típica Abukuma.

Jura-Triásico (Jrsr).- Estas rocas sedimentarias y volcánicas afloran

únicamente en la Bota Caucana y en las estribaciones de la Cordillera Centro-Oriental. Litológicamente la unidad está constituida por conglomerados, areniscas, limolitas de color rojizo o violáceo, calizas y limolitas abigarradas. Asociadas a estas rocas sedimentarias se encuentran rocas piroclásticas y flujos volcánicos de composición intermedia a ácida. Grosse, E. (1935) le ha asignado una edad a estas rocas desde el Jurásico hasta el Triásico. A este mismo período geológico pertenece una serie de batolitos y plutones localizados en la Bota Caucana y hacia el sector de Belalcázar. Estas rocas son hipidiomórficas, equigranulares, de grano medio a grueso y su composición varía de cuarzdiorita a granodiorita. Los batolitos localizados al NE del Cauca son posiblemente una prolongación del Batolito de Ibagué, datado según K/Ar en biotita y hornblenda en 143 ± 5 m.a. (Barrero, D. y Vesga, C.J., 1976).

Cretáceo - Grupo Dagua (Kgd).- Este conjunto de rocas aflora y constituye un 60% de la Cordillera Occidental. Este grupo de rocas fué definido originalmente por Nelson, W. (1962), a lo largo de la carretera Cali-Buenaventura. En el Departamento del Cauca, esta secuencia metamórfica tiene su mejor exposición en el corte de la carretera Balboa-Argelia y está representada por filitas silíceas y carbonáceas de color gris oscuro y meteorizan a gris oliva, meta-areniscas, metacherts, escasos conglomerados y en menor proporción filitas verdes y metacalizas. Estas rocas han sido datadas con fósiles recolectados en la vía Cali-Buenaventura por Aluja (1975) y Barrero (1977), asignándoles una edad Aptiana; sin embargo, muchos investigadores precisan que su edad podría llegar hasta el Cretácico Inferior.

Esquistos de Glaucofana (Kca).- Su ubicación más típica se presenta en la cresta de la Cordillera Central, en el noreste del Departamento del Cauca, al oriente de la población de Jambaló. Esta secuencia posiblemente se extiende unos 20 km. en dirección NS. Los mayores afloramientos se encuentran a lo largo de la quebrada Calambás y están compuestos esencialmente por intercalaciones de rocas metavolcánicas y metasedimentarias; éstas últimas están compuestas por metalimolitas, metagrauvas, mármoles y filitas carbonáceas. Las metavolcánicas están compuestas por metadiabasas y metabasaltos. Los minerales más característicos de esta unidad metasedimentaria son: glaucofana, lawsonita, jadeita, crossita (?), aragonito, clorita, epidota, plagioclasa, actinolita, augita, esfena y accesorios (Orrego, A. et al, 1977). Esta agrupación mineralógica corresponde a alta presión, baja temperatura, facies esquistos de glaucofana (Miyashiro, A., 1973). La edad del metamorfismo de los esquistos de glaucotana es de 125 ± 15 m.a.; Cretácico Inferior (Orrego, A., et al, 1979).

Secuencia Metamórfica (Kmvs, Ka).- Estas unidades litológicas afloran al oeste de Jambaló y entre los municipios de Rosas y La Sierra. Las unidades consisten en metagabros, anfibolitas, metabasitas, esquistos negros, metachert y esquistos cuarzo-sericíticos.

Grupo Diabásico (Kv, Kvs).- Estas rocas afloran esencialmente en la Cordillera Occidental y en el flanco occidental de la Cordillera Central, donde son correlacionables con el Grupo Quebradagrande. En la Depresión Intercordillerana del Cauca-Patía y al oeste de la falla de Romeral el Grupo Diabásico infrayace la molasa terciaria y demás unidades litológicas. El nombre de Grupo Diabásico fue dado por Nelson, W. (1962) a una secuencia de rocas subvolcánicas básicas de ambiente oceánico y a su conjunto de rocas sedimentarias asociadas. En rasgos generales al Grupo Diabásico ha sido dividido en dos conjuntos, uno representado esencialmente por rocas volcánicas (Kv) y otro compuesto por una secuencia volcánico-sedimentaria (Kvs).

Período	Epoca	Formación	Columna Estratigráfica	Litología	Espesor (m)	Actividad ígnea	Mineralización
Cuaternario	Holoceno	Sed. Inconsolidado		aluviales, coluvios cenizas, "ash fall"		Roca Volcánica	
	Pleistoceno	Formación Popayán		conglomerados toba y toba brecha flujos de lavas ignimbritas fluviolacustres			
Terciario		Plioceno	Formación Galeón		arenisca toba conglomerados		
	Formación Esmita			arenisca porfídico andesítico conglomerados arenisca cuarzodiorita ultramáfica limolitas fosilíferas			
	Mioceno	Formación Mosquera		limolitas mantos de carbón areniscas cuarzosas conglomerados			
	Oligoceno Eoceno			areniscas cuarzosas conglomerados rocas ultramáficas colizas limolitas ferruginosas			
Cretáceo		Formación Peña Morada		conglomerados			
		Grupo Diabásico		gabbros basalto, diabasas conglomerados chert arenisca y limolita			
		Grupo Daguo		diabasas limolita chert			
Jurásico				arenisca, metasediment por. dacítico cuarzo-diorita Rocas máficas y ultramáficas			
				limolita areniscas conglomerados			
Ordovícico		Grupo Cajamarca?		por. andesítico esquistos verdes, cuarzo-sericiticos, metabasitas y metasedimentarias			
				granitoide cataclizado, neises y esquistos microlíticos			
Cambrico							

Ref. A. Orrego L et al (1984); P. Marín, G. París, A. Orrego y M.E. López (1979)

Fig. 1-2-3 COLUMNA ESTRATIGRAFICA ESQUEMATIZADA DEL AREA ALMAGUER

El conjunto volcánico está compuesto por diabasas, por lo general en silos, aunque hay oportunidades en que las diabasas cortan ligeramente los planos de estratificación de las rocas sedimentarias. Es muy común observar lavas almohadilladas en estas diabasas. El conjunto sedimentario es mucho más abundante en su parte superior y consta de shales, cherts, limolitas, grauvacas y areniscas.

Secuencias Ofiolíticas Incompletas (Kto).- Varias secuencias ofiolíticas incompletas se presentan asociadas a las grandes fallas que corren N-S en el borde occidental de la Cordillera Central y en la Depresión Intercordillerana Cauca-Patía (París, G., y Cepeda, H., 1978). La litología de estas rocas consisten desde la asociación más simple de peridotita y diabasa, hasta otras más completas con peridotita, dunita, gabros con estructura en cúmulos, diques paralelos de diabasa y lavas almohadilladas. Dentro de estas secuencias se pueden citar las que aparecen en las localidades de La Tetilla, La Sierra y Guayabillas. Se piensa que la edad inicial del emplazamiento tectónico de estos cuerpos corresponde al Cretácico avanzado hasta posiblemente el Mioceno.

Rocas Ultramáficas (Ktu).- Estos cuerpos por lo general se presentan asociados, como los anteriores a las grandes fallas, son del tipo "Alpínico" y afloran en los alrededores del municipio de Jambaló y entre los municipios de Rosas y Timbío. Su composición es muy simple y consta esencialmente de peridotita con mayor o menor serpentización. La edad de su emplazamiento se deduce con base en la relación de movimientos de las fallas asociadas a ellos y es de aceptación general entre el Cretácico y el Mioceno (París y Marín, 1979).

Terciario. Formación Mosquera (Tem).- Esta Formación se localiza esencialmente en el flanco oriental de la Cordillera Occidental y en el flanco occidental de la Cordillera Central, en la parte meridional del Departamento del Cauca. La Formación Mosquera fue definida por Grosse, E. (1935) como el Eoterciario de Mosquera. Esta secuencia sedimentaria (Fig. 1.2.4), es esencialmente conglomerática arenácea, de color blanco a gris claro, con abundantes intercalaciones de limolitas grises. Es típico de esta unidad litológica la presencia de estratos de carbón en forma lenticular.

Los conglomerados están constituidos en un 90% por cantos de cuarzo lechoso y en menor proporción por cantos de chert y areniscas, alcanzando las primeras hasta 10 cm. de espesor, en una matriz de areniscas cuarzosas de composición similar a la fracción mayor. Las areniscas están conformadas por granos angulares y subangulares de cuarzo, con algo de chert y cuarcita. Su estratificación es gruesa y al igual que los conglomerados, están dispuestas en bancos de 1 a 10 m. de espesor. La parte más baja de la formación está compuesta por limolitas de color gris. Su espesor promedio alcanza unos 200 m. La edad de la Formación Mosquera - abarca desde el Eoceno medio hasta el Mioceno inferior (Roy y Gómez, J., 1942).

Formación Esmita (Tme).- Dentro del Terciario de la Depresión Intercordillerana del Cauca-Patía, la Formación Esmita es la unidad litológica más ampliamente distribuida y aflora tanto en los flancos de la Cordilleras Occidental y Central, como en la cuenca del Patía y se extiende hacia el sur en el Departamento de Nariño. León et al., (1973) la definió en base al Mediaterciario inferior del Patía descrito por Grosse, E., (1935). La sección tipo de esta formación se encuentra en el río Esmita. En la notable extensión de su ocurrencia esta formación presenta numerosos cambios de facies tanto en la vertical como en la horizontal.

La Formación Esmita se ha dividido con base en su litología, en tres miembros: Miembro Limolítico-fosilífero, Miembro Arenáceo y Miembro conglomerático (Fig. 1-2-5). El Miembro Limolítico-fosilífero está constituido

por estratos de limolitas verde-grisáceo, de 1 a 9 m. de espesor, localmente exhibe concreciones calcáreas y abundante fauna de gasterópodos y pelificpodos. El Miembro Arenáceo suprayace al anterior y está constituido por areniscas de grano medio a grueso, de color gris-verdoso y de estratificación gruesa. Las areniscas presentan intercalaciones de limolitas de color gris violáceo, con fauna de gasterópodos y lamelibranquios, localmente presentan delgadas intercalaciones de carbón. El Miembro Conglomerático lo constituyen bancos de conglomerado gris oscuro, compuestos por cantos de chert, cuarcita, basalto, areniscas, esquistos y rocas - ígneas, en una matriz arenosa de composición similar a la fracción gruesa. El espesor promedio de la Formación Esmita es de 3000 m. y en el Bordo-Bolívar alcanza 5000 m.

Su origen es continental de aguas salobres, localmente presenta ambiente de precipitación de pantano. La Formación Esmita se puede correlacionar con el Piso Superior del Terciario Carbonífero de Antioquia (Grosse, E., 1926) y se le ha asignado una edad del Mioceno con base en su fauna (Duque, H., 1974).

Terciario - Rocas Ígneas. Dacitas (Tda).- Las dacitas están constituidas esencialmente por cuarzo bipiramidal, plagioclasa, biotita y hornblenda como fenocristales (hasta 2 cm) en matriz afanítica a ligeramente fanerítica. La textura y composición de estas rocas no permanecen constantes, inclusive pueden cambiar de un afloramiento a otro en un mismo cuerpo dacítico.

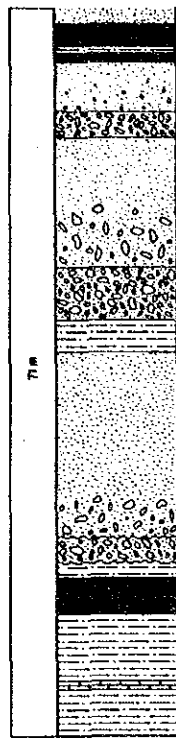
Andesitas (ta).- Esta unidad litológica está constituida esencialmente por plagioclasa, biotita y/u hornblenda en una matriz afanítica. Los fenocristales alcanzan en algunas oportunidades hasta 3 cm como en el caso de La Medina, indicando una cristalización muy lenta y muy estable. La composición mineralógica y textural son muy variables, al igual que las dacitas.

Cuarzodioritas (Tcd).- En general estas rocas plutónicas están compuestas por cuarzo, plagioclasa, biotita y ocasionalmente hornblenda. Su textura es equigranular, hipidiomórfica, grano medio a grueso, localmente pueden ser porfídicas. Las principales ocurrencias de estos pequeños cuerpos plutónicos cuarzodioríticos se ubican en el norte del Departamento del Cauca entre las poblaciones de Santander, Timba y Suárez. Cuerpos menores se presentan en el sur del Departamento en el cinturón de porfidos dacíticos y andesíticos de la Cordillera Central. Estos cuerpos plutónicos cortan rocas del Mioceno y se han datado como del Plioceno en base a los análisis radiométricos K/Ar en rocas de Paso Bobo (Suárez, C.) con una edad de 6 ± 1 m.a. (Alvarez, J., et al, 1978). Igualmente, al sur del cinturón de los cuerpos porfídicos del Departamento del Cauca, en Nariño (San Pablo) se dató por K/Ar el 'stock' porfídico de San Cristóbal con una edad de $- 13 \pm 3$ m.a. ó Mioceno medio (Alvarez J., 1979) edad que se puede considerar como representativa para cuerpos similares dentro del cinturón de porfidos.

Andesitas y Dacitas sin diferenciar (TA-da).- Las andesitas y dacitas sin diferenciar constituyen cuerpos intrusivos compuestos y cubren mayores áreas que los cuarzodioríticos. En los municipios de Piedrasentada, San Miguel y El Diviso, aflora uno de los cuerpos más importantes con estas características.

Cuarzodioritas y Dioritas sin diferenciar (Tcd-di).- Cuarzodioritas y dioritas sin diferenciar se observan en el área de la población de Suárez; también se encuentran en el municipio de Almaguer y en el corregimiento de San Miguel.

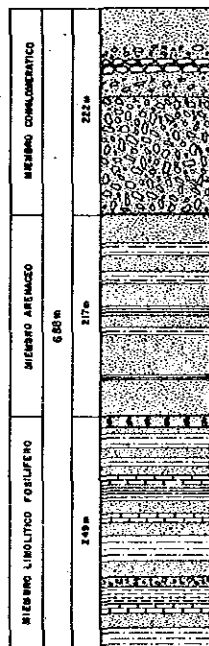
Diorita (Tdi).- Pequeños cuerpos plutónicos dioríticos se localizan en la parte septentrional del Departamento del Cauca, principalmente en los municipios del Tambo y Buenos Aires. Igualmente, un pequeño cuerpo dio-



- Arenisca de grano medio.
- Mantos de carbón bituminoso.
- Arenisca conglomerática.
- Conglomerado con centros de cuarzo hasta 3cm de radio.
- Arenisca conglomerática.
- Conglomerado con centros de cuarzo hasta 3cm de radio.
- Limolita de color verde.
- Arenisca ortocuarcítica.
- Conglomerado con centros de cuarzo hasta 3 cm de radio.
- Manto de carbón bituminoso.
- Limolita carbonácea y calcárea de color gris oscuro con intercalaciones de calizas.

Levantado sobre la Quebrada Chuntito, Mpio del Tamba.
Modificado de León, et al, 1973

Fig. 1-2-4 COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA FORMACION MOSQUERA



- Conglomerado polimítico con centros de basalto, chert y cuarzo en una matriz arenosa.
- Conglomerado polimítico con centros de feldspato, basalto y ondulito en una matriz arenosa.
- Areniscas ortocuarcíticas.
- Limolitas.
- Limolitas de color verde grisáceo.
- Shales negros, localmente presenta concreciones calcáreas.
- Areniscas ortocuarcíticas con estratificación gruesa e intercalaciones de limolitas y shales carbonáceas.
- Limolitas con intercalaciones de areniscas y esporádicamente capas de calizas.
- Shales negros, localmente presenta concreciones calcáreas.
- Limolita, arenisca y conglomerado de cuarzo.
- Arcifolias limosas.
- Limolitas.

Levantado sobre la Quebrada Saca, Mpio. El Bordo.
Modificado de León, et al, 1973

Fig. 1-2-5 COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA FORMACION ESMITA

rfítico se presenta al oeste de la población de Bolívar.

Tarciarario - Cuaternario. Formación Popayán (TQv).- Esta secuencia volcánico-sedimentaria ocupa principalmente la Cordillera Central y la Depresión Intercordillerana del Cauca-Patía y se extiende en forma casi continua desde el norte del Departamento del Cauca hasta bien al sur en el Departamento de Nariño. Esta formación es principalmente volcánica, sin embargo, presenta sectores con abundante material sedimentario intercalado, observándose localidades donde únicamente afloran rocas de aspecto detrítico. En la Depresión Intercordillerana Cauca-Patía, esta secuencia tiene un carácter típico de relleno, con bancos casi horizontales, los cuales durante el Pleistoceno constituyeron una llanura continua, actualmente disectada por los diferentes afluentes de las hoyas hidrográficas del Cauca y Patía. Hacia la Cordillera Central, la Formación es esencialmente volcánica, e incluye los conos de deyección de los volcanes actuales. El origen de esta unidad litológica lo constituyen el volcán Nevado del Huila, y los volcanes del Puracé, Coconucos y Sotará en el Cauca y el Volcán de Las Animas en Nariño. Los materiales provenientes de estos volcanes consisten principalmente de rocas andesíticas y dacíticas, escoria, brechas andesíticas, ignimbritas, depósitos de avalancha y flujos de lodo.

El espesor promedio de esta secuencia volcánico-sedimentaria es de 600 m. Hubach, E. (1957) le asignó una edad Plio-Pleistoceno.

Cenizas (Qc).- Los cuerpos piroclásticos y esencialmente las cenizas registran el último evento de cualquier actividad volcánica. En el Departamento del Cauca se presentan como parches aislados, muchas veces no cartografiables, compuestos comúnmente por granos muy finos, fosilizando una paleografía. Muchas de ellas han sido depositadas en lagos o lagunas antiguas, presentando una estratificación muy definida. En otras oportunidades han sufrido un transporte muy corto cuando han sido depositadas en altas pendientes y por gravedad tienden a ocupar áreas más estables. En muchos casos estas cenizas se han transformado en arcillas residuales y su distinción con las rocas infrayacentes meteorizadas se hace muy difícil.

Geología Estructural

El desarrollo estructural del Departamento del Cauca fue analizado e interpretado por París y Marín, 1979 y los participantes en este estudio estamos de acuerdo con sus conclusiones en los siguientes términos:

"Los rasgos geológicos fundamentales, determinantes de la conformación natural del Departamento del Cauca son: las rocas de afinidad continental correspondientes a las metamorfitas paleozoicas y pre-cámbricas de la Cordillera Central y las rocas oceánicas básicas y sedimentarias del Cretáceo, situadas al oeste de dicha cordillera y separadas entre sí por una de las fallas del sistema fundamental de Romeral.

Superpuestas a estas dos unidades fundamentales, se presentan el magmatismo y vulcanismo Mesozoico y Cenozoico y el desarrollo de las cuencas de la molasa terciaria.

En este desarrollo tectónico y magmático han intervenido la actividad de dos zonas de subducción, de las cuales la más antigua y oriental está enmascarada por los procesos de acreción continental y cuyo "trench" ocupó la margen occidental de la Cordillera Central (Figs. 1-2-6, -7, -8). La segunda, es el resultado del salto hacia el oeste de la primera zona, y cuyo 'trench' actualmente en actividad, se encuentra situado debajo de la planicie costera del Pacífico (Meissner, R.O., et al., 1976).

El desarrollo de una antigua zona de subducción con movimiento hacia el oeste, situada al occidente de la Cordillera Central a lo largo de una

margen del tipo Andino (SILLITOE, R., 1978), posiblemente originó gran parte del plegamiento y posterior metamorfismo del Grupo Cajamarca y el magmatismo y vulcanismo calco-alcalino Triásico-Jurásico presentes en dicha Cordillera. El plutonismo se extendió hasta el Cretáceo, período durante el cual también se desarrolló un vulcanismo básico y sedimentación turbidítica durante el Cretáceo inferior, en el lado continental del antiguo "trench". Estas rocas en la actualidad se presentan como parches aislados, falladas y asociadas al Grupo Cajamarca, y localmente deformadas por las fallas del sistema de Romeral.

El sistema de fallas de Romeral posiblemente tuvo su desarrollo con posterioridad al Cretáceo Inferior con un movimiento de rumbo y dextral que transportó desde una fuente al sur (SILLITOE, R., 1978), rocas oceánicas del Cretáceo superior, situadas al oeste de dicha falla y que conforman gran parte de la Cordillera Occidental. La Falla de Romeral se extiende hasta la deflección de Guacambamba o Golfo de Guayaquilla en el Ecuador (LONDSDALE, P., 1978), donde se interna en el Océano Pacífico, para coincidir con el "ridge" de Alvarado.

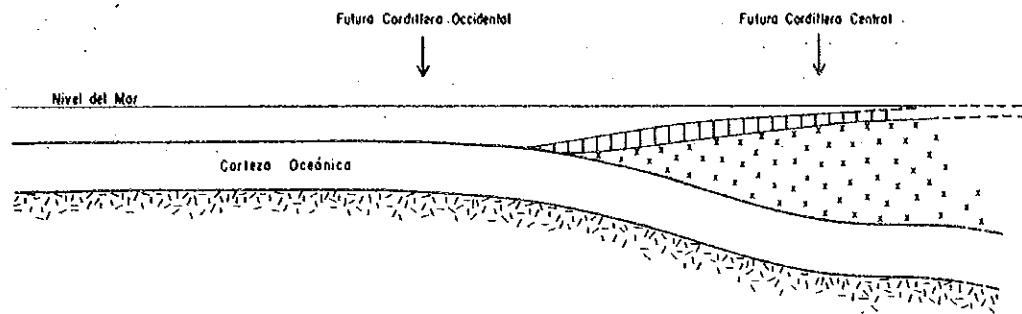
La antigua zona de subducción saltó al oeste de la Cordillera Occidental (TOUSSAINT, J.F., y RESTREPO, A.J.J. 1976) durante el Terciario y su actividad hacia el este ocasionó el levantamiento de la Cordillera Occidental, el desarrollo de la cuenca de las formaciones terciarias, movimientos verticales en la falla fundamental de Romeral y el desarrollo de bloques tectónicos que mediante cabalgamientos imbricados emplazaron en superficie rocas del manto, esquistos de glaucofana y ocasionaron el metamorfismo del Grupo Dagua. Esta serie de eventos dejó sepultada y oscurecida la antigua zona de subducción (mesozoica) que originalmente tuvo su "trench" en el borde occidental de la Cordillera Central.

A partir de la zona de subducción cenozoica se ha desarrollado el magmatismo Mio-Plioceno, con predominio de cuerpos de naturaleza subvolcánica, ubicados con preferencia en la parte marginal de la Cordillera Central y en menor proporción, en la Depresión Intercordillerana del Cauca-Patía y en la Cordillera Occidental. Posiblemente debido a cambios en el buzamiento de la actual zona de subducción, la actividad ígnea saltó al este y se encuentra representada por el magmatismo Terciario-Cuaternario de los volcanes de Puracé, Pan de Azúcar y Sotará."




Geología Económica

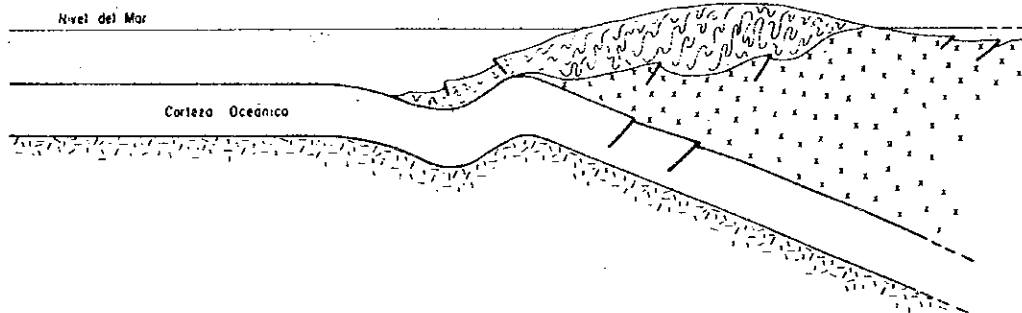
El Departamento del Cauca presenta gran cantidad de prospectos y ocurrencias de minerales metálicos y no metálicos; sin embargo, en la actualidad son muy pocas las minas que se están explotando, entre las cuales merecen destacarse los depósitos de carbón en la hoya del Río Suarez y la mina de azufre El Vinagre, en las faldas del Volcán Puracé. El resto de manifestaciones o están muy poco estudiadas o no son económicamente rentables, tal como sucede con las bauxitas de Morales y Cajibío, o las manifestaciones minerales de El Pisco.

En cuanto hace referencia a los yacimientos de oro y plata, estos están distribuidos en todo el departamento y su explotación se hace a un nivel técnico muy rudimentario. Igual sucede con el oro de aluvión; éste se explota en forma muy artesanal en los aluviones del Patía, Cauca y Guachicono, en la región Andina. En el área bajo estudio se explotaron algunas minas de oro tipo filoniano, pero por diferentes circunstancias fueron cerradas. Asimismo sucedió con algunas minas de antimonio que por falta de mercadeo fue suspendida su explotación.



SITUACION DURANTE EL PALEOZOICO TEMPRANO
 Deposition sobre el Escudo Guayanés de las rocas
 que conformarán el Grupo Cajamarca.

-  Rocas pre-metamórficas del Grupo Cajamarca.
-  Escudo Guayanés
-  Manto



POSIBLE SITUACION EN EL PALEOZOICO TARDIO
 Plegamiento y metamorfismo en el Grupo Cajamarca.
 Desarrollo incipiente de la Zona de Subducción.
 Evolución embrionaria de la Cordillera Central




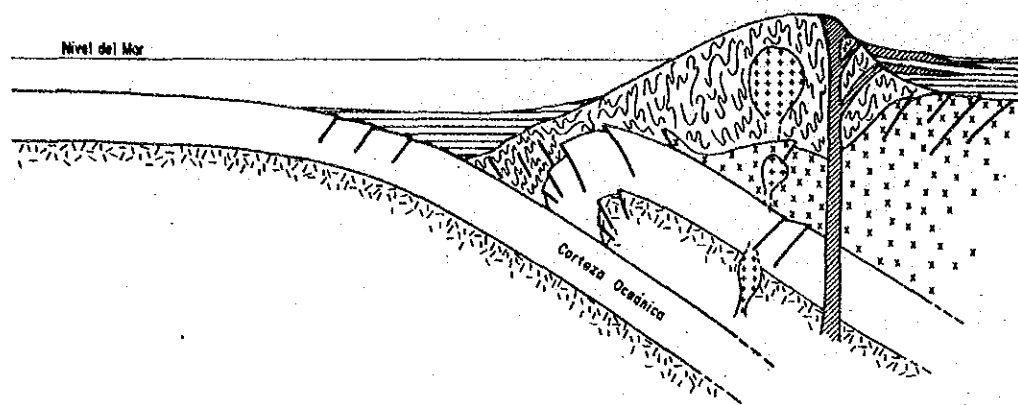
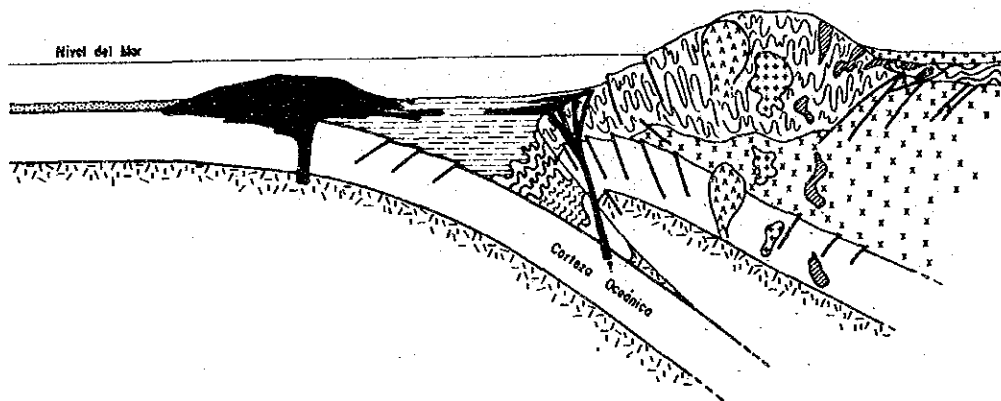
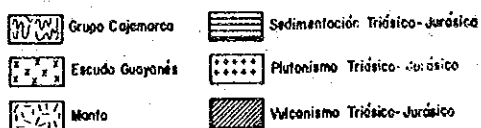
-  Grupo Cajamarca
-  Escudo Guayanés
-  Manto

Fig. 1-2-6 EVOLUCION GEOLOGICA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA



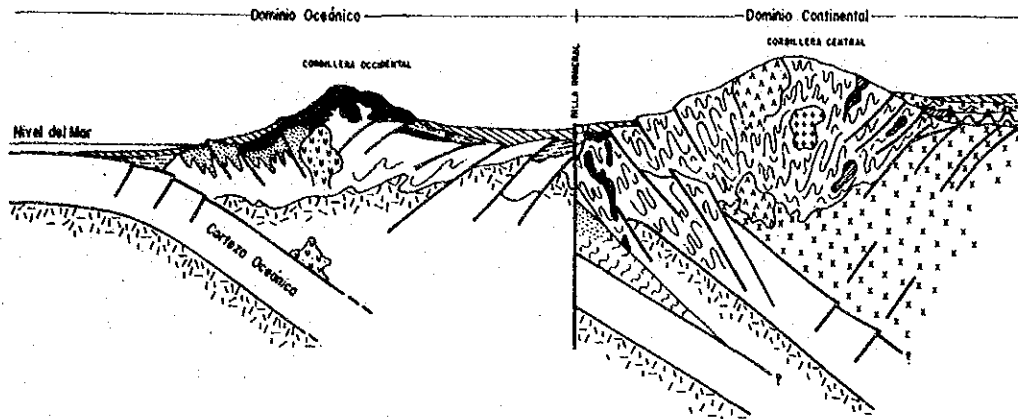
POSIBLE SITUACION EN EL MESOZOICO TEMPRANO
 Metamorfismo en el Grupo Cajamarca.
 Desarrollo completo y actividad de la Zona de Subducción.
 Sedimentación, plutonismo y vulcanismo Triásico-Jurásico.



POSIBLE SITUACION DURANTE EL CRETACEO TEMPRANO
 Sedimentación Cretácea Miogeosinclinal y Eugeosinclinal.
 Plutonismo intermedio o ácido.
 Vulcanismo básico e intermedio en el lado oceánico como en
 el lado continental del Trench.
 Metamorfismo de alta presión.

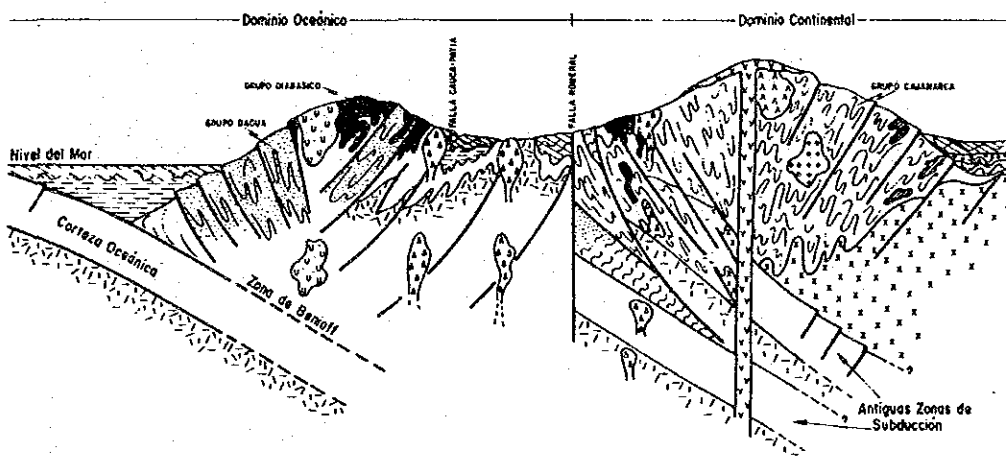


Fig. 1-2-7 EVOLUCION GEOLOGICA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA (CONTINUACION)



POSIBLE SITUACION CRETACEO TARDIO A PALEOCENO

Desarrollo de la falla de Romeral con movimiento Direccional y Dextral.
 Imbricación de bloques del dominio oceánico hacia el continental.
 Levantamiento de la cordillera Occidental originando el metamorfismo del Grupo Dagua y del Grupo Diabásico.
 Desarrollo de una nueva Zona de Subducción (Zona de Benioff).
 Plutonismo Paleoceno en la cordillera Occidental.
 Iniciación de la sedimentación de la Molasa Terciaria.



POSIBLE SITUACION ENTRE EL PALEOCENO Y EL TIEMPO PRESENTE

Sedimentación de la Molasa Paleoceno-Mioceno.
 Imbricación de bloques hacia el Este.
 Reactivación del sistema de Fallas de Romeral.
 Vulcanismo Cenozoico.

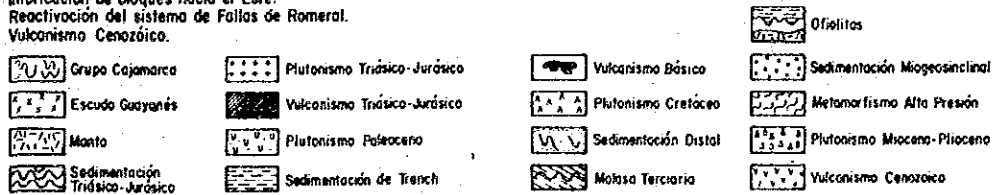


Fig. 1-2-8 EVOLUCION GEOLOGICA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA (CONTINUACION)

2. RECOPIACION DE DATOS ANTERIORES

2.1. RESUMEN DE LA INVESTIGACION

2.1.1. OBJETIVO

El objetivo es elegir las áreas mineralizadas y alteradas recopilando los datos geológicos anteriores, realizando interpretaciones geoquímicas, y examinando los datos geológicos y geoquímicos totalmente.

2.1.2. EXTENSION DE LA INVESTIGACION

El área de interés se denomina área Almaguer localizada al sur del Departamento de Cauca, República de Colombia. (Fig. 1-1-1)

El área de Almaguer tiene una superficie de 3,600 km² y está ubicada en las planchas topográficas, escala 1:100,000 364-Timbio y mitad oeste plancha 387-Almaguer.

2.1.3. PRESENTACION DE DATOS

Los datos que tratan sobre la geología del área se encuentran basados en los datos obtenidos de París y Marulanda (1976); Marín, París, Orrego, y López (1979); Orrego, et al., (1984).

Los datos fueron trazados en las planchas topográficas, escala 1:50,000.

Los datos que tratan sobre la geoquímica están basados en los análisis de los valores, de sedimentos activos coleccionados por Ingeominas, Popayán desde 1972 hasta 1981.

2.2. RECOPIACION DE DATOS GEOLOGICOS

Hay algunos desacuerdos en la posición de fallas en las fajas geológicas que surgen en la unión de los mapas geológicos por la diferencia de redactores y tiempo de trabajo.

Los geólogos colombianos corrigieron y rehicieron los mapas cuando hicieron los trabajos en el campo este año, debatiendo con los ingenieros locales.

El mapa geológico del área está presentada en el PL. 1-1, 1-2, 1-3 y la explicación geológica es dada en 1.2.3. anteriormente mencionada.

2.3. RECOPIACION DE DATOS GEOQUIMICOS

2.3.1. PREPARACION Y ANALISIS DE LAS MUESTRAS

Las muestras geoquímicas son sedimentos activos y su promedio de densidad es aproximadamente 1.1 unidades/km².

Se hizo análisis "Emission Spectrograph", por eso muchos elementos fueron analizados y los valores son dados por semi-cualitativo.

De los elementos analizados; eligieron 8 elementos; Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Ni, Cr considerados que tienen relaciones estrechas con mineralización y alteración; estos fueron seleccionados como elementos quíza y realizaron tratamientos sintéticos.

2.3.2. DETERMINACION DE LOS VALORES ANOMALOS

En general los valores analíticos de las muestras indican estadísticamente la distribución normal de logaritmo.

A base de estas muestras nuestras computadoras nos proporcionaron los valores estadísticos.

Además hemos tenido en cuenta los histogramas junto con los datos obtenidos de las computadoras determinando los valores de las anomalías, como fuerte y débil.

Los valores estadísticos de los elementos analíticos y los valores de las anomalías de geoquímica se presentan en la tabla 2-3-1. (ref. Fig. 2-3-1, 2-3-2, 2-3-3)

2.4. ESTUDIOS SINTETICOS Y SELECCION DE AREAS DE INTERES

Los resultados de los análisis geológicos y geoquímicos revelaron los siguientes hechos:

- 1) Cu y Mo, Ni y Cr, tienen relativamente altos coeficientes y cada asociación concuerda exactamente con su área anómala.
- 2) Las zonas anómalas para Ni y Cr tienen una alineación NNE-SSW, dirección que viene a corresponder con una falla principal y con la distribución de rocas básicas y ultrabásicas, constituyéndose en una anomalía litológica.
- 3) Las zonas anómalas para Cu y Mo corresponden con las exposiciones de los intrusivos ácidos del Terciario.
- 4) Los valores anómalos para Au y Ag son escasos y muy puntuales, indicando mineralizaciones tipo filonianas.
- 5) Pb-Zn tienen una débil correlación y anomalías muy angostas y relacionadas directamente con rocas metamórficas del Paleozoico (Grupo Cajamarca).

En conclusión podemos decir que de acuerdo a los valores tan bajos de Pb y Zn y a su pequeña distribución no esperamos encontrar grandes depósitos de estos dos metales.

En el área de Alamaguer; las siguientes 13 áreas fueron seleccionadas como anómalas (Tab. 2-3-2).

- (1) NE de Rosas, 5 x 10 km, se encuentran 6 anomalías de Ni, distribuidas en dirección NNE-SSW. Tres áreas anómalas en el borde NW exhiben valores anómalos de Cr y Ni. Dentro de las 6 anomalías para Ni, 2 áreas con los más altos valores fueron seleccionadas como blancos de primer orden. Su geología está compuesta por rocas sedimentarias cretácicas y diabasas. Los máximos valores de Ni y Cr mostraron 200 y 1500 ppm respectivamente; sin embargo estos valores son un poco bajos si los comparamos con las otras áreas. Esta zona no es recomendable para investigaciones posteriores.
- (2) Zona de 9 x 7 km al S de Arbela, presenta un área extensa anómala para Mo y Ni asociada a una zona anómala más pequeña de Ag, Pb, Zn. Esta zona está compuesta por rocas metamórficas del Paleozoico (Cajamarca), rocas sedimentarias y basálticas cretácicas intruídas por ígneos terciarios. Los límites de las formaciones geológicas están constituidos por fallas con dirección NE-SW y NW-SE. La anomalía de Mo concuerda muy bien con pequeños cuerpos intrusivos terciarios. La anomalía de Ni está asociada a formaciones del Cretáceo y a lineamientos de falla. Al lado oeste de esta zona anómala existieron minas de Au y Sb expresadas por la anomalía de Pb. Debido a que el área anómala es bastante extensa y muchos elementos se presentan con valores anómalos, esta zona es recomendable para realizarle trabajos más detallados.
- (3) Zona del NW, 20 km de Piedrasentada. La anomalía es baja en valores especialmente en Mo con subordinación de Ni distribuidos irregularmente en un área de 100 km². La anomalía está compuesta por rocas del Grupo Diabásico intercaladas por fallas de dirección NS. Igualmente, afloran pequeños cuerpos de gabro y dacita, pero no hay una relación muy clara entre las anomalías de Cu y Ni y estas rocas. Los valores promedios son: Cu = 100 - 150 ppm, Ni = 50 ppm, los cuales no justifican una exploración más detallada de la zona anómala.

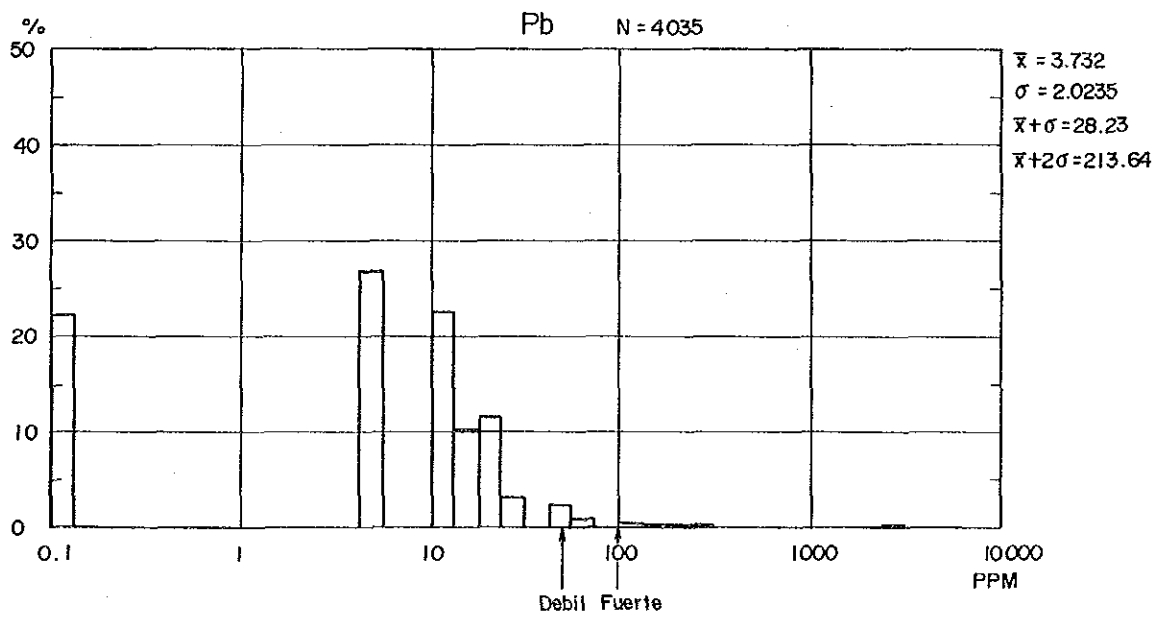
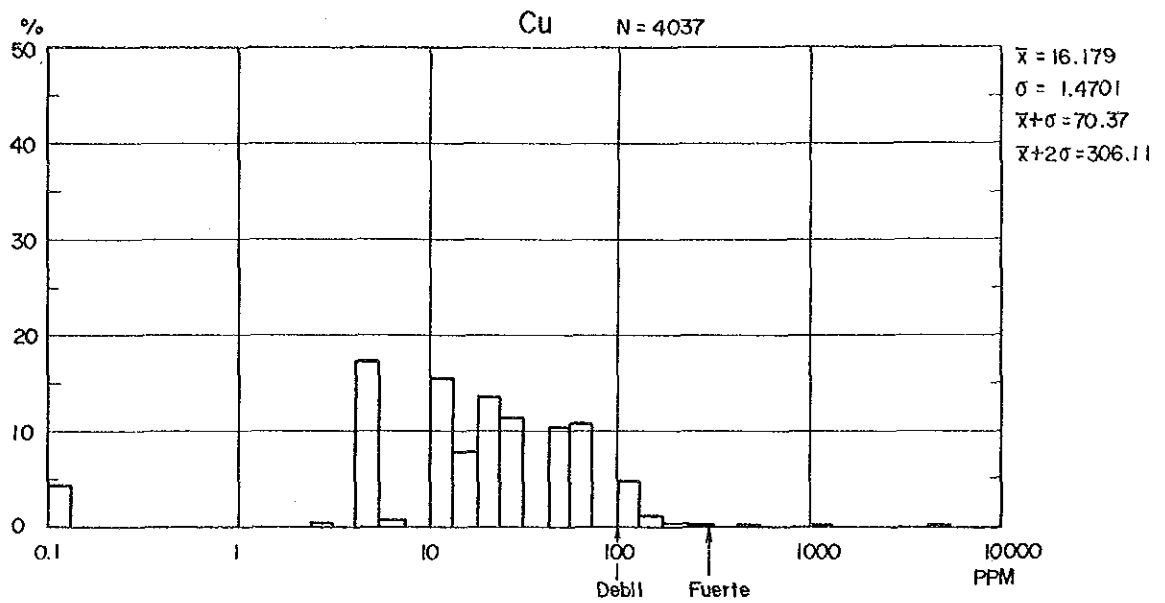


Fig. 2-3-1 HISTOGRAMAS DE CONCENTRACION GEOQUIMICA
EN SEDIMENTOS ACTIVOS FINOS, Cu, Pb

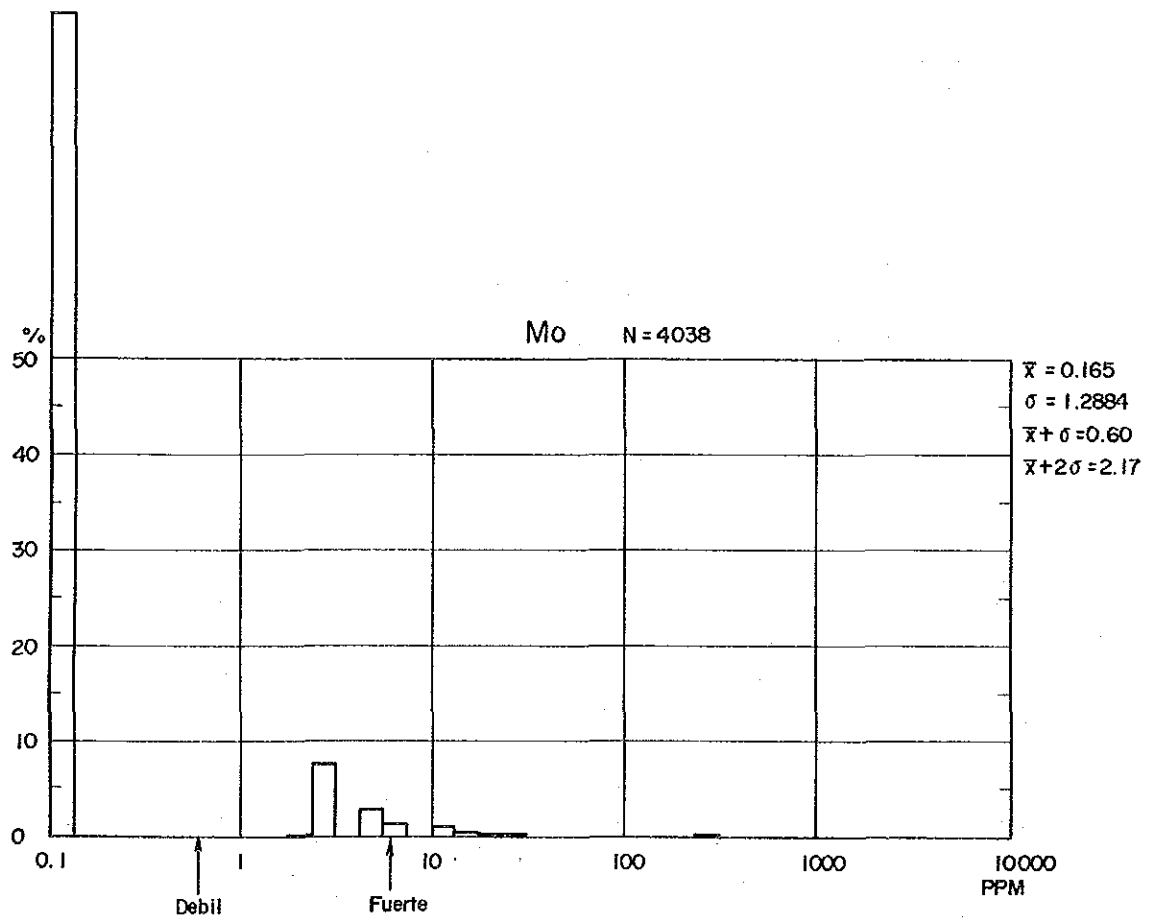
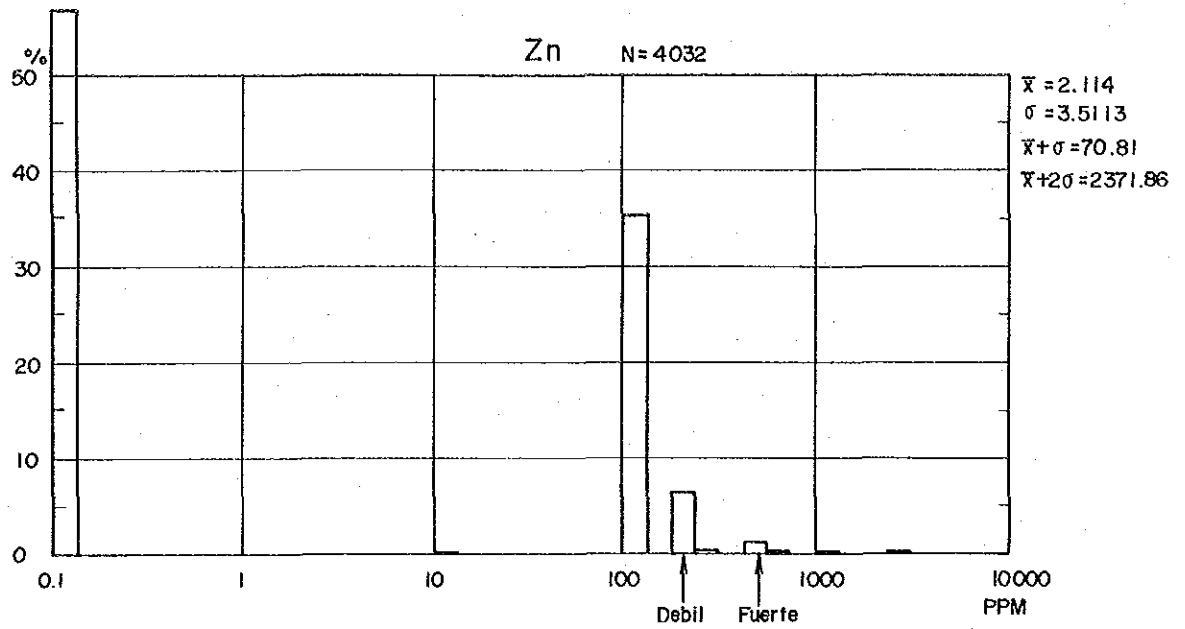


Fig. 2-3-2 HISTOGRAMAS DE CONCENTRACION GEOQUIMICA EN SEDIMENTOS ACTIVOS FINOS, Zn, Mo

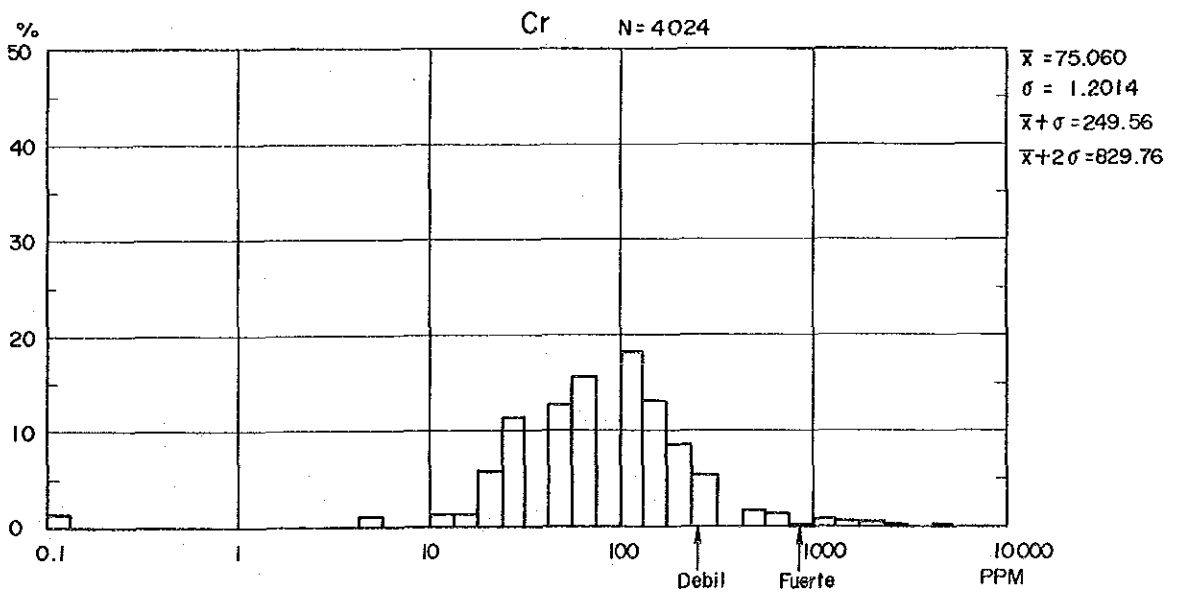
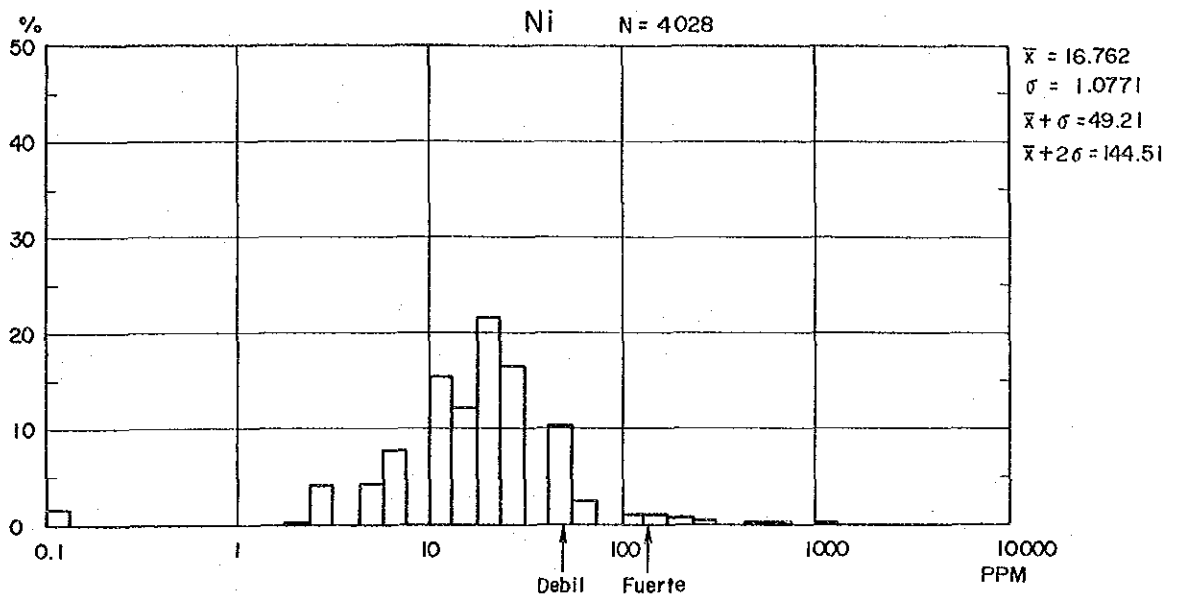


Fig. 2-3-3 HISTOGRAMAS DE CONCENTRACION GEOQUIMICA EN SEDIMENTOS ACTIVOS FINOS, Ni, Cr

Tab. 2-3-1 ESTADIGRAFOS DE SEDIMENTOS ACTIVOS
EN EL AREA DEL ALMAGUER

elementos	valor de anomalia		estadigrafos			
	débil	fuerte	número de muestras	media(\bar{x})	$\bar{x} + \sigma$	$\bar{x} + 2\sigma$
Au	-	0.92	1	No aceptable		
Ag	1	6	195	No aceptable		
Cu	100	300	4037	16.2	70.4	306.1
Pb	50	100	4035	3.73	28.2	213.6
Zn	200	500	4032	2.11	70.8	2371.9
Mo	0.6	6.0	4038	0.17	0.60	2.17
Ni	50	150	4028	16.8	49.2	144.5
Cr	250	830	4024	75.1	249.6	829.8

σ : desviación de estandado

15
天
之
界

Tab. 2-3-2 · ANOMALIAS GEOQUIMICAS DE ALMAGUER

Número de anomalía	Nombre en mapa	Ubicación	Elementos								Tamaño de Anomalía	Roca Encajante	Nota			
			Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Ni	Cr.						
1	Timbio (Este)	5km Nordeste de rosas							<5 △	200 ○	100 △	1500 ○	700 △	9 km ² (6x1.5) km	Roca básica (Ksvs), Intrusiva ácida (Tda)	Anomalía baja de Mo, Cr, y Ni en el área rodeada.
2	Timbio (Este)	Cerca de Cerro bellones y 5km sur de Arbela		2 △	150 △	100 ○	50 △	1000 ○	300 △	30 ○	5 △	100 △	500 △	63 km ² (9x7) km	Roca básica (Ksvs), Intrusiva ácida (Tda), Roca metamórfica (Pze)	
3	Timbio (Oeste)	20km Nordeste de Piedra Sentada			150 △							50 △		104 km ² (13x8) km	Roca básica (Kdv, Kg), Intrusiva ácida (Tda)	Siete anomalías de tamaño grande y pequeña.
4	"	10km Nordeste de Piedra Sentada								500 ○	<10 △	1000 ○	500 △	1.5 km ² (1x1.5) km	Roca básica (Kdv)	
5	"	5km Este de Piedra Sentada		<0.5 △	150 △				15 ○	5 △				6 km ² (1.5x4) km	Roca básica (Kdv), Intrusiva ácida (Tda)	Piedra Sentada, trabajo en 1984.
6	"	8km Sureste de Piedra Sentada			500 ○	200 △			15 ○	5 △				3 km ² (1.5x2) km	Intrusiva ácida (Tda)	Dominical, trabajo en 1984.
7	"	5km Sur de Piedra Sentada			200 △				700 ○	50 △		700 △		15 km ² (6x2.5) km	Roca básica (Kdv), Intrusiva ácida (Tda)	
8	Bolívar (Oeste)	23km Nordeste de Bolívar		1 △					15 ○					4 km ² (1x4) km	Roca sedimentaria (Tme), roca metamórfica (Pev), Intrusiva ácida (Tcd)	Cerro Negro, trabajo en 1984.
9	"	15km Norte de Bolívar							<10 △	300 ○	100 △	2000 ○	700 △	4.5 km ² (1x4.5) km	Roca básica (Ko), Intrusiva ácida (Tda)	
10	"	10km Noreste de Bolívar							700 ○	100 △	2000 ○	700 △		9 km ² (1.5x6) km	Roca básica (Ko), Intrusiva ácida (Tda)	
11	"	8km Noroeste de Bolívar			200 △				<5 △	700 ○	100 △	3000 ○	300 △	10 km ² (2x5) km	Roca básica (Ko), Intrusiva ácida (Tda)	La Medina, trabajo en 1984.
12	"	7km Este de Bolívar		7 △	1000 ○	200 △			20 ○	<5 △				5 km ² (1x5) km	Roca sedimentaria (Pecs), Intrusiva ácida (Ta, Tcd)	
13	"	5km Sur de Bolívar		1.5 △		150 ○	70 △	700 ○	20 ○			70 △		6 km ² (1.5x4) km	Roca metamórfica (Pecs)	

Nota: ○ anomalía alta, △ anomalía baja, 1500 ○ máximo en ppm

- (4) Zona 10 km al NE de Piedrasentada. Esta anomalía cubre un área de 1.5 km² y sus rocas corresponden al Grupo Diabásico. Como las otras áreas tienen una geología similar, cubren un área mayor, con mayores valores geoquímicos, esta zona no se recomienda para investigaciones posteriores.
- (5) Area Piedrasentada El área será cubierta este año con estudios geológicos semidetallados y prospección geofísica. La anomalía de Cu y Mo tiene una dirección NE-SW y un área de 1.5 km × 4 km. Su geología está caracterizada por la presencia de cuerpos intrusivos terciarios y de una gran falla con dirección NE. Aunque los valores de Cu están por debajo de 150 ppm, fueron también detectados valores de Mo y Ag.
- (6) Zona localizada al S de (5). El área anómala (2 km × 2 km) con valores de Cu más extensos rodeando una zona más pequeña de Mo. La geología está compuesta por intrusivos terciarios y hay 3 minas de Sb abandonadas dentro de una zona anómala fuerte, con valores de Cu 500 ppm, Mo 15 ppm. Esta zona se recomienda para trabajos posteriores.
- (7) Zona al S de Piedrasentada. Area anómala para Ni, Cr y Cu con una dirección NE, con un área de 6 km × 2.5 km. La zona anómala está compuesta por diabasa e intruída por dacitas terciarias. Aunque los valores de Ni son altos, los de Cr y Cu son bajos y como hay zonas más extensas y con mejores valores, ésta quedará en receso para una época posterior.
- (8) Zona 23 km al NE de Bolívar. Area anómala para Mo con dirección E-W y en una superficie de 4 km². Su geología está dividida por una falla NE-SW, rocas paleozoicas metamórficas al este y rocas sedimentarias terciarias al oeste. Intrusivos terciarios afloran en cercanías a la falla la cual está incluida en la zona anómala. Además al N, E y S de la anomalía hay minas abandonadas de oro y antimonio. Esta zona tiene prioridad para estudios detallados.
- (9), (10) y (11).- Cada zona corresponde a una anomalía de Ni y Cr alineadas NE-SW. La anomalía (11) contiene además Cu. Cada anomalía cubre un área de 4.5, 9 y 10 km² respectivamente. La anomalía (11) presenta los más altos valores de Cr (3,000 ppm). La geología es muy similar en las 3 áreas y está representada por rocas ultramáficas. Dentro de las 3 anomalías, la anomalía (11) por sus altos valores y por ser un área más extensa, se recomienda efectuar estudios detallados, los cuales servirán de guía para las otras dos áreas.
- (12) Zona al Este de Bolívar. Esta es una zona anómala para Cu, Mo y Ag con dirección NE y un área de 1.5 km². Su geología está compuesta por cuerpos terciarios intruyendo al paleozoico metamórfico. Las condiciones geológicas sugieren que esta región puede tener posibilidades de contener un depósito del tipo pórfido cuprífero.
- (13) Zona al S de Bolívar. Esta es un área anómala para Mo, con una zona angosta anómala para Pb, Zn, Ag y compuesta por rocas metamórficas del Paleozoico. Es aconsejable conocer las causas que originaron esta anomalía.

3. PIEDRASENTADA

Area anómala para cobre, molibdeno y localmente oro. Su extensión es de 21 km².

3.1. INVESTIGACION GEOLOGICA

3.1.1. OBJETIVO

Los trabajos anteriores informan que en el área de interés se encuentra anomalía de Au, Cu y Mo, y el área mineralizada de pórfido cuprífero está localizada en Zanjón Grande hacia el sur de la parte central del área (Sillitoe, et al, 1982).

El objetivo de la investigación geológica fue para aclarar la característica, la escala, y la evolución del área mineralizado observando la mineralización y la alteración de rocas.

3.1.2. LOCALIZACIÓN

El área de interés está localizada 40 km. al S de Popayán, con una extensión de 6 x 3.5 km. Los pueblos más cercanos corresponden a Piedrasentada al Oeste y La Sierra al Este. Igualmente, existe un caserío sobre la carretera Panamericana denominado El Mango donde se localiza una oficina de Telecom y una inspección de policía.

El esquema topográfico del área está dominado por la presencia en la mitad sur de los ríos San Pedro y Guachicono, que descienden del oeste y limitan en esta parte el área de interés. Sobre el cerro que conecta El Mango con La Sierra hay construido un carreteable - entre estos dos caseríos. Las elevaciones topográficas varían entre 1200 y 1400 m.s.n.m. y sus tierras son utilizadas para agricultura y pastoreo.

3.1.3. GEOLOGIA

La geología del área está compuesta, en orden ascendente por: rocas verdes volcánicas cretácias (Grupo Diabásico), Formación Esmita - del terciario, intrusivos ígneos terciarios y la Formación Popayán del terciario-cuaternario. (Fig. 3-1-1, 3-1-2, 3-1-3)

Las rocas volcánicas verdes, tipo diabasa, están localizadas en la parte oeste del área de interés y más esencialmente en la Loma de San Francisco y vienen a constituir la parte subvolcánica del Grupo Diabásico (Kv).

En la parte media y hacia el nor-oeste se presentan los intrusivos ígneos y la Formación Esmita. En el lado este también está constituido por la Formación Esmita y en menor proporción por intrusivos ígneos - intermedios. Al norte de la carretera Panamericana y al sur de los ríos Guachicono y San Pedro se encuentra la Formación Popayán.

Las rocas verdes volcánicas son generalmente de color gris verde oscuro, textura afanítica basáltica. Localmente presenta indicios de alteración hidrotermal, observándose únicamente cloritización y epidotización asociadas a venillas de cuarzo y calcita, asociación típica de alteración propilítica. Sin embargo, es muy posible que la alteración sea mucho más fuerte y no sea visible microscópicamente debido a lo fino de su grano. Esporádicamente esta roca se encuentra interestratificada con capas muy delgadas de shales silíceos.

La Formación Esmita está compuesta por limolitas, areniscas y en menor proporción por conglomerados. La posición de estos estratos está muy bien definida son casi horizontales a excepción de las regiones cercanas a los intrusivos y fallas cuando las afectan.

La relación con las rocas volcánicas verdes e infrayacientes es inconforme, no obstante, en estos trabajos no fué posible observarlo directamente en el campo. La Formación Esmita está intruída por cuerpos ácidos y en muchos casos se la observó como xenolitos o techos pendientes. El efecto de estas intrusiones en la roca de caja fué muy difícil detectar ya que no ocasionó cambios en su textura ni en su mineralogía, observándose en algunas oportunidades silicificación penetrativa asociada a débil piritización (0.5%), este hecho se observa tanto en la roca invasora como en la roca de caja.

La Formación Popayán consta esencialmente de conglomerados no consolidados y areniscas inmaduras y mal sorteadas, flujos de lodo y en menor proporción limolitas. El origen del material que está conformando esta secuencia es volcánico.

Esta Formación confina a la mayoría de las intrusiones ácidas y su posición es muy horizontal, no habiendo sufrido grandes perturbaciones una vez que fue depositada.

Cuerpos intrusivos de ácidos a intermedios se encuentran distribuídos en toda el área de interés en formas irregulares y con base a observaciones de campo se pueden dividir en dos grupos. Sus límites o contactos, por lo general, son transicionales.

Un grupo es de composición diorítica o granodiorítica, holocristalino y equigranular, el otro es de textura porfídica y de composición dacítica o andesítica. Los minerales máficos están representados por - hornblenda y biotita, localmente parcialmente cloritizados, y por lo general predomina la hornblenda sobre la biotita, la cual se presenta muy bien cristalizada. Los minerales claros están compuestos por feldespato y cuarzo. El cuarzo varía de anhérico a subhérico, con cristales bipiramidales y cuya dimensión puede alcanzar los 5 a 10 mm. en diámetro. El feldespato está compuesto esencialmente por placioclasa más cálcica que sódica y en algunas oportunidades es posible observar bajo la lupa la macla de la albíta. Además de esto, en la parte Este del área se encontró una pequeña exposición de un dique afanítico de composición diorítica caracterizado por la presencia de cristales de hornblenda en forma de aguja en una matriz afanítica gris verdosa.

Como producto final de la actividad magmática se observa en varios sitios diques básicos negros. Observación microscópica y el análisis total de roca están descritos en las tablas 3-1-1 y 3-1-2.

Los resultados del análisis total de roca están ubicados en el diagrama triangular ACF (Hine et al, 1978) (Fig. 3-1-4), donde se puede observar que todas las rocas intrusivas están en el tipo I.

Si se indica la clasificación de rocas de granito según el diagrama triangular (Q-An-Ab+Or), según dice Geo Times de Oct. 1973, todas las rocas intrusivas ácidas - neutras están en el grupo de granito.

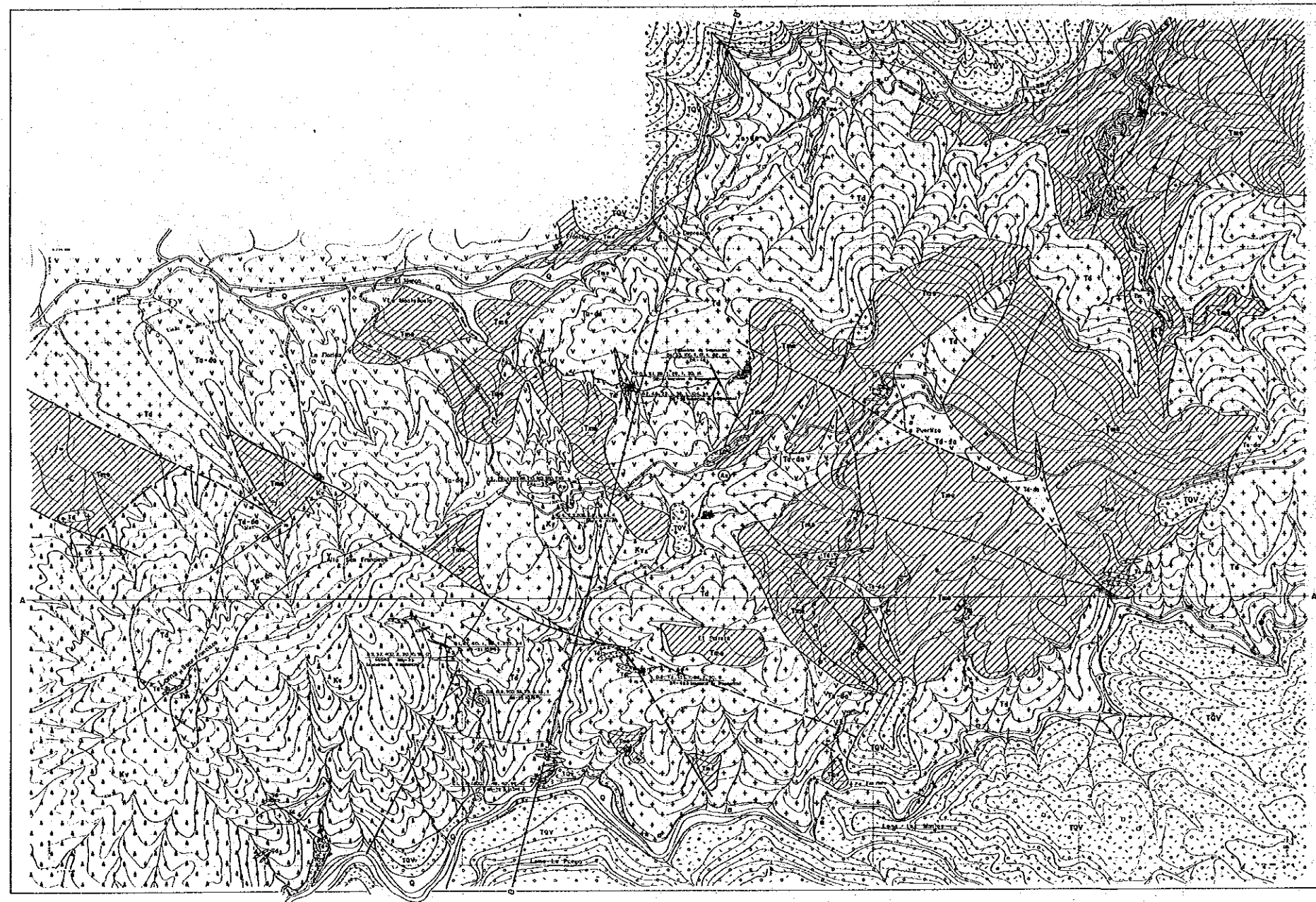
Las rocas intrusivas, aunque haya diferencia de niveles están ampliamente alteradas; como silicificación de matriz, cloritización y carbonatación.

En la parte central del área se observa la biotitización de amfibol y matriz además de las alteraciones dichas arriba.

La edad absoluta de las rocas intrusivas en la región fue datada por Sillitoe y Jaramillo (1982), como 17.4 Ma. a partir de las muestras colectadas en Zanja Grande, edad que concuerda con las obtenidas en otras regiones y con las interpretaciones de muchos autores.

3.1.4. ESTRUCTURA GEOLOGICA

Las fallas predominantes observadas en el área tienen una dirección NNW (N60°W) la cual es perpendicular al rumbo general predominante NNE.



0 1000 m

LEYENDA

ROCAS ESTRATIFICADAS

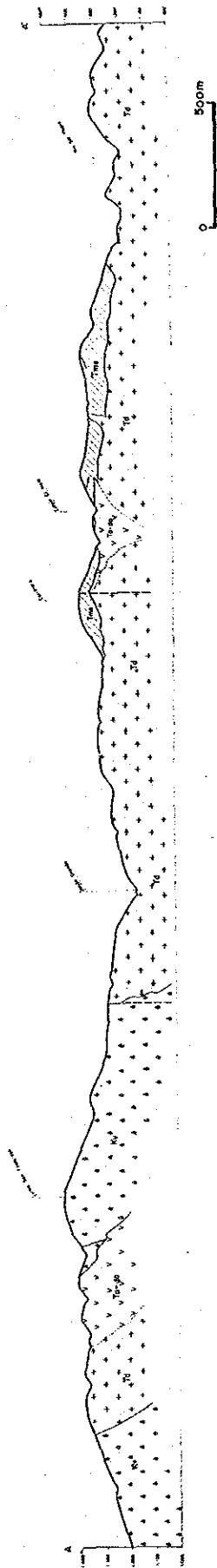
CENOZOICO	Quaternario	Q	Depósitos no consolidados	Arcillas, arenas, gravas
	Terciario	T0V	Formación Poojón	Talpa, Brechas silíceas, Litolita, Hojas y molineras
		T0E	Formación Esmito	Litolita, Litolitas, Brechas, Capasoleras
		T0M	Formación Mosquera	Litolita, Litolitas, Brechas, Capasoleras
MESOZOICO	Cretácico	K0	Rocas sedimentarias Cretácicas sin clasificar	Litolitas, Arenas
		K1	Grupo Diabólico	Dabasas, Basaltos, Gneissos, Esquistos
		K10	Crañas	Peridotita, Rocas Sólidas
ALBUQUERQUE	Capasolera (?)	P0M	Grupo Capasolera (?)	Esquistos verdes, Esquistos azules-verdinos, Cuarcitas, Cuarcos

ROCAS IGNEAS

Terciario	T01	Diabasa	
	T02	Riolitas, Cuarzo-Porfirios	
	T03	Andesita Porfírica, Dacita Porfírica	
	T04	Moderita	
	T05	Granodiorita, Diorita, Cuarcodiorita	
		Zona vitrificada	
		A	Alteración de Sulfuros

F	Falla	E	Eje Sinclinal
V	Vado cuarcífero	A	Eje Anticlinal
S	Esquistosidad	FL	Socavón
R	Rumbo y Bajamiento	A	Línea de corte
Cu	Parte mineralizada		

Fig. 3-1-1 MAPA GEOLOGICO PIEDRASENTADA



LEYENDA

ROCAS CENITRIFICAS

0	Depositos de sedimentacion reciente
100	Formacion Pucallpa
101	Formacion Ene
102	Formacion Tarma
103	Formacion Huancabamba
104	Formacion Huancabamba (T)
105	Formacion Huancabamba (T)
106	Formacion Huancabamba (T)
107	Formacion Huancabamba (T)
108	Formacion Huancabamba (T)
109	Formacion Huancabamba (T)
110	Formacion Huancabamba (T)
111	Formacion Huancabamba (T)
112	Formacion Huancabamba (T)
113	Formacion Huancabamba (T)
114	Formacion Huancabamba (T)
115	Formacion Huancabamba (T)
116	Formacion Huancabamba (T)
117	Formacion Huancabamba (T)
118	Formacion Huancabamba (T)
119	Formacion Huancabamba (T)
120	Formacion Huancabamba (T)
121	Formacion Huancabamba (T)
122	Formacion Huancabamba (T)
123	Formacion Huancabamba (T)
124	Formacion Huancabamba (T)
125	Formacion Huancabamba (T)
126	Formacion Huancabamba (T)
127	Formacion Huancabamba (T)
128	Formacion Huancabamba (T)
129	Formacion Huancabamba (T)
130	Formacion Huancabamba (T)
131	Formacion Huancabamba (T)
132	Formacion Huancabamba (T)
133	Formacion Huancabamba (T)
134	Formacion Huancabamba (T)
135	Formacion Huancabamba (T)
136	Formacion Huancabamba (T)
137	Formacion Huancabamba (T)
138	Formacion Huancabamba (T)
139	Formacion Huancabamba (T)
140	Formacion Huancabamba (T)
141	Formacion Huancabamba (T)
142	Formacion Huancabamba (T)
143	Formacion Huancabamba (T)
144	Formacion Huancabamba (T)
145	Formacion Huancabamba (T)
146	Formacion Huancabamba (T)
147	Formacion Huancabamba (T)
148	Formacion Huancabamba (T)
149	Formacion Huancabamba (T)
150	Formacion Huancabamba (T)

ROCAS SOBRES

151	Granito
152	Granito
153	Granito
154	Granito
155	Granito
156	Granito
157	Granito
158	Granito
159	Granito
160	Granito
161	Granito
162	Granito
163	Granito
164	Granito
165	Granito
166	Granito
167	Granito
168	Granito
169	Granito
170	Granito
171	Granito
172	Granito
173	Granito
174	Granito
175	Granito
176	Granito
177	Granito
178	Granito
179	Granito
180	Granito

ROCAS

181	Granito
182	Granito
183	Granito
184	Granito
185	Granito
186	Granito
187	Granito
188	Granito
189	Granito
190	Granito
191	Granito
192	Granito
193	Granito
194	Granito
195	Granito
196	Granito
197	Granito
198	Granito
199	Granito
200	Granito

ROCAS SOBRES

201	Granito
202	Granito
203	Granito
204	Granito
205	Granito
206	Granito
207	Granito
208	Granito
209	Granito
210	Granito
211	Granito
212	Granito
213	Granito
214	Granito
215	Granito
216	Granito
217	Granito
218	Granito
219	Granito
220	Granito



Fig. 3-1-2 CORTES GEOLOGICOS AA' Y BB' PIEDRA SENTADA

Periodo	Epoca	Formación	Columna Estratigráfica	Litología	Espesor (m)	Actividad ígnea	Mineralización
Cuaternario	Holoceno	Sed. incoolidado		aluviales, coluvios cenizas, "ash fall" toba		Roca Volcánica	
	Pleistoceno	Formación Popayán		aglomeradas toba y toba brecha grava y arenisca conglomerados grano fino		Roca Intrusiva	
Terciario	Plioceno	Formación Esmita		limolita arenisca porfido dacítico-andesítico			
				cuarzodiorita arenisca y limolita			
Cretáceo		Grupo Diabásico		arenisca ultramáfico basalto, diabasas			
				arenisca y limolita			

Fig. 3-1-3 COLUMNA ESTRATIGRAFICA ESQUEMATIZADA PIEDRA SENTADA

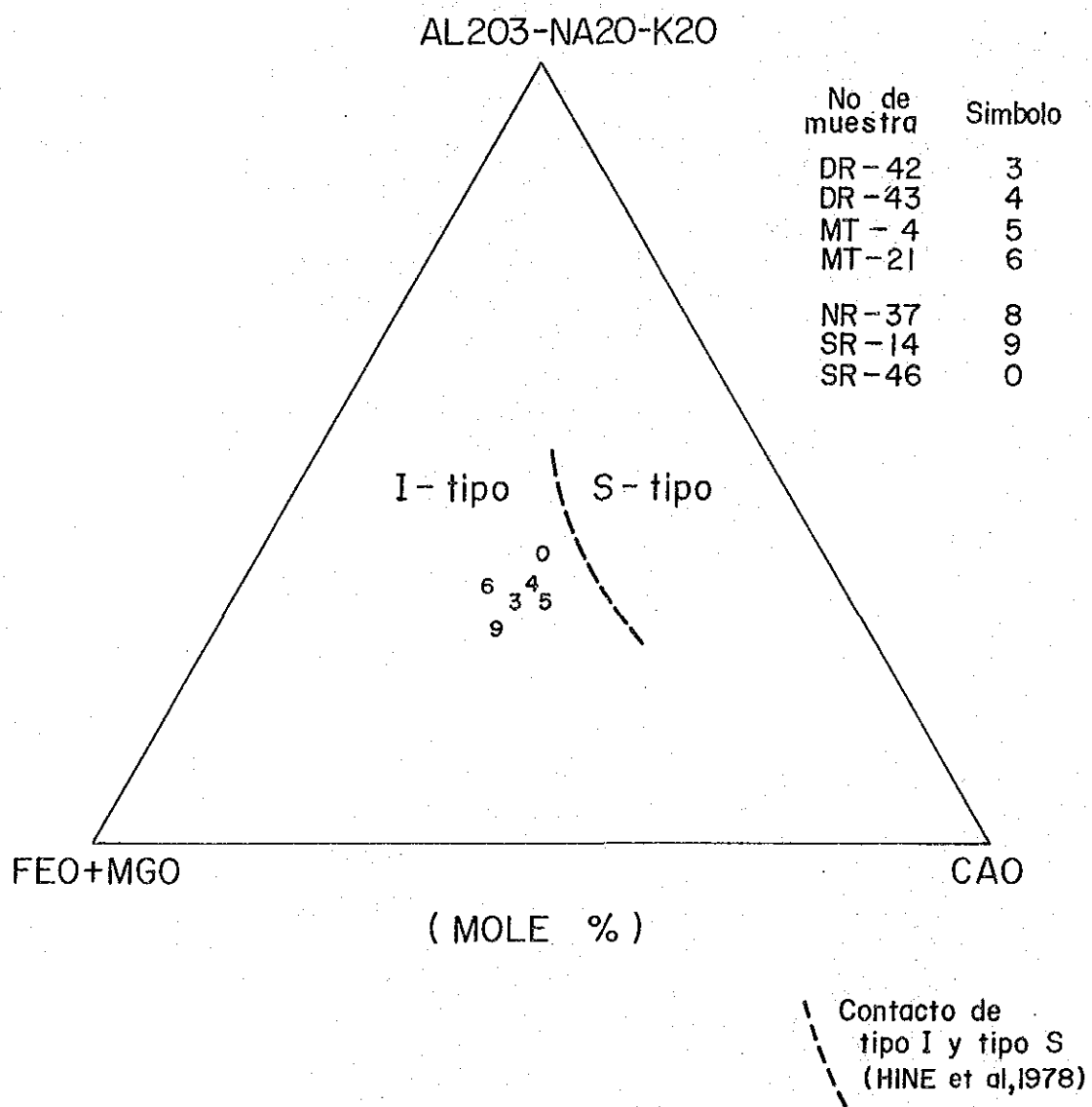


Fig. 3-1-4 DIAGRAMA ACF

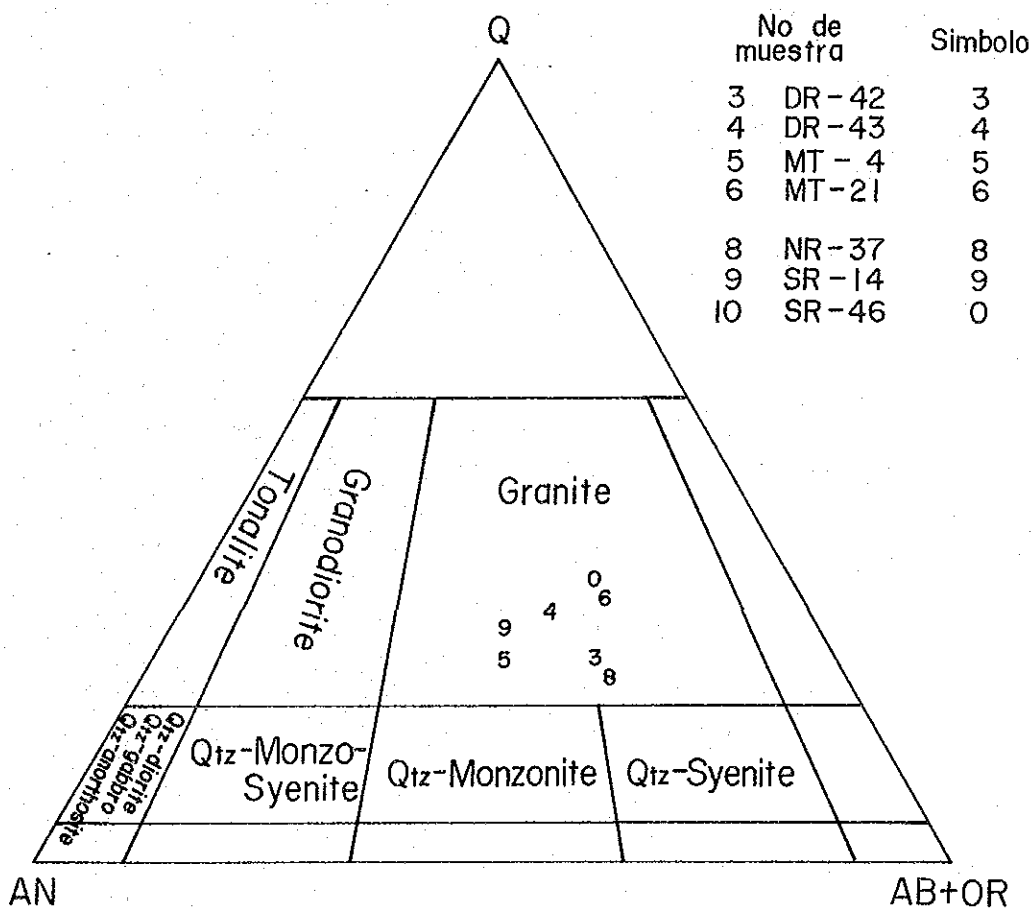


Fig. 3-1-5 CLASIFICACION DE ROCAS PLUTONICAS (GEO TIMES 1974)

Tab. 3-1-2 CALCULACION DE NORMA DE ROCAS

CIPM NORM CALCULATION

SAMPLE NO.	1		2		3		4		5	
	DR-11		DR-14		DR-42		DR-43		MT-4	
	WEIGHT (%)	MOL. (%)	WEIGHT (%)	MOL. (%)	WEIGHT (%)	MOL. (%)	WEIGHT (%)	MOL. (%)	WEIGHT (%)	MOL. (%)
Q	4.66	12.44	9.92	25.25	21.84	58.14	27.30	63.52	20.93	54.92
C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.57	0.89	1.06	1.46	0.0	0.0
OR	0.63	0.19	1.59	0.44	10.10	2.90	7.71	1.94	3.58	1.01
AB	18.97	6.07	16.95	4.94	30.97	9.44	25.64	6.84	27.28	8.20
AN	26.31	15.86	23.16	13.83	21.85	12.56	23.56	11.84	29.79	16.88
SAL. TOTAL	50.56	34.56	53.61	44.45	85.32	83.95	85.25	85.58	81.60	81.01
WO - DI	10.27	14.83	9.78	12.88	0.0	0.0	0.0	0.0	0.30	0.41
EN - DI	8.42	14.06	8.38	12.76	0.0	0.0	0.0	0.0	0.26	0.40
FS - DI	0.60	0.77	0.10	0.12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
EN - HY	13.37	22.34	12.29	18.73	4.14	9.81	6.25	8.70	6.39	10.03
FS - HY	0.96	1.22	0.15	0.18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05	0.05
MT	14.07	10.19	13.89	9.17	4.97	4.82	5.87	3.54	9.64	6.56
NH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.31	0.31	1.29	1.13	0.0	0.0
IL	1.74	1.93	1.63	1.64	0.94	0.99	0.99	0.91	1.23	1.28
AP	0.20	0.10	0.16	0.07	0.26	0.12	0.30	0.13	0.52	0.25
FEM. TOTAL	49.63	65.44	46.38	55.55	14.63	16.05	14.70	14.42	18.38	18.99
Q+OR+AB	24.06		28.46		62.90		60.65		51.80	
Q	18.53		34.86		34.72		45.01		40.41	
OR	2.61		5.60		16.06		12.71		6.92	
AB	78.86		59.54		49.23		42.28		52.47	
OR	1.37		3.65		16.05		13.54		5.91	
AB	41.33		38.78		49.22		45.05		44.98	
AN	57.30		57.37		34.73		41.40		49.12	
Q	8.85		18.50		25.77		32.42		25.66	
OR	1.25		2.97		11.92		9.15		4.39	
AB+AN	89.90		78.53		62.32		58.43		69.95	
Q	8.85		18.50		25.77		32.42		25.66	
AB+OR	38.92		34.58		48.45		39.60		37.83	
AN	52.23		46.92		25.78		27.98		36.52	
SAMPLE NO.	6		7		8		9		10	
	MT-21		NR-15		NR-37		SR-14		SR-46	
	WEIGHT (%)	MOL. (%)	WEIGHT (%)	MOL. (%)	WEIGHT (%)	MOL. (%)	WEIGHT (%)	MOL. (%)	WEIGHT (%)	MOL. (%)
Q	29.06	64.00	5.41	14.90	21.27	58.62	22.97	55.56	30.78	68.03
C	2.23	2.98	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.69	3.25
OR	8.22	2.01	1.58	0.47	11.68	3.48	2.72	0.71	10.93	2.61
AB	28.91	7.52	17.43	5.50	32.45	10.25	25.72	7.13	25.47	6.45
AN	17.29	8.48	26.82	15.96	21.05	12.53	27.33	14.28	18.41	8.79
SAL. TOTAL	85.70	87.00	51.23	36.83	86.46	84.87	78.74	77.67	88.08	89.12
WO - DI	0.0	0.0	11.69	16.38	0.27	0.38	0.84	1.05	0.0	0.0
EN - DI	0.0	0.0	9.76	16.09	0.23	0.38	0.66	0.96	0.0	0.0
FS - DI	0.0	0.0	0.23	0.28	0.0	0.0	0.09	0.10	0.0	0.0
EN - HY	4.94	6.72	10.86	17.92	6.94	8.15	8.62	12.47	4.76	6.29
FS - HY	1.36	1.60	0.25	0.32	0.0	0.0	1.15	1.26	0.0	0.0
MT	6.85	4.04	14.22	10.17	6.16	4.41	8.47	5.32	4.44	2.55
NH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.68	0.70	0.0	0.0	1.25	1.04
IL	0.80	0.72	1.74	1.90	0.85	0.91	1.05	1.01	0.91	0.80
AP	0.28	0.12	0.22	0.11	0.39	0.20	0.36	0.16	0.51	0.21
FEM. TOTAL	14.26	13.00	48.76	63.16	13.50	13.12	21.23	22.33	11.87	10.88
Q+OR+AB	66.18		24.42		65.40		51.41		67.18	
Q	43.91		22.14		32.52		44.68		55.81	
OR	12.42		6.46		17.86		5.29		16.28	
AB	43.68		71.60		49.61		50.03		37.92	
OR	15.10		3.44		17.92		4.88		19.95	
AB	53.12		38.04		69.78		46.12		46.47	
AN	31.78		58.52		32.30		49.01		33.58	
Q	34.81		10.55		24.60		29.17		35.96	
OR	9.85		3.08		13.51		3.66		12.78	
AB+AN	55.34		84.37		61.88		67.38		51.27	
Q	34.81		10.55		24.60		29.17		35.96	
AB+OR	44.48		37.11		51.05		36.12		42.54	
AN	20.71		52.34		24.35		34.71		21.50	

ABBREVIATIONS:

Q:QUARTZ, C:CORUNDUM, Z:ZIRCON, OR:ORTHOCLASE, AB:ALBITE, AN:ANORTHITE, LC:LEUCITE, NE:NEPHELINE, KP:KALIOPHILITE
 HL:HALITE, NC:SODIUM CARBONATE, AC:ACHITE, NS:SODIUM METASILICATE, KS:POTASSIUM METASILICATE,
 MO:MOLLASTONITE, DI:DIOPSIDE, EN:ENSTATITE, HY:HYPERSTHENE, FS:FERROSILITE, FO:FORSTERITE, FA:FAYALITE,
 CS:CALCIUM ORTHOSILICATE, MT:MAGNETITE, CH:CHROMITE, HM:HEMATITE, IL:ILMENITE, TN:TITANITE, PF:PEROVSKITE,
 RU:RUTILE, AP:APATITE, CC:CALCITE, PR:PYRITE, FL:FLUORITE,
 SAL.:SALIC MINERALS, FEM.:FEMIC MINERALS

Asumiendo que la elongación de los intrusivos fueron líneas de control de debilidad, el modelo de distribución de los intrusivos sugiere que existieron fallas direccionales NE-SW, NW-SE y en menor proporción E-W y N-S durante la actividad magnética.

De otro lado, la Formación Esmita presenta una estructura en sinclinal con su eje NE-SW en la parte nor-este de la zona investigada. Esto sugiere que cuando la intrusión ocurrió, el máximo, esfuerzo, podría tener una dirección NW-SE (compresión) y este esfuerzo podría también ser el causante del estilo o modelo de los cuerpos intrusivos.

3.1.5. MINERALIZACION Y ALTERACION

Los siguientes tres tipos de mineralización fueron observados en el área:

- 1 - Diseminación y "net work"
- 2 - Venas o filones
- 3 - Placer o aluvión.

Considerando estos tipos de mineralización mostraremos las muestras coleccionadas en Apéndice 3.

La mineralización tipo diseminación y "reticulado" está compuesta esencialmente por pirita y en menor proporción por minerales de Cu y Mo, y generalmente se presenta asociada a las rocas intrusivas.

La mineralización más fuerte está localizada a lo largo y en su parte central de Zanjón Santa Lucía, con unos 900 m mineralizados y hacia el norte a partir de la parte central del área. Igualmente sucede con los tributarios de Zanjón Grande en el centro y hacia el sur del área investigada. Los análisis químicos de tres muestras de rocas de la parte Central del Zanjón Santa Lucía es como sigue 22, 28 y 105 ppm de Cu, y se entiende que son de muy bajo grado. Local y esporádicamente se observan pequeñas mineralizaciones de pirita y en mucha menor proporción minerales de cobre y molibdeno.

Estas zonas mineralizadas están contenidas en una zona de aproximadamente 1 km (E-W) × 1.5 km (N-S); a medida que nos alejamos de esta zona la mineralización se va haciendo más escasa hasta desaparecer totalmente.

La alteración de la roca encajante también es fuerte donde la mineralización es más abundante. En Zanjón Santa Lucía, por ejemplo, no solo clorita y epidota están presentes sino que también se observan arcillas blancas. (Esta misma situación se observa en la parte alta del Zanjón Grande donde exhibe una topografía muy abrupta debido a fuerte erosión de una roca arcillosa como producto de la alteración.)

Se dice que antiguamente en este lugar se recolectaba oro y recientemente también se hacían trabajos para sacar oro desde 1971 hasta 1981, tales el caso de que quedan rastros de cabañas.

La mineralización tipo filón o vetas encontrada en el área corresponde a vetas de cuarzo limonitizadas, con un ancho que varía entre 5 y 30 cm y una dirección general N-S y NW-SE. La mayoría de las vetas fueron prospectadas para oro. Una de ellas (NR-25), contiene estibina. La observación microscópica revela que los minerales de oro están originados con una asociación muy fuerte con estibina. Se considera que la mineralización está muy cerca a la superficie y a muy baja temperatura.

Las mineralizaciones de placer son trabajadas manual e intermitentemente en los tributarios y ríos principales de la región, lo cual puede ser una gufa muy útil en la continuidad de estos trabajos. En trabajos previos de prospección geoquímica muestra que en algunos lugares X ppm Au están contenidos en suelos y sedimentos activos. Es muy recomendable continuar con la prospección del oro en la región de Piedrasentada. Los análisis

químicos de las muestras de los filones colectadas en esta investigación revelaron el siguiente contenido: 1.5 (DAu-3), 0.8 (NR-25), 0.5 (NR-23), 0.4 (DAu-4) ppm, mientras que la mineralización diseminada y "reticulada" muestran un tenor de bajo grado. Como siguiente contenido: 0.3 (DR-41), 0.2 (SR-46B, DR-46), 0.1 (DR-48). Esto significa que la fuente del oro en esta zona es más del tipo filoniano que diseminado.

3.1.6. DISCUSION

En términos de exploración minera, el blanco primordial estará dirigido al tipo de diseminación y "retículo". Sin embargo, a través de nuestra observación directa de las rocas, muy pocos minerales de cobre y molibdeno fueron observados, así como una lateración hidrotermal incipiente, es muy prematuro suponer que en profundidad no puede existir una mineralización diseminada de Cu y Mo. Los siguientes fenómenos deben ser analizados cuidadosamente:

- 1) El oro es un indicador superficial de esta zona; igualmente sucede con el antimonio los cuales son generados a muy baja temperatura y muy cerca a la superficie.
- 2) La alteración de la roca encajante es propilítica, la cual es considerada como la alteración más externa en cualquier sistema de cobre porfídico.

3.2. GEOFISICA (METODO DE CSAMT Y SIP)

3.2.1. OBJETIVO

A partir de las proyecciones geológicas y geoquímicas y de los datos ya existentes, se encontró que las áreas de Almaguer y Piedra Sentada presentan potenciales prometedores de depósitos minerales. Con el objeto de delinear mejor la zona y de determinar mejor sus características, se adoptaron dos métodos geofísicos: CSAMT (Método Audio Magnetotelérfico de Fuente Controlada) y SIP (Método Espectral de Polarización Inducida).

Primero se utilizó el método CSAMT que permitió conocer la dependencia de la resistividad con la geología y con la alteración hidrotermal; luego a partir de la interpretación de los resultados de éste, se aplicó el método SIP a la zona resistiva mas prometedora, para determinar así la localización de las fuentes y sus características.

3.2.2. EXTENSION DE LA INVESTIGACION

Los levantamientos geofísicos fueron realizados en el área de Piedra Sentada, localizada al Nor-Noroeste de Popayán, que es la Capital del Departamento de Cauca.

Casi el 90% de toda el área prospectada son praderas con poca vegetación; a pesar de eso, la topografía no es tan pareja y solamente una carretera muy angosta pasa a través del área y orientada de Este a Oeste. Existen otros caminos, pero que van mas que todo sobre las cuchillas y no se puede pasar por carro.

3.2.3. ESPECIFICACIONES

i) Magnitud de la prospección

La magnitud de los levantamientos CSAMT y SIP realizados en esta prospección se indican en la tabla 3-2-1.

Tab. 3-2-1 LISTA DE LINEAS Y PUNTOS PROSPECTADOS

METODO	LINEAS Y PUNTOS
CSAMT	Número de líneas : 107
	Intervalo entre puntos : 250 - 300
SIP	Número de líneas : 2
	Longitud de línea : 1.6 km
	Longitud total : 3.2
	No. de puntos por línea : 54
	No. total de puntos : 108

ii) Periodo de la prospección

- Movilización y preparación : 16 de septiembre al 10 octubre 84
- Adquisición de datos CSAMT : 11 de octubre al 28 octubre 84
- Adquisición de datos SIP : 29 de octubre al 8 noviembre 84
- Desmovilización y procesamiento de los datos : 9 al 6 de Noviembre 84
- Medición de las propiedades físicas e interpretación : 17 noviembre 84 al 8 febrero 85

3.2.4. METODOLOGIA

Con el objeto de llevar a cabo los propósitos mencionados anteriormente, se realizó la prospección geofísica utilizando los métodos CSAMT y SIP. En este informe, se presentará en forma separada, una breve descripción de éstos, como también la instrumentación utilizada y el método de análisis e interpretación de cada una de las 2 metodologías.

3.2.4.1. EL METODO CSAMT

1) La concepción del método

Las prospecciones que hacen uso de las señales electromagnéticas en el rango de la frecuencia audible (10 Hz. a 20 kHz.) se conocen como audio-frecuencias magneto telúricas (AMT). La señal AMT proviene principalmente de la actividad de las descargas eléctricas de la atmósfera. Los métodos de fuentes naturales AMT tiene desafortunadamente, una gran dispersión de los datos debido a la localización variable y a los niveles bajos de las tormentas que conforman la fuente de la señal. Este problema ha llevado a utilizar en su lugar un dipolo eléctrico con fuente controlada y de allí su nombre: audiomagnetotelúrico de fuente controlada (CSAMT).

El arreglo básico de campo de la prospección CSAMT se indica en la fig. 3.2.2. Aquí la corriente es enviada del transmisor a un dipolo fijo cuyos extremos terminan en un cierto número de varillas de acero puestas a tierra. Las mediciones son hechas a distancias suficientemente lejos del dipolo transmisor, de tal forma que el campo electromagnético que viaje a través de la tierra, se aproxime al de una onda plana cuando llegue al receptor. Para propósitos prácticos, esta distancia puede relacionarse con la fórmula para la profundidad de penetración, puesto que ésta es una función de la resistividad y de la frecuencia y así, la profundidad de penetración puede decidirse variando la frecuencia. Entre mas baja es la frecuencia, mayor será la profundidad de penetración. Esta se define como la distancia donde la intensidad de la señal ha decaído en un 37% (δ 1/e) de su valor original y se expresa por la fórmula:

$$\delta = 503\sqrt{\rho/f}$$

donde δ = profundidad de penetración, en mts.

ρ = resistividad del terreno, en ohm-m.

f = frecuencia, en Hz.

La penetración efectiva puede determinarse por la ecuación de profundidad que usa el método estandar MT:

$$d = \delta/\sqrt{2} = 356\sqrt{\rho/f} \quad (\text{mts.})$$

0 500 m

LEYENDA

- Punto de CSAMT
- PA 8-8-8-8 Líneas de SIP
- ~ Section de CSAMT



Fig. 3-2-1 MAPA DE PUNTOS Y LINEAS DE MEDIDA

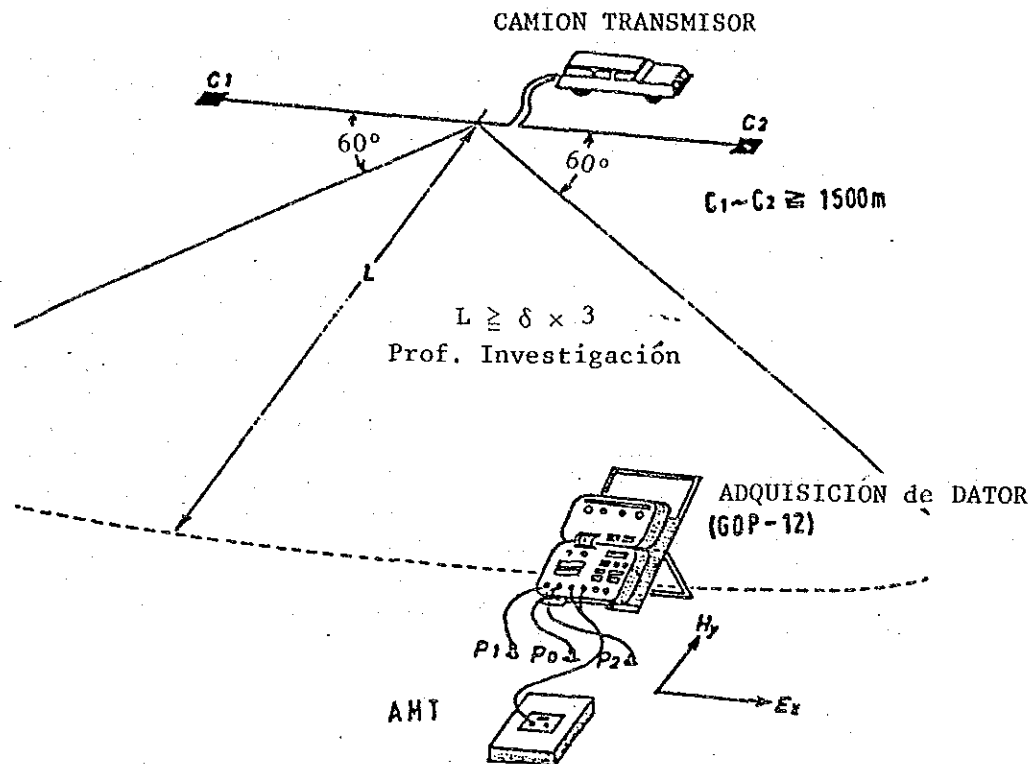


Fig. 3-2-2 LOGISTICA EN UNA PROSPECCION CSAMT

ii) Arreglo del sistema y procedimiento de medición

El dipolo transmisor utilizado, se colocó en la dirección N-S, con un espaciado electródico de 1700 m. y a una distancia de aproximadamente 4 km. al Este del área prospectada. El transmisor posee un controlador que permite variar discretamente las frecuencias dentro de la escala audible; en nuestro caso, se transmitió la corriente a 10 diferentes frecuencias: 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 y 2048 Hz. Las varillas de acero galvanizado que se usaron como electrodos son alambradas conjuntamente y conectadas al transmisor por medio de un alambre aislante No. 14.

Los electrodos de potencial del dipolo receptor, formados por 2 tarros porosos conductivos conectados a tierra, fueron colocados paralelos al dipolo transmisor y espaciados 50 m. entre ellos. Para cada frecuencia enviada por el transmisor, se mide el campo eléctrico, E_x , en la dirección dipolar y el campo magnético, H_y , en la dirección perpendicular. El campo eléctrico es determinado por la diferencia de potencial entre ambos extremos del dipolo y el campo magnético es detectado por una sensitiva antena en bobina colocada cerca del centro del dipolo eléctrico. Las señales provenientes de los 2 campos son alimentados a las entradas analógicas de un receptor, para luego ser numerizadas, acumuladas y promediadas hasta que datos suficientemente precisos han sido obtenidos. La resistividad aparente es entonces calculada según la fórmula:

$$\rho = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2$$

donde f es la frecuencia. Los datos finales son imprimidos y registrados en un caset dispuesto especialmente para tal propósito.

Es conveniente aclarar aquí, que las estaciones deben estar ubicadas dentro de una zona descrita por un sector circular de 60 grados y cuyo vértice está centrado sobre la perpendicular que bisecta al dipolo transmisor y a una distancia 3 veces mayor que la profundidad de penetración, tal como se indica en la Fig. 3-2-2.

3.2.4.2 EL METODO SIP

Este método tiene la capacidad de prospectar la magnitud y la fase del impulso recibido usando una amplia variedad de frecuencias que van desde 10^{-3} hasta 10^3 Hz. La ventaja de este método sobre el de polarización inducida (IP) es que posee la capacidad de discriminar entre la fuente anómala IP de las respuestas de frecuencia (respuestas espectrales) del estrato y del cuerpo del depósito mineral o Por otra parte, el método convencional IP prospecta solamente la resistividad de las 2 frecuencias. Por razones prácticas, el rango de frecuencias mas usado va desde 10^{-1} hasta 10^2 Hz., por lo que en la presente prospección se utilizó un equipo un frecuencias desde 0.125 Hz hasta 88 Hz., adoptandose las 3 frecuencias fundamentales de 0.125, 1.0 y 8.0 Hz. Con el objeto de revisar las respuestas IP de la prospección se aplicó un análisis de Fourier de dichas frecuencias, como tambien de sus armónicos 3°, 5°, 7°, 8°, 9° y 11°.

i) La concepción del espectro IP

La Fig. 3-2-3 resume brevemente la concepción del espectro IP, donde (a) muestra una pequeña sección de una roca mineralizada, que tiene pasajes porosos tanto bloqueados como desbloqueados. Esto se puede representar en forma de circuito equivalente, como se indica en (b), mientras que (c) muestra las respuestas en el dominio del tiempo, donde $|Z|$ y ϕ indican los valores medidos en el espectro IP.

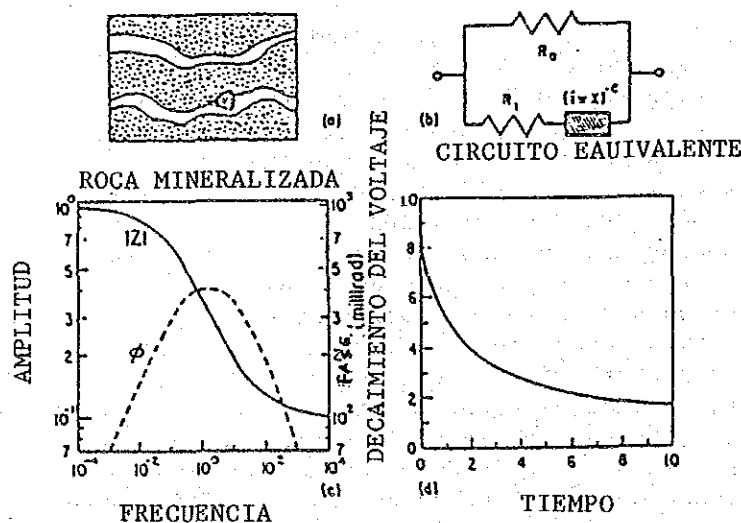


Fig. 3-2-3 EFECTO ESPECTRAL SIP

La Fig. 3-2-4, muestra el concepto de en-fase y fuera de fase. Cuando ondas rectangulares de amplitud arbitraria son transmitidas, se obtiene en el receptor señales de amplitud V y de desfase ϕ .

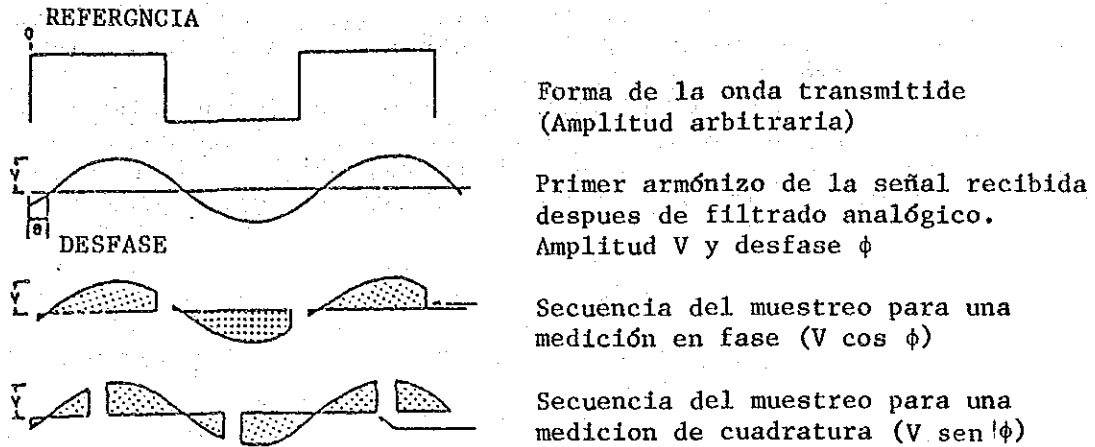


Fig. 3-2-4 FORMAS DE ONDA TRANSMITIDA Y RECIBIDA

Las secuencias del muestreo para las mediciones en fase y en cuadratura se indican de la Fig. 3-2-4, mientras que la relación entre el efecto de fase y el de frecuencia se muestra en la Fig. 3-2-5, donde se adopta el diagrama de

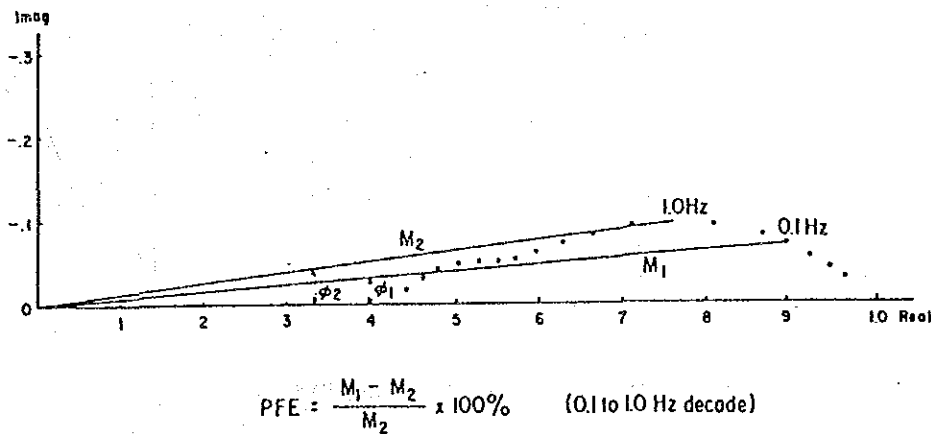


Fig. 3-2-5 RELACION ENTRE EL EFECTO DE FRECUENCIA Y EL DESFASE

Cole-Cole, que tiene su eje coordenado vertical indicando factores de desfase negativos y su horizontal, mostrando factores en fase positivos. La magnitud de M_1 esta en 0.1 Hz, de M_2 en 1.0 Hz y los desfases respectivos son ϕ_1 y ϕ_2 . Los efectos de frecuencia y los factores en fase son directamente proporcionales entre si, como tambien lo son directamente proporcionales, el ángulo de fase y los factores fuera de fase. La línea de puntos en dicha figura muestra los resultados de las medición, con la frecuencia disminuyendo a la derecha del diagrama.

ii) Arreglo del sistema

La técnica de prospección del método SIP basicamente no es tan diferente del método convencional IP, ya que ambas usan configuraciones electródicas

dipolo-dipolo en el dominio de la frecuencia. Sin embargo, en SIP es necesario registrar el mismo período de tiempo de las señales, tanto en el transmisor como en el receptor, ya que aquí se utiliza la magnitud y la fase en las frecuencias más altas.

Con el objeto de llevar a cabo la cronometrización, "Un alambre de comunicación" que conecta al transmisor y al receptor se coloca paralelo a la línea prospectada, tal como se indica en la Fig. 3-2-6.

En esta prospección fueron utilizados electrodos de potencial no polarizables, compuestos de una solución saturada de sulfato de cobre contenida en un tarro poroso con un conductor de cobre. A diferencia del método tradicional IP, los 3 electrodos utilizados se colocan como se indica en Fig. 3-2-7.

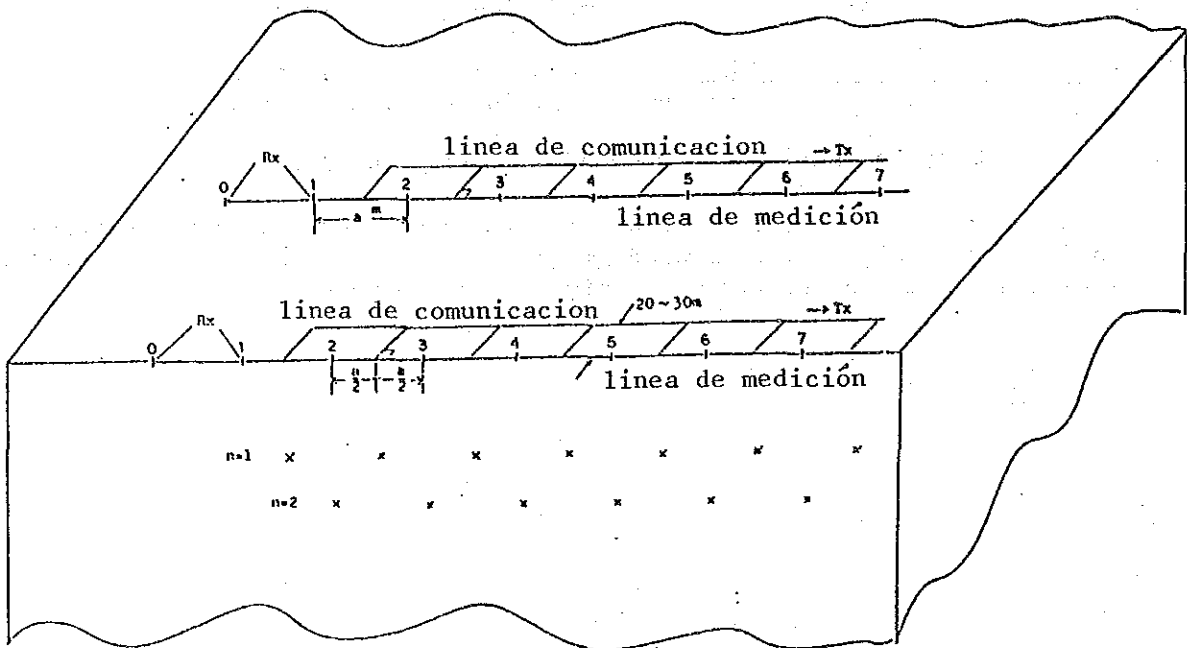


Fig. 3-2-6 LINEAS DE LA PROSPECCION SIP

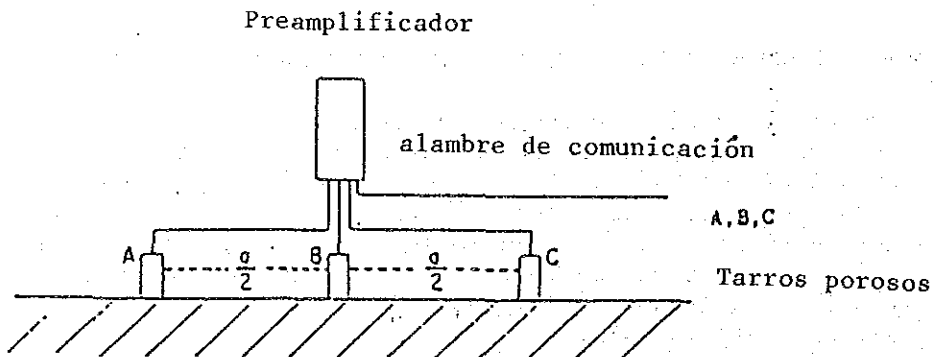


Fig. 3-2-7 ARREGLO DE LOS ELECTRODOS DE POTENCIAL Y DEL PREAMPLIFICADOR

Este arreglo permite mejorar la reducción del ruido en el preamplificador diferencial, ya que el punto de potencial eléctrico cero en B esta a exactamente la misma distancia entre los puntos A y C.

Por otra parte, cuando se ubican los electrodos de corriente se debe tomar en consideración la movilidad futura y la eficiencia operacional de los electrodos. En esta prospección, fue utilizada una configuración de 9 electrodos como se indica en la Fig. 3-2-8.

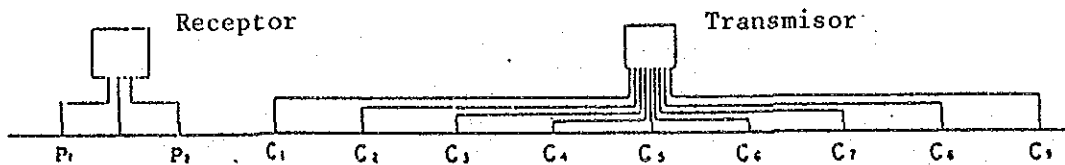


Fig. 3-2-8 ARREGLO DE LOS ELECTRODOS DE CORRIENTE

3.2.5. INSTRUMENTOS

El equipo utilizado en esta prospección fue manufacturado por Zonge Engineering and Research Corporation de Tucson, Arizona, U.S.A. Las partes componentes se describen en la Tabla 3-2-2 y en las figuras Nos. 3-2-9 y 3-2-10 se indican las configuraciones típicas usadas en esta prospección.

Tab. 3-2-2 INSTRUMENTACION

1	Transmisor	GGT-5
1	Controlador del transmisor	XMT-12
1	Motor generador	ZMG-5
1	Regulador de voltaje	VR-1
1	Procesador de datos	GDP-12/12G
1	Caset-registrador	CAP12
1	Antena AMT en bobina	ANT/2
2	Preamplificadores	FP-12
2	Amplificadores de aislamiento	ISO/1
1	Osciloscopio	TEKTRONICS 212

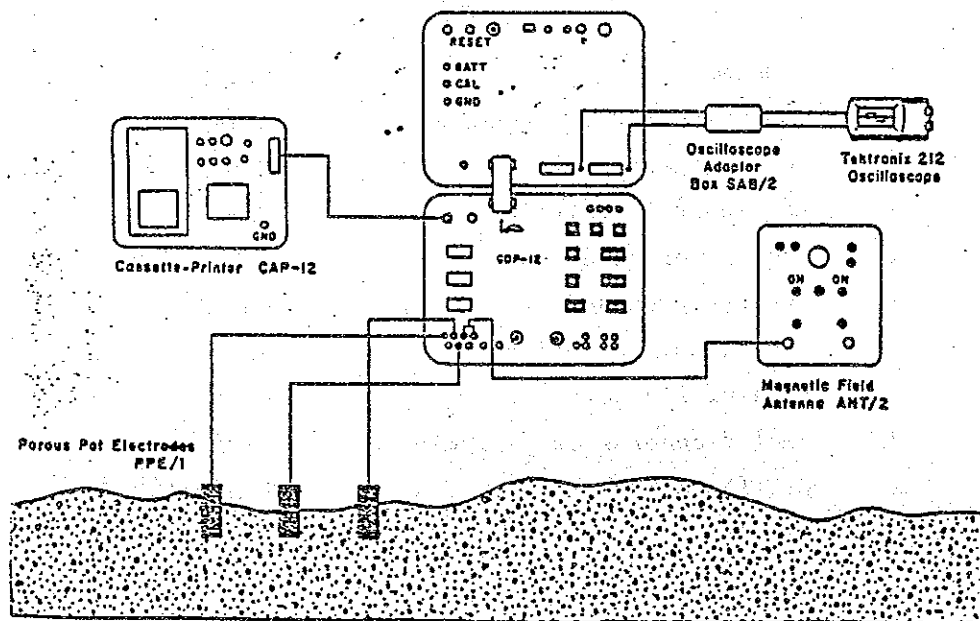
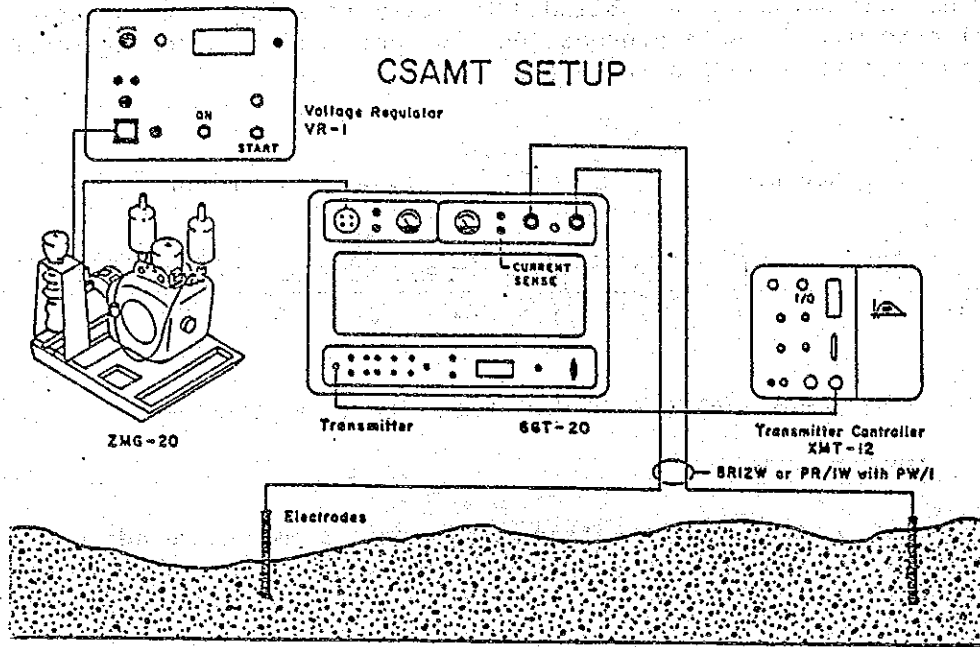


Fig. 3-2-9 CONFIGURACION TIPICA DEL SISTEMA UTILIZADO PARA CSAMT

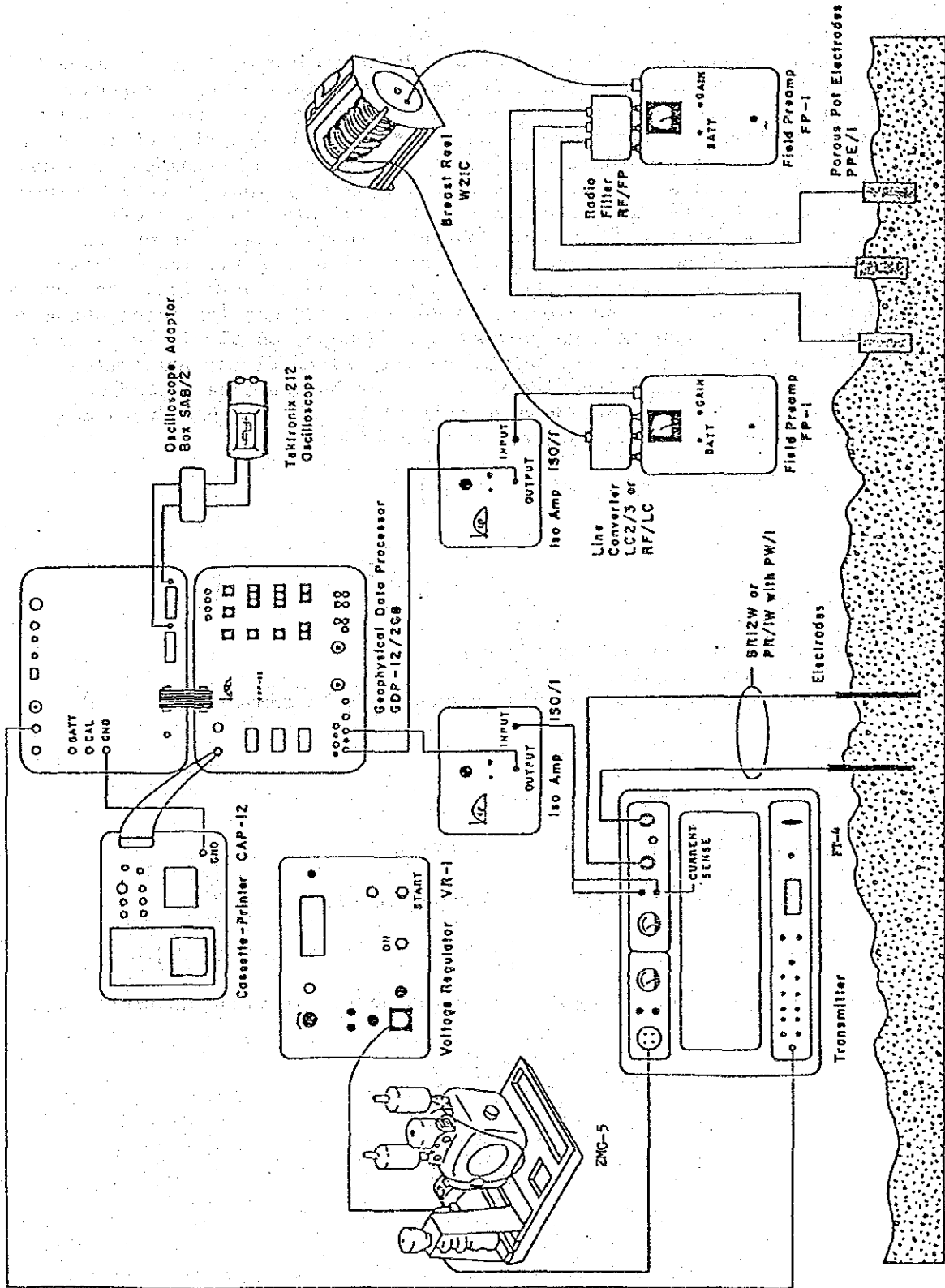


FIG. 3-2-10 DIAGRAMA DE BLOQUE DE LA INSTRUMENTACION USADA EN SIP