

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
GEOLOGICO-MINERAS



**GEOLOGIA Y GEOQUIMICA DEL AREA DE
CALIFORNIA, SANTANDER**

INFORME 1687

Por:

HERNANDO MENDOZA

y

LUIS JARAMILLO

BOGOTA, 1975

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN	8
INTRODUCCION	8
OBJETO	8
LOCALIZACION	8
GEOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA	8
METODO DE TRABAJO	10
HISTORIA DE LA MINERIA	10
AGRADECIMIENTOS	10
GEOLOGIA	15
ESQUEMA GEOLOGICO REGIONAL	15
DESCRIPCION GEOLOGICA DEL AREA TRABAJADA	15
ROCAS METAMORFICAS	15
<i>Neis Bucaramanga</i>	15
ROCAS IGNEAS	16
<i>Cuarzodiorita</i>	16
<i>Alaskita</i>	17
<i>Pórfidos</i>	18
ROCAS SEDIMENTARIAS	23
<i>Formación Tambor</i>	23
<i>Formación Rosablanca</i>	23
<i>Depósitos Cuaternarios</i>	23
ESTRUCTURAS	23
<i>Pliegues</i>	23
<i>Diaclasas</i>	23
<i>Fallas</i>	25
<i>Zonas de Brecha</i>	25
MINERALIZACION	27
NATURALEZA GENERAL DE LA MINERALIZACION	27
CONTROLES MINERALIZANTES	27
ESTRUCTURAS MINERALIZADAS - FILONES	27
ASOCIACIONES MINERALES	29
ALTERACION	35
ALTERACION ARGILICA	35
ALTERACION PROPILITICA	36
ALTERACION SERICITICA	36
SILICIFICACION	36
METEORIZACION - OXIDACION	36
PROSPECCION GEOQUIMICA	38
SISTEMA DE MUESTREO Y ANALISIS EFECTUADOS	38
MUESTREO DE ROCAS	38
MUESTREO DE SUELOS	38
MUESTREO DE FINOS Y CONCENTRADOS DE BATEA	39
RESULTADOS GEOQUIMICOS EN ROCAS	39
ORO	39
PLATA	41
COBRE	41
MOLIBDENO	41
PLOMO	41
ZINC	41
ARSENICO	41
ANTIMONIO	46
MERCURIO	46
CORRELACION DE ORO CON OTROS ELEMENTOS	46
ORO - MERCURIO	46

ORO - PLATA	46
ORO - ARSENICO - ANTIMONIO	46
EVALUACION DE LAS ANOMALIAS	46
FILONES	48
ANOMALIA DE LA ANGOSTURA	48
ANOMALIA DE SAN ANTONIO	48
ANOMALIA DEL CHORRERON	49
ZONACION	49
CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFIA	50

FIGURAS

1. Localizacion del área estudiada	9
2. Distribución de las áreas trabajadas	11
3. Mapa Geológico Regional	12a
4. Migmatita con estructura schlieren	13
5. Migmatita cruzada por una vena de epidota	13
6. Neis granodiorítico cataclástico con estructura estromática	14
7. Microfotografía de neis cataclástico. Quebrada Chicaguá	14
8. Pórfido granodiorítico. Río La Baja	19
9. Microfotografía del pórfido granodiorítico	19
10. Pórfido dacítico. Nacimiento quebrada La Higuera	20
11. Microfotografía del pórfido dacítico	20
12. Diagrama Rosa de 375 diaclasas en el área de California	24
13. Brecha. Quebrada Chorrerón	26
14. Microfotografía de la brechá anterior	26
15. Diagrama Rosa de 44 filones en el área de California	28
16. Roca granítica con vena de cuarzo	30
17. Brecha mineralizada. Filón de San Celestino	30
18. Zona de alteración paralela a una venilla de cuarzo con sulfuros. Río La Baja	33
19. Histogramas de distribución de oro y su relación con el tipo de roca. Análisis por absorción atómica	40
20. Histogramas de distribución de plata y su relación con el tipo de roca. Determinación espectrográfica	42

21.	Histogramas de distribución de cobre y su relación con el tipo de roca. Determinación espectrográfica.	43
22.	Histogramas de distribución de molibdeno y su relación con el tipo de roca. Determinación espectrográfica	44
23.	Histogramas de distribución de plomo y su relación con el tipo de roca. Determinación espectrográfica.	45
24.	Diagrama de correlación Au: Hg para 50 muestras de filones y roca encajante .	47

CUADROS

1.	Principales minas activas en área de California	12
2.	Análisis espectrográfico de 6 muestras de pórfido	21
3.	Variaciones en el contenido metálico de acuerdo con el espesor del filón. (Mina La Francia)..	32
4.	Análisis espectrográfico de una muestra de filón comparado con los análisis de la muestra molida y concentrada (Mina La Mascota).	34
5.	Análisis espectrográfico de 5 muestras de filón y zonas de oxidación adyacente. (Cinco Minas).	37

PLANCHAS

1.	Mapa Geológico del área de California	52a
2.	Contenido de oro y plata en rocas.	52b
3.	Contenido de cobre en rocas	52c
4.	Contenido de molibdeno en rocas.	52d

RESUMEN

El Distrito Minero de California está situado unos 50 km al noreste de Bucaramanga, en el Municipio de California, Departamento de Santander; es conocido y explotado para oro y plata desde la época de la Colonia.

El área está constituida por rocas Pre-Devónicas de alto grado de metamorfismo, las cuales muestran carácter migmatítico. Esta secuencia es afectada por rocas intrusivas de edad Jura-Triásica, cuya composición varía de cuarzdiorita a cuarzomonzonita y granito. Facies porfíricas más jóvenes son emplazadas dentro de las rocas preexistentes como diques y pequeños stocks. Un silo de pórfido dacítico se presenta dentro de sedimentos del Cretáceo Inferior.

Los filones de cuarzo mineralizados, usualmente de color gris y con textura brechoide, se localizan en rocas ígneas y metamórficas. La intensidad de la alteración hidrotermal observada en estas rocas, aparentemente no depende de la composición sino principalmente del grado de fracturamiento. La mineralización consiste de oro, plata, pirita, cuarzo y menores cantidades de esfalerita, tetrahedrita, galena y calcopirita; varios filones contienen trazas de mineral de uranio.

Con el fin de conocer más a fondo las posibilidades económicas de una extensa zona mineralizada, se limitó un área de 24 km², en la cual se llevaron a cabo estudios detallados de geología y prospección geoquímica. Los resultados de este trabajo constituyen el propósito del presente informe.

INTRODUCCION

La presencia de oro en el Macizo de Santander se remonta a mediados del siglo XVI cuando ya los españoles trabajaban los aluviones del Río de Oro. El Distrito Minero de Vetas-California, localizado en la parte central del Macizo, se ha constituido en uno de los laboratorios naturales, para la investigación del Ingeominas en métodos de exploración geoquímica.

OBJETO

El presente trabajo tiene como propósito la reevaluación del potencial de mineralización en el área de California. El proyecto fue programado por el INGEOMINAS con la

colaboración del asesor americano James Evans, quien sugirió la posibilidad de encontrar oro diseminado en las rocas encajantes.

Mediante cartografía detallada y algunos datos estructurales, complementados con prospección geoquímica, se interpretan las características y el posible origen de los yacimientos de la región. Algunas conclusiones tentativas pueden requerir modificación a medida que se conozca más la extensión de la mineralización y sus relaciones geológicas y geoquímicas.

Un área de 24 km² con marcada alteración hidrotermal fue seleccionada para ser trabajada sobre mapas topográficos escala 1:2.000; posteriormente la información fue recopilada en planchas 1:5.000.

LOCALIZACION

El área trabajada forma parte del Cuadrángulo H-13 y se localiza en la plancha 110-I-C, escala 1:25.000 del I.G.A.C., Bogotá (fig. 1).

El Municipio de California dista 51 km de la ciudad de Bucaramanga por carretera sin pavimentar aunque en condiciones aceptables. De la población parte un carreteable de aproximadamente 4 km hasta el sitio denominado La Baja, desde aquí se continúa por un camino de herradura con pendiente moderada y que da acceso a las minas que se encuentran a lo largo de la quebrada La Baja. Se proyecta prolongar el carreteable 1 km más arriba.

GEOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

La zona de California presenta una topografía abrupta con elevaciones que fluctúan entre 2.000 y 3.400 m; las pendientes generalmente son mayores de 30° y los diferentes cursos fluviales suelen encontrarse en cañones relativamente estrechos.

En dirección suroeste y dividiendo en dos partes el área en estudio, corre la quebrada La Baja, formada por la unión de las quebradas Páez y Angostura. Dos kilómetros al noreste de la población de California la quebrada La Baja desemboca en el Río Vetas, afluente del Río Suratá. La región presenta un drenaje paralelo a subparalelo, aparentemente controlado por un sistema de diaclasas nor-noroeste y en algunos casos por fallas.

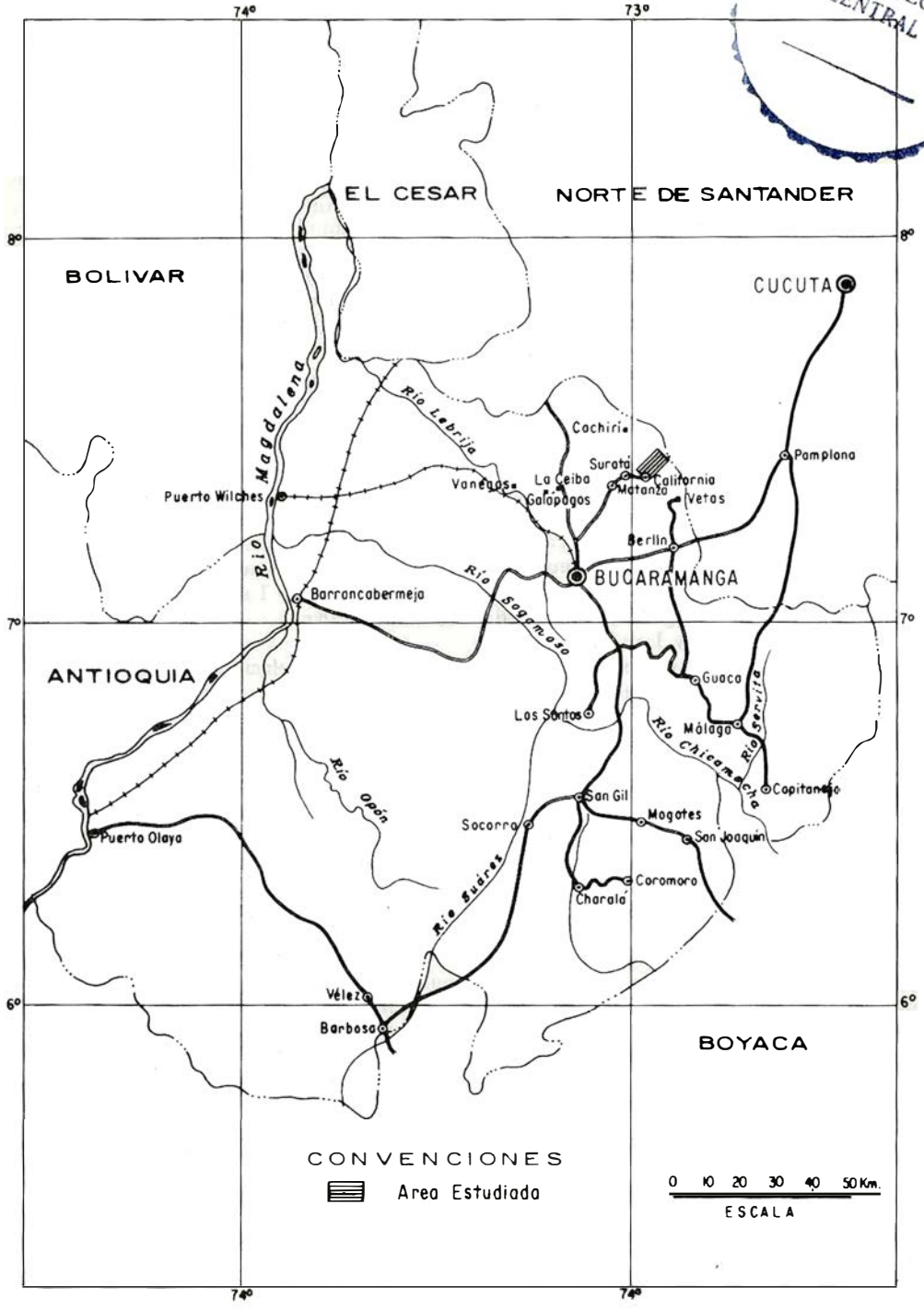


FIGURA 1. LOCALIZACION DEL AREA ESTUDIADA.

Una vegetación constituida principalmente por arbustos predomina en la mayor parte del área. Zonas boscosas se localizan cerca a los nacimientos y a lo largo de los cursos de varias quebradas. El clima frío que predomina en la región, se torna húmedo en los sitios con elevaciones superiores a los 3.000 m. El ciclo hidrológico, afectado por continuos cambios en las condiciones atmosféricas, presenta una precipitación anual cuyo promedio está entre 1.000 y 1.500 mm.

La densidad de población es relativamente baja, parte de ella se ocupa principalmente en las labores mineras o en el mazarro a lo largo de la quebrada La Baja y el Río Vetas. La agricultura prácticamente se encuentra abandonada.

METODO DE TRABAJO

El trabajo de campo se llevó a cabo durante el año de 1973 y parte de 1974. La cartografía geológica y muestreo geoquímico estuvo a cargo de los geólogos: Alonso Otero, Jaime Reyes, Luis Jorge Mejía, Hernando Mendoza, James Evans y Luis Jaramillo; las áreas cubiertas por cada uno se muestran en la fig. 2. Para la elaboración del informe, éste se dividió en dos partes principales: la parte geológica realizada por Hernando Mendoza y la geoquímica a cargo de Luis E. Jaramillo.

Se tomaron alrededor de 600 muestras de roca, de las cuales 500 fueron analizadas por absorción atómica para oro y por el método espectrográfico para 32 elementos. El examen petrográfico de 105 secciones delgadas, además de 24 análisis anteriormente realizados por Richard Goldsmith, permitió interpretar las variaciones mineralógicas y texturales de las diferentes unidades litológicas. Un total de 63 muestras de sedimentos finos y 40 concentrados de batea se tomaron en las quebradas presentes en el área estudiada. A finales de 1973 se efectuó un muestreo de orientación de suelos a lo largo del Río La Baja, colectándose 120 muestras.

HISTORIA DE LA MINERIA

Los trabajos en el área de Vetas-California se remontan a los tiempos precolombinos. Alrededor del año 1550 se trabajaban los aluviones de Río de Oro y Río Suratá. La zona se caracteriza por la abundancia de estructuras mineralizadas; los filones de cuarzo relacionados con zonas de fractura de color

gris a gris oscuro, presentan buenos tenores de mineral.

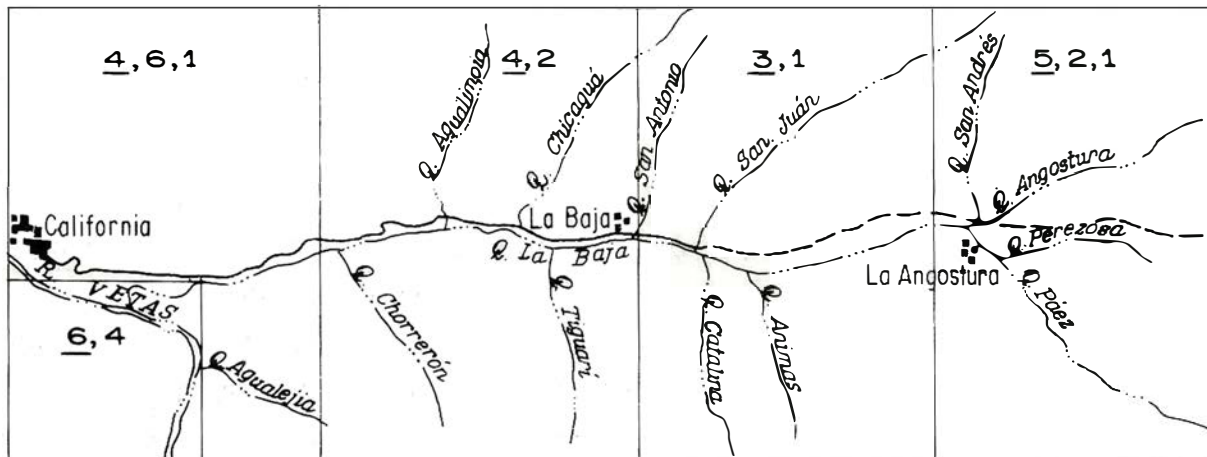
La mayoría de trabajos se limitan a seguir el filón y sus partes oxidadas ("carmín" y "caracha" según los mineros de la región). La molienda es casi tan primitiva como la minería; el mineral grueso es reducido a partículas tamaño arena, en los molinos de pisones, "Californiano" obsoletos en otras partes del mundo. Todos los sulfuros son cianurados y los residuos constituyen las colas que son amontonadas en las orillas de las quebradas. La muestra HM-1510 (colas de San Celestino) presentó el siguiente contenido metálico (en ppm) As: 2000; Ag: 70; Au: 300; Cu: 700; Pb: 7000; Sb: 500; Zn: 5000. La minas son explotadas por particulares y dos pequeñas compañías, Minurano y Comisan trabajan en el Distrito de California. Actualmente y con ocasión del alza en los precios de oro, varias minas que habían sido abandonadas por el agotamiento del mineral fácilmente explotable, han vuelto a ser rentables y más de 20 túneles son objeto de trabajos. En el Cuadro 1 se muestran las principales minas activas.

Aspectos relacionados con el transporte, suministro de agua y mano de obra no presentan mayor complicación; sin embargo, problemas legales relacionados con los títulos de las propiedades mineras y dificultades en los procesos técnicos de tratamiento mineral, obstaculizan cualquier proyecto que intente la explotación conjunta de las minas de la región.

AGRADECIMIENTOS

Se expresan agradecimientos a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron durante la realización del trabajo y en la preparación del informe. Al geólogo James Evans del Servicio Geológico Americano por sus valiosas sugerencias en la realización de los trabajos de campo. El geólogo Humberto González realizó el estudio petrográfico de las secciones delgadas. El geólogo Anthony Mariano efectuó la toma de microfotografías de varias secciones delgadas.

El Laboratorio Químico del Ingeominas realizó los análisis geoquímicos de las muestras colectadas. Finalmente nuestro reconocimiento al Jefe de la Regional, Alfonso Arias por sus comentarios de gran utilidad al manuscrito y la preparación de varias fotografías.



GEOLOGOS PARTICIPANTES

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1 James Evans. | 4 Hernando Mendoza. |
| 2 Luis Jaramillo. | 5 Alonso Otero. |
| 3 Luis J. Mejía. | 6 Jaime Reyes. |

— Principales aportes

FIGURA 2. DISTRIBUCION DE LAS AREAS TRABAJADAS.

M I N A	T U N E L
San Celestino	San Celestino (túneles AF y AG)* Machuca (túnel AH)*
San Antonio	San Antonio (túnel T) Begcniá, Pie de Gallo
El Cuatro	El Cuatro (túnel C)* El Porvenir, Potosí,* San Luis,* Catalina*
San Cristobal	San Cristobal (túnel AB) Animas (túnel D)*
Mascota	La Mascota (túnel J)* Minaseca (túnel K)* Tres Aguas,* San Expedito*
Asturias Angostura	Asturias (túnel 273)* La Vencedora (túnel 261)* Las Mercedes (túnel Q)* El Tierrero (túnel 508)*
La Bodega - El Carmen	La Bodega (túnel 351)* La Paja (túnel 333)* El Matacho (túnel 299)* San Andrés
El Silencio	El Silencio (túneles O y Ñ)*
El Diamante	Diamante (túneles 430 y AP)*
Quebrada La Angostura	Vetebarro*

* Túnel en Explotación.

ROCAS ESTRATIFICADAS

- Qa1 Aluviones
- Qtf Terraza y Cono de Deyección
- Qg Deposito Glaciarico

- Ksu Formación Umir
- Ksl Formación Lo Luna
- Kis Formación Simiti
- Kit Formación Tablazo
- Kip Formación Paja
- Kir Formación Rosa Blanca
- Kia Formación Tambor

- Jg Formación Girón

- Rb Formación Bocas

- pDs Formación Silgara

- pDb pDbh Neis de Bucoramango

ROCAS IGNEAS

- Jrgp Jrc1 Jrcg Jrcgp

- Jrgp: Granito Pescadero
- Jrc1: Cuarzo Monzonita lo Corcova
- Jrcg: Cuarzo Monzonita y Granito
- Jrcgp: Cuarzo Monzonita a, Aplito y Porfido

- Jrt Jrtad

Tonalita Tonalita y Granodiarito

- pDo Ortoneis

CONVEENCIONES

- | | | | |
|--|-------------------------|--|--------------------------|
| | Contacto Definido | | Municipio, Corregimiento |
| | Contacto Inferido | | Carretera |
| | Falla Definida | | Río, Quebrada |
| | Falla Inferida | | Laguna |
| | Falla Cubierta | | Curva de Nivel |
| | Lineación Fotogeológica | | Area Estudiada |
| | Estructura Anticinal | | |
| | Rumbo y Buzamiento | | |
| | Foliación | | |
| | Dique | | |
| | Zona de Silicificación | | |

ESCALA 1:100.000

0 1 2 3 4 Km.

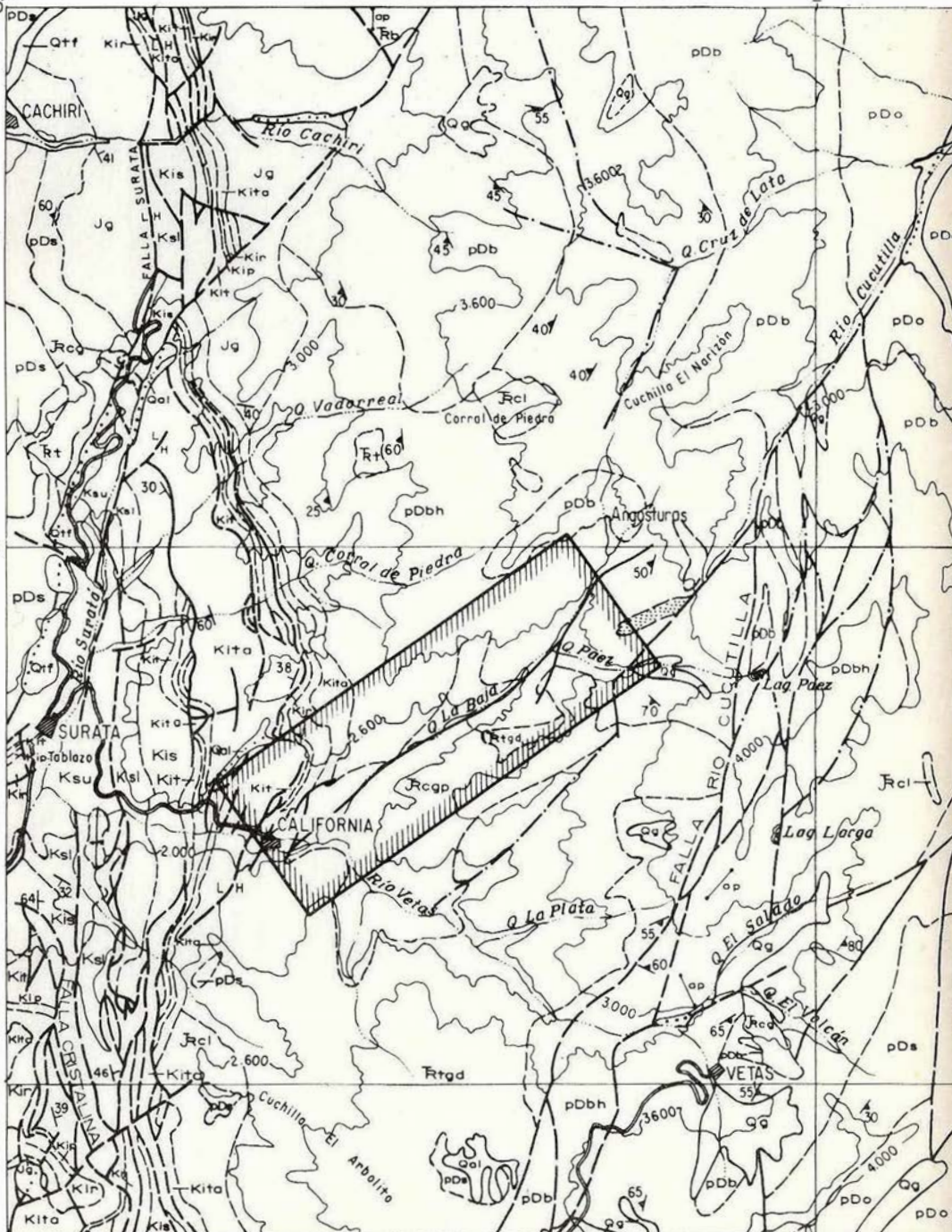


FIGURA 3 MAPA GEOLOGICO REGIONAL

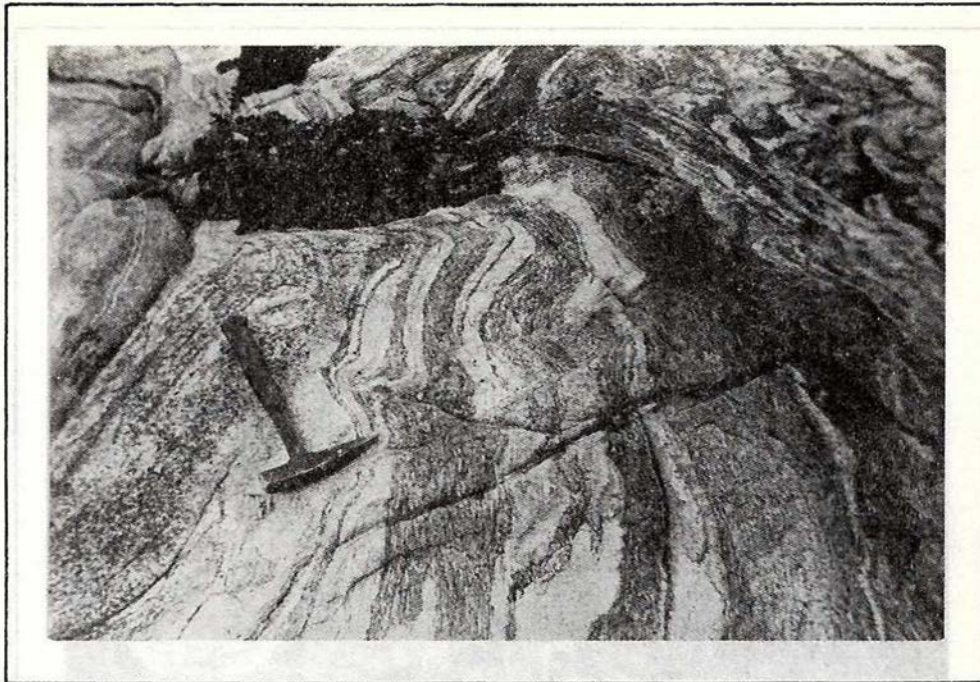


FIGURA 4. Migmatita con estructura "schlieren". Por camino a Laguna Paez, 800 m al S 45° W de Páramo de Romeral.

FIGURA 5. Migmatita cruzada por una vena de epidota. Obsérvese la textura nebulítica y plegada. Quebrada Agualimpia, 400 m al S 40° E del Alto Peña de Oro.

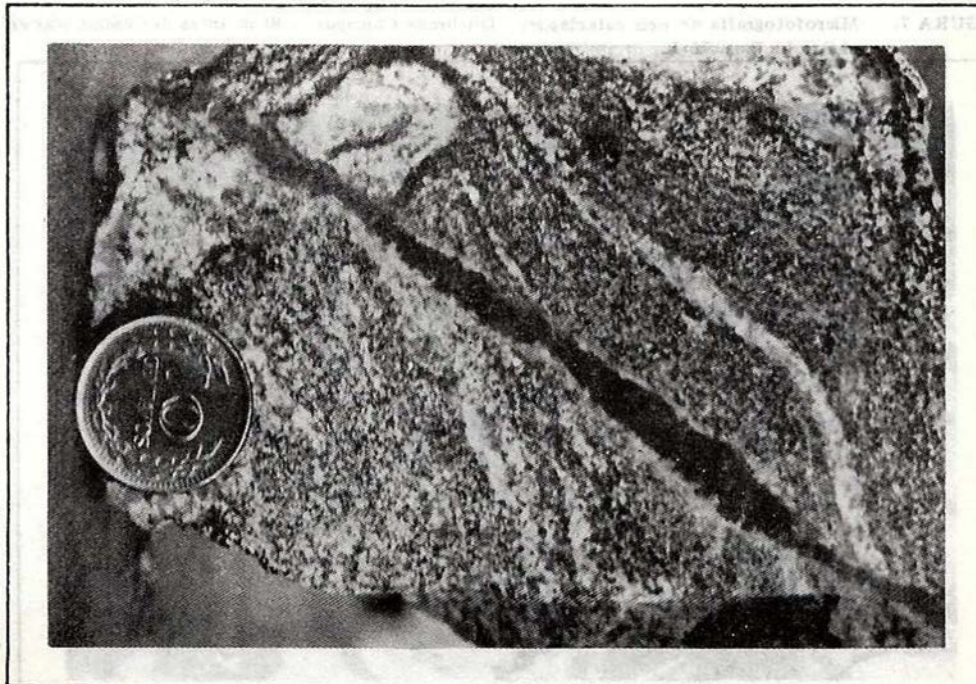
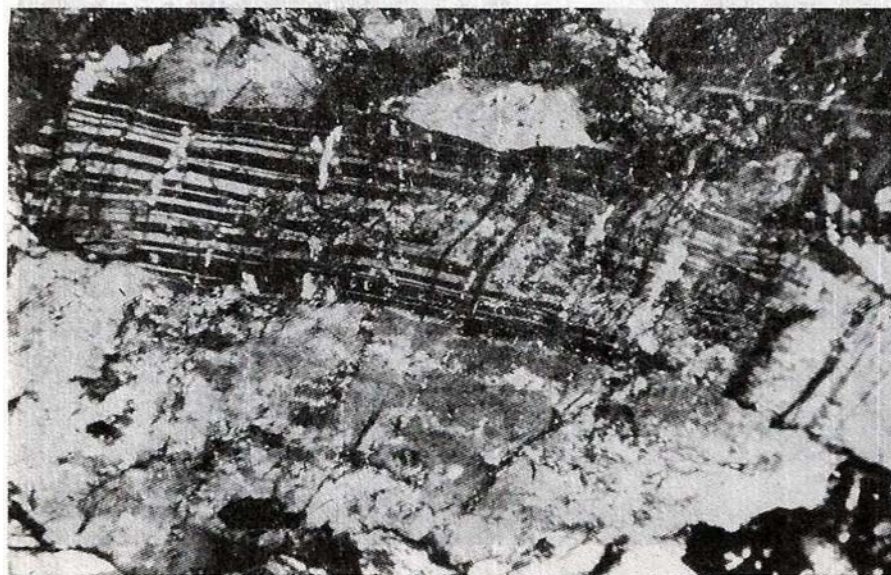




FIGURA 6. Neis granodiorítico cataclástico con estructura estromática. Río La Baja, a 100 m de Potosí, en dirección N 50° E.

FIGURA 7. Microfotografía de neis cataclástico. Quebrada Chicaguá, 100 m antes de desembocar en el Río La Baja. 75 X.



GEOLOGIA

ESQUEMA GEOLOGICO REGIONAL

La región Vetas-California forma parte del Macizo de Santander, constituido por un complejo de rocas metamórficas Predevónicas y rocas ígneas Mesozoicas. La situación geológica del Macizo de Santander es descrita por Ward, et al. (en imprenta). La figura 3 representa un esquema geológico regional que incluye el área del presente estudio (Ward, et al, 1970).

Rocas metamórficas Pre-Cámbricas complejamente afectadas por metamorfismo dinámico-térmico regional de alto grado incluyen para-neises, esquistos pelíticos y arenáceos, neis hornbléndico y migmatitas (figs. 4 y 5), son cartografiadas como Neis Bucaramanga.

Rocas metamórficas de grado bajo a medio: esquistos micáceos, filitas, metareniscas, cuarcitas y mármoles corresponden a la Formación Silgará, de edad Cambro-Ordoviciense.

La parte central del Macizo contiene masas de ortoneis cuya composición varía de granito a tonalita; están ampliamente distribuidas en rocas metamórficas de medio a alto grado. Cubriendo en parte al ortoneis y a la Formación Silgará ocurren rocas con bajo grado de metamorfismo, tales como argilitas, metalimolitas, filitas grafitosas, areniscas y mármol. Su edad se considera Devónico Medio y se incluyen como Formación Floresta metamorfoseada.

Varios batolitos y plutones cuya composición varía de granito a diorita fueron intruidos durante el Jura-Triásico y ocasionaron el desarrollo local de migmatitas. Con este ciclo magmático se relacionan pequeños stocks de pórfido dacítico - andesítico y diques de basalto, diabasa y dacita. Las rocas sedimentarias están limitadas a algunas zonas del Macizo de Santander.

DESCRIPCION GEOLOGICA DEL
AREA TRABAJADA

Los diferentes tipos de rocas presentes en la región de California, pueden agruparse en tres conjuntos litológicos. El primero está constituido por rocas metamórficas de alto grado, complejamente deformadas y representan las rocas más antiguas de la zona. El

segundo conjunto agrupa los cuerpos intrusivos, los stocks y diques de roca porfirítica. Conformando el tercer conjunto y localizadas al norte de California, se encuentran rocas sedimentarias del Cretáceo (Plancha 1).

ROCAS METAMORFICAS

Afloramientos irregularmente distribuidos con neis y esquistos cuarzo-feldespático, frecuentemente son cruzados o inyectados por material granítico. Estos conjuntos rocosos o "complejos migmatíticos" presentan características similares a las descritas como Neis Bucaramanga.

Neis Bucaramanga (pDbm)

Distribución.- Los principales afloramientos con roca fresca se limitan a algunas quebradas, especialmente a lo largo de las quebradas La Baja, Páez y Chicaguá. La presencia de numerosas apófisis de roca intrusiva en zonas de roca metamórfica, dificulta la delimitación de áreas exclusivamente cubiertas por roca metamórfica.

Descripción.- El término "migmatita" se usará en un sentido más descriptivo que genético. Relaciones de contacto y edad permiten interpretar dos clases de rocas migmatíticas.

El primer tipo (migmatitas paleozoicas) son rocas masivas con textura xenoblástica o granoblástica; la estructura néisica está definida por la orientación subparalela de láminas de hornblenda-biotita entre bandas o lentes gruesos e irregulares de cuarzo y feldespato con máficos diseminados (fig. 6).

Estas migmatitas contienen neises bandeados a veces de apariencia cataclástica (fig.7) en los que bandas graníticas de 1 a 4 cm con plagioclasa, cuarzo, biotita y ortoclasa, alternan con bandas hasta de 2 cm ricas en biotita y en menor proporción plagioclasa y cuarzo. Localmente silimanita y plagioclasa están parcialmente sericitizadas.

Neis hornblendo - biotítico de grano medio a grueso, está constituido por plagioclasa (40-60%), hornblenda (10-26%) y en menores cantidades biotita (5-15%) y cuarzo (10-20%). Pequeños cuerpos de roca gris oscura de aspecto masivo a ligeramente néisica y asociados con el neis, pueden corresponder a anfibolitas de grano medio, con cristales de plagioclasa corroidos y sausrinizados.

Aunque gran parte de la fracción granítica de las migmatitas forma lentejones, localmente se presentan masas de neis augen, transicionales con neis lit-par-lit.

La composición de los lentejones corresponde a granodiorita o cuarzdiorita de grano medio localmente con textura cataclástica y compuesta principalmente por plagioclasa (oligoclasa cálcica-andesina), feldespato potásico (ortosa con zonas periticas), cuarzo, hornblenda alterada, biotita, clorita y epidota.

El segundo tipo de migmatita (migmatitas mesozoicas) se desarrolla alrededor de las intrusiones Jura-Triásicas. Abundante material granítico es involucrado como neis de inyección (flowing gneiss) y cristaliza en bandas concordantes, foliadas. Estas rocas de composición cuarzomonzonita-cuarzdiorita localmente muestran notoria deformación y alteración hidrotermal.

Por lo general la roca presenta textura hipidiomórfica granular con orientación de láminas anhedrales y flexionadas de biotita; los cristales euhedrales a subhedrales y plagioclasa (albita-oligoclasa) están parcialmente sericitizados; el feldespato potásico (ortoclasa) anedral y en parte intersticial presenta ligera argilización; el cuarzo aparece en cristales anhedrales o elongados con extinción ligeramente ondulatoria. Por alteración de biotita se forman mosaicos irregulares de clorita asociados a cristales de epidota.

Las rocas metamórficas del Neis Bucaramanga son incluidas dentro de la facies de baja presión. La presencia de minerales como andalusita, silimanita, cordierita, la escasa cantidad de granate y la ausencia de distena denotan rocas de la facies cordierita anfibolita, del tipo Abukuma (Winkler, 1967 p.120). En muchos casos las rocas muestran evidencias de metamorfismo retrógrado, siendo los efectos principales la alteración de la silimanita o moscovita y sericitita, la sausrutización de la plagioclasa, y la cloritización de la biotita.

Edad y Correlación.- Afloramientos que se cree representan migmatitas paleozoicas, posiblemente correspondan a exposiciones con migmatitas mesozoicas. Hamilton and Myers (1967, C 23) concluyen que neises y migmatitas atribuidos por varios autores a anatexia, ampliamente pueden ser producidos por metasomatismo e inyección de plutones ascendentes.

La composición y textura de las migmatitas mesozoicas, la ausencia de capas pelíticas y el volumen de material granítico involucrado sugieren un origen relacionado con la inyección de magma.

Una edad radiométrica Rb/Sr de 630 ± 140 m. a. se obtuvo en una muestra de paraneis biotítico de la Quebrada Volcán Amarillo (5 km al suroeste de Vetás). La biotita de la misma muestra dio una edad radiométrica, por el método K/Ar de 197 ± 7 m. a. (Hildreth R. and Henderson W., en Ward et al -en imprenta). Esta diferencia de edad reflejaría un magmatismo Jura-Triásico, posiblemente relacionado con la intrusión de los batolitos Mesozoicos del Macizo de Santander.

ROCAS IGNEAS

Los intrusivos de California pueden agruparse en dos unidades petrográficamente diferentes. La unidad más antigua está constituida por una cuarzdiorita con ligeras variaciones a granodiorita y diorita. La unidad más joven comprende, granito, cuarzomonzonita y pórfidos de composición granodiorita, dacita y andesita; estas rocas muestran indicios de alteración hidrotermal.

Cuarzdiorita (TrC)

Distribución.- Partiendo de la población de California y siguiendo en dirección sureste se encuentran pequeñas masas de cuarzdiorita. Afloramiento aislados, como pequeñas inclusiones o techos pendientes, se localizan en las quebradas Higuera y Tiguarí, y en los alrededores de la Cuchilla Violetal. Muestras de roca fresca se presentan en afloramientos del río Vetás.

Descripción.- La cuarzdiorita varía de masiva a ligeramente néisica. Por lo general es holocristalina de grano medio, color moteado, con blanco de cuarzo y plagioclasa, y negro de biotita y hornblenda. Rocas de color blanco verdoso con láminas flexionadas de biotita cloritizada y estructura bandeada, corresponden a cuarzdiorita cataclástica. A veces la roca se encuentra mineralizada con sulfuros principalmente pirita, la cual se presenta en venas de cuarzo y epidota, diseminada o esporádicamente asociada con los ferromagnesianos.

Bajo el microscopio la cuarzdiorita presenta textura hipidiomórfica inequigranular; el cuarzo es anedral, localmente con ca-

rácter intersticial, fracturado y con extinción ondulatoria débil. La plagioclasa se presenta en cristales euhedrales a subhedrales, ligeramente empolvados y con alteración parcial a sericita; la composición es andesina sódica (An^{30}), con maclas según albita y albita-carlsbad. El feldespato potásico, cuando está presente corresponde a ortosa anhedral y es de carácter intersticial. La hornblenda es euhedral a subhedral con algunos cristales maclados según (1,0,0) y con inclusiones de feldespato, cuarzo y apatito. La biotita se presenta en láminas subhedrales a anhedrales algo flexionadas y parcialmente cloritizadas. Como minerales accesorios figuran: esfena, apatito, magnetita y zircón. Los minerales opacos son: magnetita, ilmenita alterada a leucoxeno, piritita y trazas de calcopirita.

Alasquita (Jra)

Rocas ígneas leucocráticas de grano fino a medio y de composición granito-cuarzomonzonita se encuentran ampliamente distribuidas en el área de California. Localmente se presenta incremento en el contenido de biotita y la composición corresponde a granodiorita. Debido al predominio de roca leucocrática es posible utilizar el término "alasitas", mencionado por Peterson (1961) para rocas con índice de color $I < 5$ y plagioclasa de composición entre An^0 y An^{35} ; y que por lo tanto cubre el campo de granito-cuarzomonzonita.

Distribución.- Las rocas leucocráticas aparecen como pequeños stocks, apófisis y rocas de dique. La alasitas de California se caracteriza por presentar alteración hidrotermal, principalmente silicificación y piritización, y estar cruzada por numerosas venillas de cuarzo. En los alrededores del sitio de La Baja se encuentra un cuerpo de alasitas, localmente cortado por diques aplíticos y de cuarzomonzonita de grano fino. Afloramientos de roca relativamente fresca se presentan en el nacimiento de la quebrada Agualimpia.

Descripción.- Macroscópicamente la alasitas es holocristalina de grano fino a medio, color blanco crema algo manchado y moteado por óxidos de hierro; comúnmente está compuesta por plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, muscovita y biotita.

Generalmente se presenta fracturada y cruzada por numerosas venillas de cuarzo; limonita y hematita ocurren en microfrac-

turas y como pátina de color ocre en la mayor parte de la roca. Los escasos ferro-magnesianos están lixiviados o reemplazados por láminas de muscovita-sericita. Varios diques de roca gris rosada de grano fino con textura aplítica y que corresponde a cuarzomonzonita biotítica (tipo Los Curos) cruzan el granito leucocrático. Diques pegmatíticos (Peg) se localizan en los nacimientos de las quebradas Chicaguá y San Juan.

En sección delgada la alasitas presenta textura hipidiomórfica granular a alotriomórfica. El cuarzo es anhedral, inequigranular, no deformado, localmente como intercrecimientos vermiculares en plagioclasa (mirmequitas). El feldespato potásico (ortosa, a veces microclina) está ligeramente empolvado por productos arcillosos y manchado por óxidos de hierro, generalmente no maclado y ligeramente peritítico; excluyendo algunos cristales poiquilíticos que son euhedrales, los demás se encuentran como cristales anhedrales a subhedrales. La plagioclasa es albita-oligoclasa en cristales euhedrales, parcialmente alterada a sericita, gran parte no maclada, aunque no es raro el maclamiento según albita y albita-carlsbad. Láminas euhedrales de muscovita en parte formadas a partir de biotita, presentan manchas de óxidos de hierro. Como producto de alteración de la plagioclasa hay láminas finas y agregados de sericita. La biotita se presenta parcialmente cloritizada. Los minerales accesorios son escasos y los opacos ocurren como manchas de hematita-limonita.

A lo largo de la quebrada Chicaguá la roca es de color rosado, de grano medio, masiva a foliada y de composición cuarzomonzonita. En sección delgada se diferencia de la roca típica por: la plagioclasa es algo más cálcica; el feldespato potásico débilmente peritítico aparece caolinizado y la escasa biotita está ligeramente cloritizada o reemplazada por óxidos de hierro, epidota y algo de calcita. La piritita relativamente abundante se encuentra disseminada y en fracturas; también hay trazas de calcopirita.

Los contactos entre los cuerpos intrusivos y las rocas metamórficas encajantes son aproximados y en sitios donde las rocas se mezclan abundantemente, se consideran arbitrarios.

Zonas de contacto difuso son comunes cuando se mezclan masas de alasitas y granodiorita; allí el intrusivo leucocrático es

mirmequítico, la biotita mayor del 3%, se encuentra orientada en direcciones que pueden coincidir con superficies estriadas; los cristales de plagioclasa presentan bordes de exsolución y el cuarzo ocurre en cristales anhedrales alargados. La abundancia de biotita, posiblemente producto de reacción de hornblenda con un magma ácido y el alto contenido de apatito en la cuarzodiorita, sugieren que ésta roca fue afectada por el intrusivo leucocrático.

El origen magmático de los intrusivos de California es evidente por la textura, composición, pequeñas inclusiones de roca metamórfica y por cortar o mezclarse con las rocas metamórficas. Aunque en granitos muscovíticos el granate (almandino) es un accesorio común, en la zona puede ser resultado de contaminación con material arcillo-calcáreo de las rocas metamórficas adyacentes. La presencia de rocas completamente epidotizadas (Quebrada Chicaguá) y la formación de mirmequita, pertita y sustitución de biotita por muscovita, sugieren alteración deutérica durante la etapa post-magmática. La cuarzodiorita de California está relacionada con la cuarzodiorita del plutón de Páramo Rico, un cuerpo alargado en dirección aproximada norte-sur y con 50 km² de extensión. Ward, et al (en imprenta) al referirse al área de California, menciona cuarzomonzonita, aplita y pórfido como un stock compuesto, relacionado posiblemente con la cuarzomonzonita de La Corcova.

Edad y Correlación.- La edad de los intrusivos de California no se conoce directamente. Puesto que son similares a intrusivos datados en otros lugares del Macizo de Santander, se asume son Mesozoicos. Varios afloramientos de cuarzodiorita son cortados por intrusivo leucocrático o se encuentran como techos pendientes en la alaska (Quebrada Tiguarí, Cuchilla Violetal).

Marvin, R. and Mehnert, H. (en Ward, et al -en imprenta) obtuvieron edades radiométricas entre 172 ± 6 y 193 ± 7 m.a., para los grandes batolitos del Macizo de Santander y dedujeron que la mayoría fueron emplazados a finales del Triásico o comienzos del Jurásico. Similitudes de composición y edad sugieren un probable origen comagmático para todos estos cuerpos.

Pórfidos (dp)

Las rocas porfiríticas de California se presentan como diques, silos y pequeños

cuerpos de forma irregular. El término "pórfido" se utilizará en el sentido de Peterson (1961) para designar rocas hipoabiales con más del 10% de fenocristales en una matriz fanerítica holocristalina.

Distribución.- Un pequeño stock de pórfido granodiorítico aflora a lo largo de la quebrada La Baja, desde la quebrada Chicaguá hasta el sitio de La Baja. Desde aquí hasta la quebrada Páez se encuentran masas de roca porfirítica, intensamente alterada.

A la salida de California y continuando por el camino de Vetas, se encuentran diques y cuerpos irregulares de pórfido de composición dacita-andesita. Diques y pequeños apófisis de este pórfido se presentan en las quebradas Chorrerón, Tiguarí y Catalina. En el nacimiento de la quebrada Higuera un silo de pórfido dacítico se encuentra cruzando rocas del Cretáceo.

Descripción.- El área de California muestra zonas donde la presencia de roca porfirítica llama la atención. Ligeras variaciones en composición y textura no permiten determinar si estas masas porfiríticas corresponden a la facies marginal de los intrusivos Juratriásicos, o si representan cuerpos de diferente generación, o por el contrario, constituyen apófisis de una misma intrusión. Stringham B. (en Titley and Hicks, 1966 p. 37) demuestra que no hay suficientes evidencias microscópicas para distinguir rocas intrusivas con textura afanítica de rocas extrusivas. Por conveniencia, las rocas porfiríticas se describen conjuntamente y se agrupan en dos stocks.

El primer cuerpo (stock de La Baja) se extiende en dirección noreste y corresponde a un pórfido de composición granodiorítica (fig. 8) con fenocristales de feldespato hasta de 2 cm de largo y cristales más pequeños de hornblenda y biotita en una matriz granular fina de color gris, compuesta por cuarzo y feldespato con ligera alteración a sericita.

En sección delgada (fig. 9) se observan fenocristales de tamaño variable de plagioclasa euhedral, y subhedral zonada y macclada según albita y albita-carlsbad. La composición varía de oligoclasa cálcica a andesina. Cristales anhedrales de feldespato potásico (ortoclasa) forman parte de la matriz; esporádicamente aparecen fenocristales hasta de 7,5 x 5 cm. La hornblenda se presenta como fenocristales euhedrales a subhedrales algo fracturados y cloritizados; también hay láminas subhedrales a anhedrales de biotita

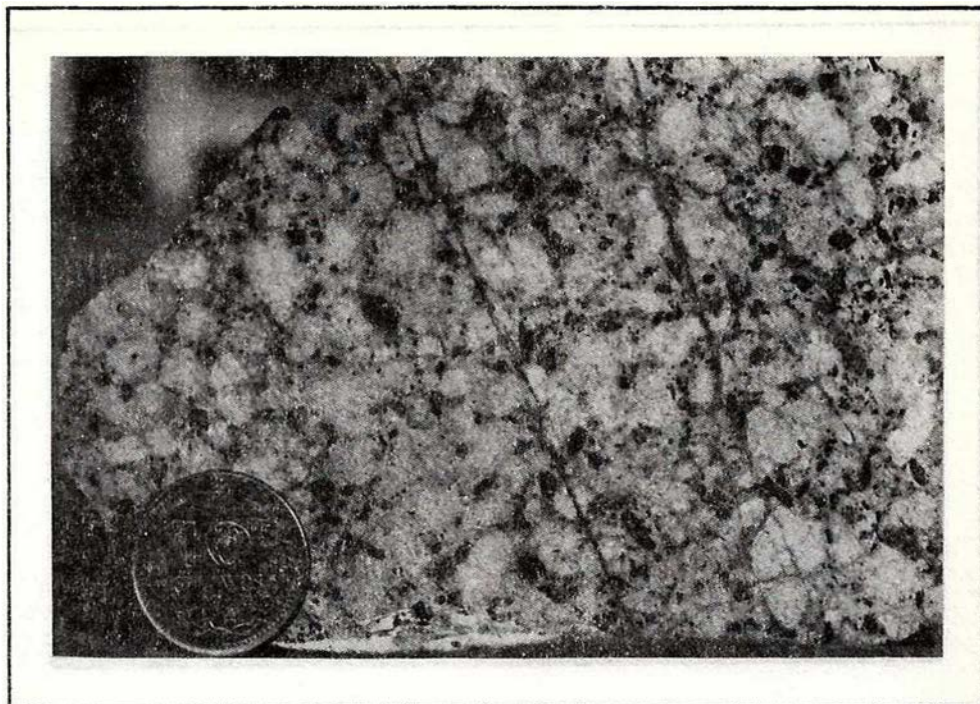
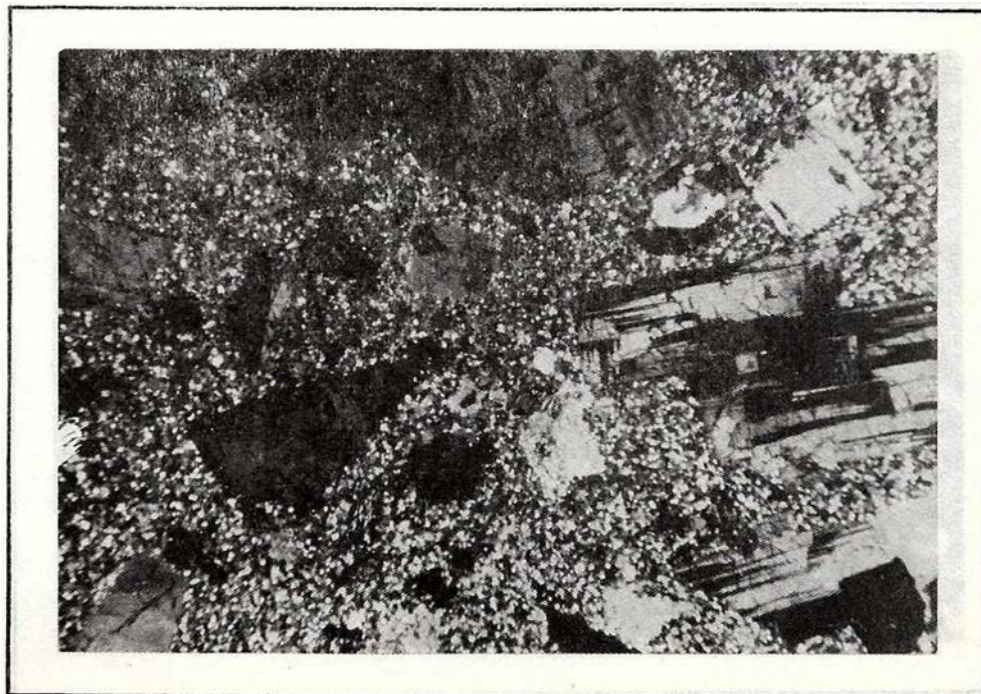


FIGURA 8. Pórfido granodiorítico. Rfo La Baja, 350 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Tiguarí.

FIGURA 9. Microfotografía del pórfido granodiorítico. 15 X.



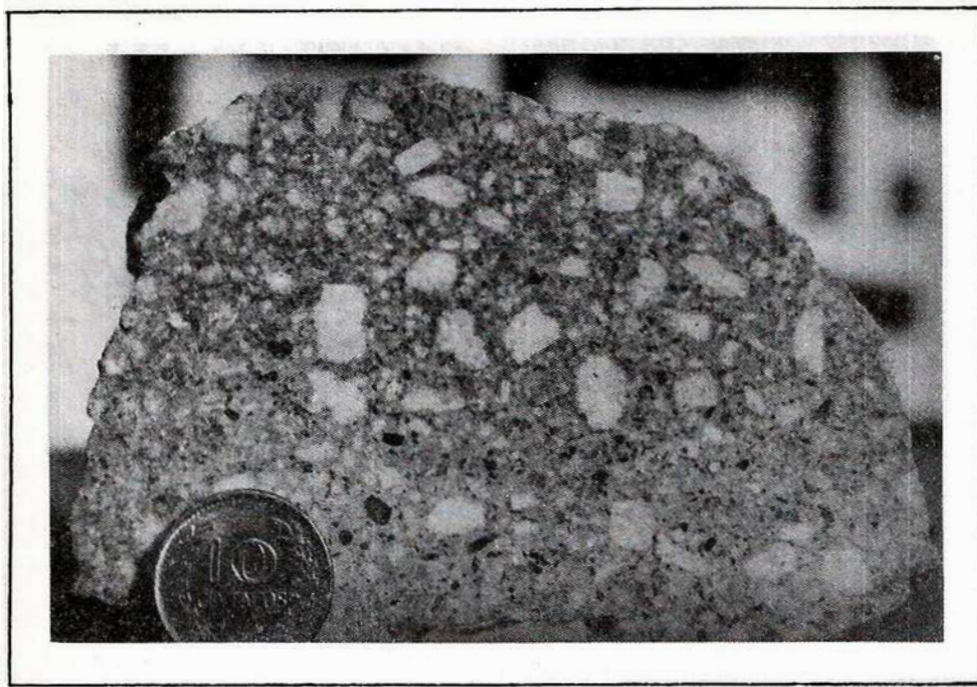


FIGURA 10. Pórfido dacítico. Nacimiento de la quebrada La Higuera.

FIGURA 11. Microfotografía del pórfido dacítico. 15 X.



LOCALIDAD	EL VOLCAN	LA PLATA	Q. CHORRERON	SAN CELESTINO	Q. HIGUERA	Q. AGUALEJIA
No. LABORATORIO	71170	74264	73217	72512	72698	72661
Fe%	0,70	2,00	1,50	1,50	1,50	2,00
Mg%	0,30	0,50	0,20	0,20	1,50	0,15
Ca %	0,30	0,70	0,70	0,50	0,70	0,05
Ti %	0,10	0,20	0,15	0,30	0,30	0,20
Mn (ppm)	100	1000	500	300	700	150
Ag (ppm)	—	2	—	—	—	0,50
As (ppm)	—	—	—	—	—	—
Au (ppm)*	—	—	—	—	—	—
Mo (ppm)	L 5	5	—	—	—	7
Cu (ppm)	15	10	50	200	70	300
Pb (ppm)	L 10	70	15	10	L 10	20
Sb (ppm)	—	—	—	—	—	—
Zn (ppm)	—	L 200	—	—	—	—

* Análisis por Absorción Atómica

L = menor de

CUADRO No. 2

ANALISIS ESPECTROGRAFICO DE 6 MUESTRAS DE PORFIDO.

parcialmente cloritizada. Esfena, apatito y zircón son los minerales accesorios comunes. Como opaco se presenta magnetita finogranular dispersa.

Un segundo cuerpo (stock del camino a Vetas) muestra una dirección noroeste y presenta roca ígnea masiva, holocristalina porfirítica, con fenocristales de tamaño variable de feldespato alterado, cuarzo y biotita en una matriz afanítica de color gris, localmente cruzada por venas de calcita y epidota secundarias (fig.10).

Mineralógicamente este pórfido se diferencia del anterior por presentar más porcentaje de matriz afanítica, lo que permite un mayor contraste entre los fenocristales y la matriz; los fenocristales bipiramidales de cuarzo son más frecuentes y localmente muestra textura de flujo. La composición de la roca es dacítica con ligeras variaciones a traquita y andesita. Fuera del área en estudio y en afloramientos más o menos continuos desde la quebrada Móngora a la quebrada La Plata, se observa un incremento en los fenocristales de cuarzo y ortosa.

El análisis microscópico (fig. 11) demuestra la presencia de matriz afanítica fino-granular a microcristalina equigranular, ligeramente empolvada por productos arcillosos. Los fenocristales están constituidos por cuarzo (0-10%) euhedral a subhedral con un máximo de 0,5 cm de longitud, es incoloro, no deformado, algunos cristales con delgada corona de reacción en el contacto con la matriz. La plagioclasa (15-25%) varía de oligoclasa sódica a andesina sódica y se presenta en cristales euhedral a subhedral hasta de 1 cm en su dimensión mayor, usualmente zonada, con restos de macla según albita o carlsbad y con reemplazamiento parcial por sericita y calcita. La biotita se presenta en láminas subhedral a anhedral con opacos asociados. Clorita y calcita secundaria se encuentran como cristales dispersos o reemplazando ferromagnesianos y plagioclasa. Como accesorios figuran apatito, esfena y zircón. Los opacos son magnetita-ilmenita con manchas de hematita-limonita; también hay trazas de pirita.

Los contactos entre las diferentes rocas y los cuerpos de pórfidos, son un tanto arbitrarios debido a la falta de afloramientos y especialmente a la alteración hidrotermal y consecuente meteorización que han enmascarado el carácter original de la roca.

Exceptuando los afloramientos de la quebrada La Venta, el pórfido del stock del camino a Vetas se presenta silicificado y cruzado por numerosas venillas de cuarzo y por lo tanto su delimitación es apenas aproximada. Una delgada aureola de 50-80 cm de roca con aspecto pizarroso se observa en el contacto del pórfido dacítico con los sedimentos Cretáceos.

La distribución irregular de los afloramientos con roca porfirítica, sugiere la presencia de intrusivos hipoabisales emplazados como pequeños stocks y diques. Su estrecha asociación con los cuerpos intrusivos demuestra que provienen de los mismos focos magmáticos.

El emplazamiento del stock de La Baja pudo estar controlado por una posible rama de la falla de Cucutilla. Filones como los de San Celestino, Pie de Callo, El Cuatro y La Mascota presentan afloramientos relacionados con este pórfido. Estudios en depósitos de pórfidos cupríferos han demostrado que, aquellos distritos con fuerte control estructural tienden a incluir stocks pronunciadamente elongados (Lowell and Guilbert, 1973, p. 398).

En la población de Vetas, la mina El Volcán, una de las mejores minas de oro de la región, se encuentra en los bordes de un "plug" de pórfido granodiorítico. Los análisis espectrográfico (cuadro 2) y petrográfico de los diferentes pórfidos, demuestran que el contenido de elementos metálicos y la composición mineralógica son bastantes similares.

Edad y Correlación.- La presencia de roca porfirítica cruzando rocas sedimentarias del Cretáceo, demuestra que el pórfido dacítico y posiblemente la mayoría de cuerpos porfiríticos, son de edad post-Cretáceo Inferior, y pueden ser correlacionados con los pórfidos del área de Ocaña cuya datación radiométrica es de 127 ± 3 m.a. correspondientes al Cretáceo Inferior. Ward, et al (en imprenta).

En el estudio realizado por Nippon Mining Company (1967) se asigna una edad de finales del Cretáceo o comienzos del Terciario, a los granitos y pórfidos de esta zona.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas sedimentarias de edad Cretácea se presentan al norte de la población de California. Esencialmente se agrupan en dos unidades litológicas (formaciones Tambor y Rosablanca) cuyas capas siguen una dirección nor-noroeste y una inclinación promedio de 35° oeste.

Rocas sedimentarias del Jurásico no se conocen en la zona, aunque es posible que la parte basal (7-10 m) de una secuencia de areniscas asignadas al Cretáceo Inferior, sea más antigua. Como información se hace una descripción somera de las formaciones sedimentarias.

Formación Tambor (kita)

Los principales afloramientos con rocas de esta formación se sitúan en los nacimientos de las quebradas Higuera y Agualimpia. Remanentes de areniscas glauconíticas y ortocuarzitas se presentan en la quebrada Chorrerón.

La base de la Formación Tambor está compuesta por delgadas capas de limolitas micáceas, de color pardo a rojizo alternando con bancos de areniscas de grano medio. Suprayaciendo hay areniscas feldespato-micáceas de grano medio a grueso con capas y lentejones conglomeráticos cuyos guijarros subangulares a subredondeados llegan a medir hasta 6 cm de largo. Hacia el tope predominan shales con intercalaciones de ortocuarzitas.

La Formación Tambor se presenta en contacto fallado o en inconformidad sobre rocas intrusivas y metamórficas. Su posición, por debajo de la Formación Rosablanca permite asignarle una edad Valanginiano ? -Hauteriviano ?, Julivert, M. (1968, p. 518).

Formación Rosablanca (Kir)

Buenos afloramientos de caliza se localizan en el nacimiento de la quebrada La Venta. Se encuentra constituida por dos niveles calcáreos separados por 8 a 10 m de shales gris. Aunque ambos niveles presentan bancos macizos de calizas, el superior contiene capas de margas localmente laminadas y cruzadas por venas de calcita. Hacia el tope aumenta el contenido detrítico y se presentan calizas con capas de arenisca calcárea de color pardo verdoso, grano fino y con glauconita.

La Formación Rosablanca descansa concordantemente sobre la Formación Tambor.

Varias capas de caliza presentan microfósiles y restos de Ostreas. El análisis peleoontológico de dos muestras indicó restos orgánicos indeterminados (recristalizados). A la Formación Rosablanca se le ha atribuido una edad Hauteriviano-Barremiano, Julivert, M. (1968, p. 486).

Depósitos Cuaternarios

Los depósitos glaciales presentes en algunas laderas, siguen la dirección de la pendiente y se localizan en los alrededores de la Laguna Páez. Están constituidos por bloques subangulares a subredondeados de diferentes rocas englobados en partículas de tamaño limo y arena.

Depósitos de aluviones y terrazas se presentan en valles de algunas quebradas incluyendo La Baja. Los aluviones y bancos de grava gruesa de la quebrada La Baja y del río Vetas son auríferos; actualmente la minería de placeres se limita a trabajos rudimentarios y esporádicos.

ESTRUCTURAS

Refiriéndose al área de California, Ward, et al (en imprenta) describe una orientación regional hacia el norte con inclinación al oeste para la foliación del Neis Bucaramanga. También establece que el emplazamiento de los cuerpos intrusivos fue según una dirección nor-noroeste.

Pliegues

Localmente se observan pequeños pliegues en algunas capas de arenisca. Al noroeste de California se presenta una estructura sinclinal, cuyo eje sigue una dirección aproximada N-S. Esta estructura podría estar relacionada con el sobrecorrimiento de las capas de la Formación Tambor sobre la Formación Rosablanca.

Diaclasas

El diagrama rosa de 375 diaclasas (fig. 12) demuestra el desarrollo preferencial de dos sistemas de diaclasas. El sistema predominante con un 25 % de las diaclasas presenta una orientación entre N40° W y N70° W. Solamente un 12 % de las diaclasas sigue una dirección N80° W a E - W.

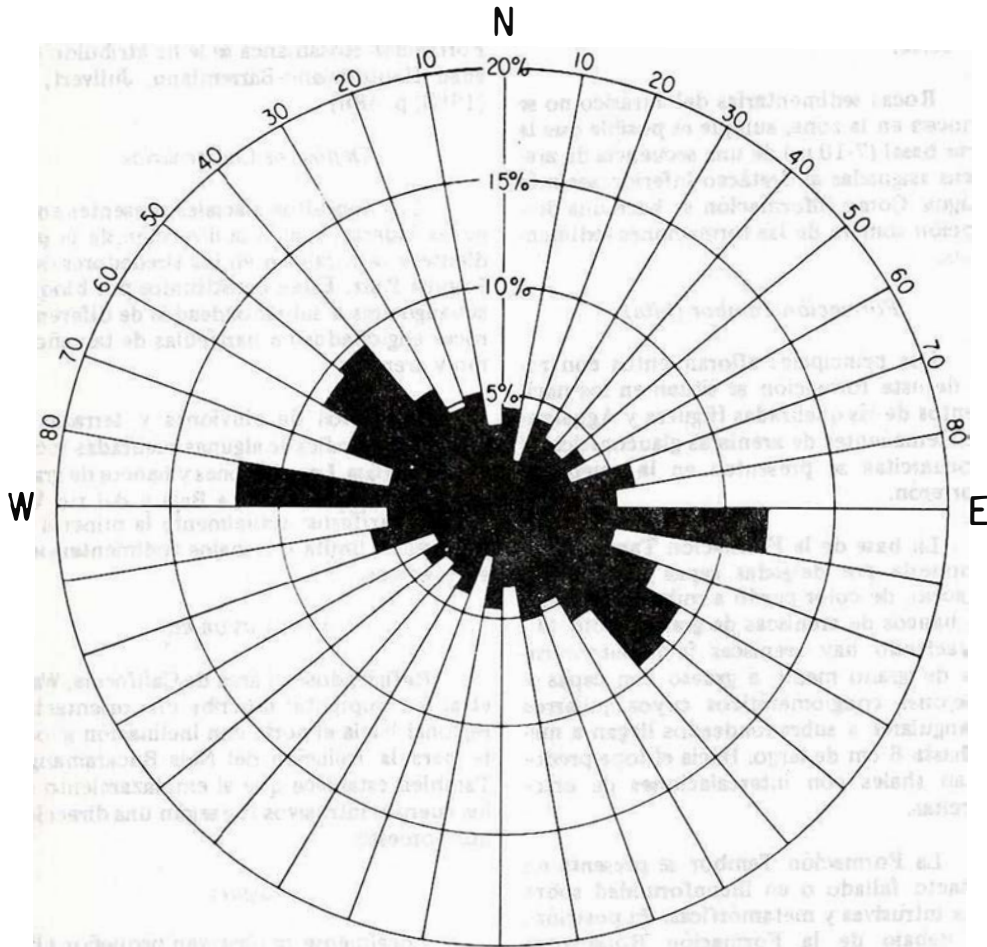


FIGURA 12. DIAGRAMA ROSA DE 375 DIAS EN EL AREA DE CALIFORNIA.

Fallas

Gran parte de los lineamientos fotogeológicos están orientados nor-noreste y probablemente algunos corresponden a fallas. Los cursos de las quebradas Chicaguá, San Juan y La Baja corresponden a algunos de estos lineamientos.

La presencia de una falla a lo largo de la quebrada La Baja como una posible rama de la Falla de Cucutilla ha sido sugerida por Ward, et al (1971). La localización de las estructuras mineralizadas a lo largo de la quebrada La Baja, sugiere la presencia de un cinturón estructural con dirección noreste. En la región se ha comprobado la presencia de fallas con movimiento pre y post-Cretáceo (Julivert y Téllez, 1963).

Texturas cataclásticas acompañadas por cambios en orientación e inclinación de las diaclasas a lo largo de la quebrada Chicaguá, sugieren fallamiento. La intensa alteración y brechación del filón de Pie de Gallo evidencian una estructura fallada en dirección de la quebrada San Juan.

Mediante una falla de rumbo las formaciones Tambor y Rosablanca se ponen en contacto con rocas intrusivas y metamórficas. Esta falla aparece desplazada por fallas menores con dirección norte.

Una falla inversa de bajo ángulo que sigue la dirección de las capas, coloca a la Formación Tambor sobre la Formación Rosablanca.

Hamilton and Myers, (1967, C 24) mencionan grandes fallas de cabalgamiento como fallas casi paralelas a la estratificación de las rocas. Unos 4 km al noroeste de California se encuentra la Falla de Suratá con un desplazamiento vertical entre 1.000 y 2.000 m (Ward, et al en imprenta).

Zonas de falla de alto ángulo con superficies estriadas y fragmentos brechados suelen corresponder a filones de cuarzo mineralizados. La comparación de las figuras 12 y 15 demuestra que estas fallas están relacionadas con los dos sistemas principales de diaclasas.

Zonas de Brecha (Br)

Afloramientos irregulares distribuidos a lo largo de la quebrada Chorrerón y que en conjunto ocupan alrededor de 1 km² presen-

tan rocas ígneas y sedimentarias con alteración hidrotermal y aspecto brechoide. Aunque se ha delimitado una zona aproximadamente circular, el tamaño de los cuerpos de brecha va desde pequeños diques a masas irregulares de varios metros.

Los remanentes de roca sedimentaria contienen areniscas cuarzo-ferruginosas; la matriz está constituida por material amorfo pardo rojizo englobando fragmentos subangulares y subredondeados de cuarzo fracturado. Agregados y láminas de sericita manchadas por óxidos de hierro, rellenan zonas de fractura y reemplazan algunos cristales poco deformados, posiblemente de feldespato.

Roca ígnea de composición granodiorita se encuentra en el nacimiento de la quebrada Chorrerón. Esta roca con deformación cataclástica y alteración deutérica presenta venas de epidota y ortoclasa dentro de cuarzo y plagioclasa; el cuarzo es anhedral, fracturado y en intercrecimiento con ortoclasa; también contiene cristales euhedrales de hornblenda alterada, clorita y óxidos de hierro.

Pórfidos dacíticos localmente con textura clástica presentan una matriz micro a criptocristalina de color gris, compuesta por material silíceo amorfo que engloba fenocristales de cuarzo subredondeado y plagioclasa subhedral provenientes de rocas graníticas. Cristales más pequeños de biotita están reemplazados por láminas ligeramente flexionadas de mica blanca, a su vez parcialmente reemplazada por pirita-calcopirita.

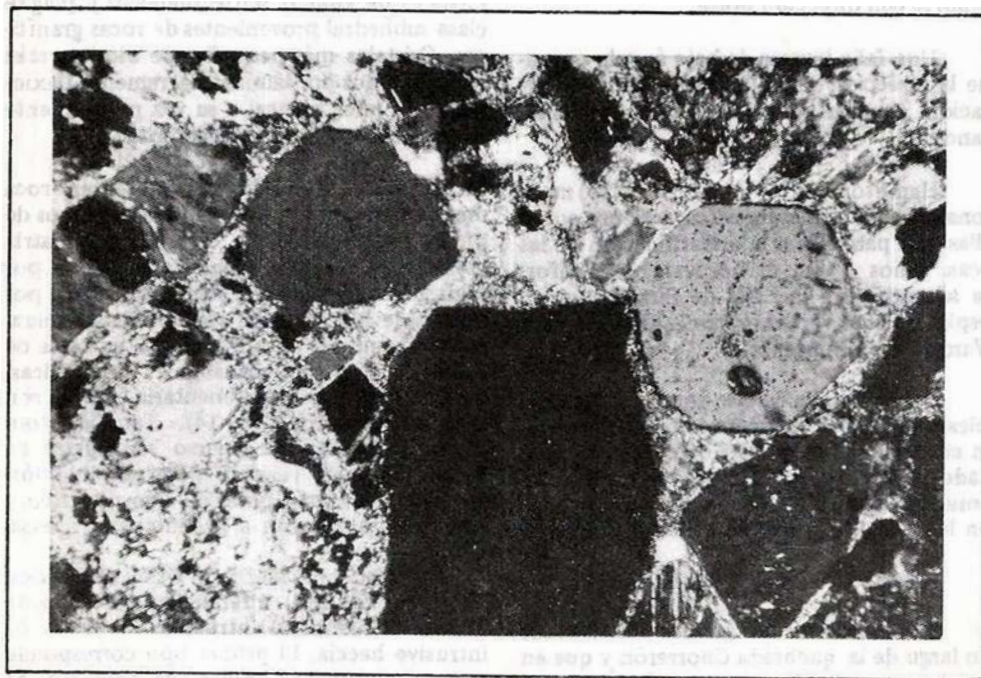
Varios afloramientos presentan roca masiva con estructura brechoide y granos de pirita diseminada (fig. 13). En una matriz granular pardo amarillenta, constituida por feldespato alterado y cuarzo manchado por óxidos de hierro, están englobados fragmentos subangulares a subredondeados hasta de 3x2 cm de rocas hipoabisales porfiríticas, rocas ígneas y roca sedimentaria clástica con matriz ferruginosa (fig. 14). También contiene fragmentos de cuarzo subangular de forma y tamaño variable y cristales idiomórficos de feldespato potásico algo pertítico y con ligera alteración a productos arcillosos.

Bryant and Metz (en Titley and Hicks, 1971, p. 196-199) diferencian dos tipos de brecha intrusiva: a) intrusión breccia y b) intrusiva beccia. El primer tipo corresponde a las denominadas brechas de contacto. El



FIGURA 13. Brecha. Fragmentos subangulares y subredondeados de cuarzodiorita, pórfido, arenisca, cuarzo y feldespato en matriz microcristalina con material arcilloso recristalizado. Quebrada Chorreron, 1 km antes de desembocar en el Río La Baja.

FIGURA 14. Microfotografía de la brecha anterior. 75 X.



nombre de "intrusive breccia" implica matriz sin material ígneo, y fragmentos transportados desde pocos centímetros a cientos de metros, hacia las formaciones superiores de la columna estratigráfica. Algunas de las características mencionadas por Bryant and Metz, podrían sugerir la presencia de una "intrusive breccia" en la quebrada Chorre-rón.

MINERALIZACION

NATURALEZA GENERAL DE LA MINERALIZACION

El Distrito Minero de California se caracteriza por presentar notable alteración, usualmente acompañada de mineralización.

El principal sistema de mineralización presenta una forma alargada en dirección noreste y está constituido por una serie de filones escalonados que se extienden por cerca de 3 km desde La Baja (Filón de San Celestino) hasta la localidad de La Alta. Los mejores tenores de mineral suelen corresponder a filones de cuarzo y zonas de oxidación adyacentes, sitios que son trabajados por medio de túneles que siguen la dirección del filón.

CONTROLES MINERALIZANTES

Un modelo estructural primario aparentemente controló el emplazamiento de los cuerpos intrusivos en el Macizo de Santander. Durante la mineralización el principal control estructural pudo estar relacionado con fallas de alto ángulo, estrechamente asociadas con sistemas de diaclasas. Estos sistemas sirvieron como canales de conducción o como medios de diseminación para la depositación del contenido metálico de las soluciones mineralizantes.

Una estrecha relación pórfido-mineralización puede sugerirse en base a: 1) Los principales filones de California se localizan en la dirección del stock de pórfido granodiorítico de La Baja. 2) Zonas de intensa alteración hidrotermal son frecuentes en los alrededores de pequeñas masas de roca porfírica. 3) Tanto el pórfido de California como el de la localidad de Vetas constituyen la principal roca encajante de varios filones mineralizados.

ESTRUCTURAS MINERALIZADAS FILONES

Las principales estructuras mineralizadas parecen localizarse en zonas donde esfuerzos diferenciales han sometido las rocas a intenso diaclasamiento y cizallamiento.

El diagrama rosa de 44 filones (fig. 15) demuestra una disposición según dos direcciones preferenciales. Más del 50 % de los filones se orienta en el rango N30°W-N60°W, mientras que un 20% lo hace entre N70°W y E-W.

La disposición escalonada y casi paralela de los filones de La Baja sugiere relación con zonas de cizallamiento. Filones irregulares y curvos demuestran dilatación tensional y constituyen zonas de baja presión y bajo potencial químico, favorables para la depositación (Boyle, 1969).

En el área de California es posible reconocer 4 tipos de filones o venas de cuarzo:

1. Venas de cuarzo blanco de grano fino a medio, generalmente no contienen sulfuros y se presentan en todo tipo de roca. Diques de cuarzo lechoso con espesores entre 1 y 2 m pueden estar cruzados por venas y venillas de cuarzo gris con sulfuros.
2. Venillas y venas de cuarzo blanco a gris claro con pirita granular y algunos valores de oro, ocupan grietas y cruzan la roca en diferentes direcciones (masas en estoverca); aparentemente están relacionadas con sistemas de diaclasas. Usualmente son venas de 1 a 5 cm de color gris blanco, (fig. 16) con cuarzo anhedral que a veces forma mosaicos entre agregados de sericita. El feldspato es anhedral a subhedral fracturado y parcialmente sericitizado. Cuando la roca encajante es cruzada por venas de cuarzo con pirita, presenta notoria alteración, cambia a un color blanco grisoso y esencialmente se compone de cuarzo anhedral (80%) con extinción ondulante y plagioclasa (10%) en cristales anhedrales sericitizados. La pirita en cristales subhedrales a anhedrales se limita a las venillas y en menor proporción como diseminación en la roca.

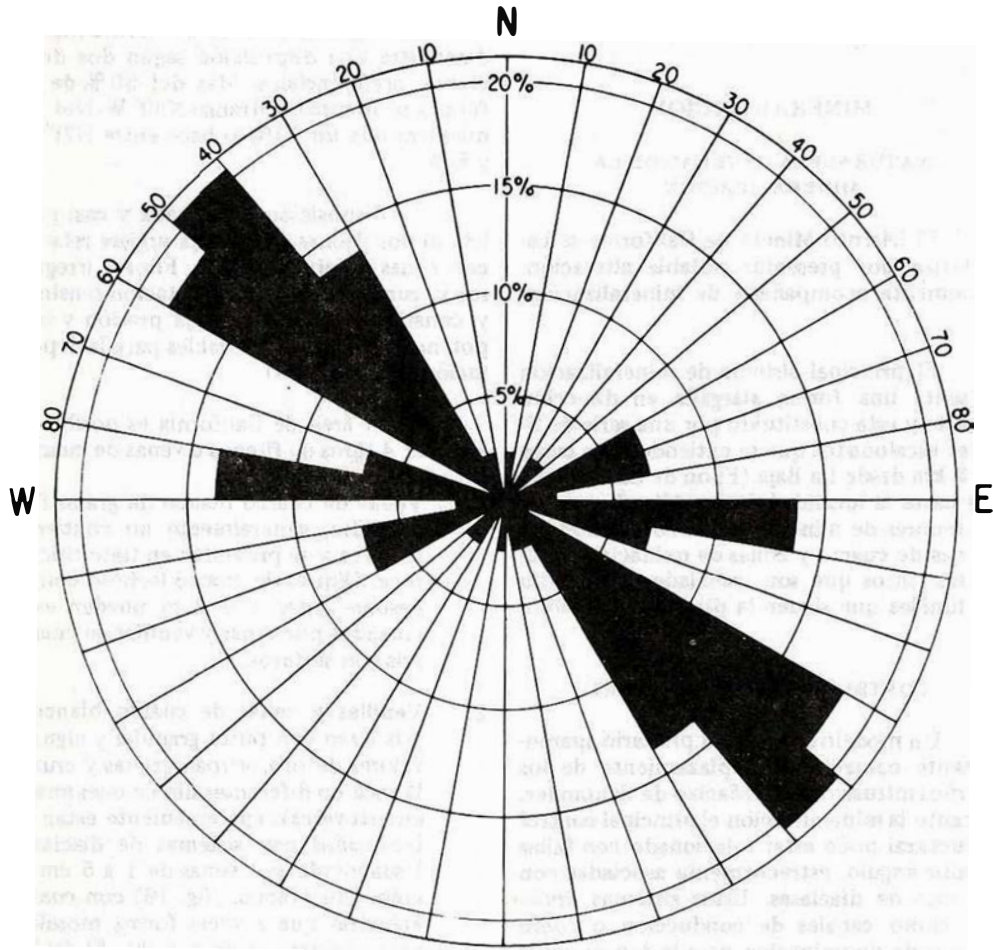


FIGURA 15. DIAGRAMA ROSA DE 44 FILONES EN EL AREA DE CALIFORNIA.

3. Venas de cuarzo-feldespatos con textura aplítica presentan forma y espesor irregulares y suelen ramificarse en la roca encajante. Localmente presentan concentraciones de sulfuros en lentejones hasta de 50 cm de espesor. Este tipo de filón con poco oro libre muestra zonas de intensa oxidación que suelen llamar la atención. Debido a la lixiviación de los componentes del filón y de la roca encajante, se originan masas de cuarzo y limonita con poros de forma celular. Estos filones suelen presentarse en áreas de alacuita estrechamente asociada con zonas de silicificación. Cuando ocurren en rocas metamórficas aparecen cortando la foliación, toman coloración ligeramente verdosa y los máficos de la roca encajante se muestran cloritizados, epidotizados o reemplazados por sulfuros.
4. Venas de cuarzo gris de aspecto masivo y textura brechoide (fig. 17) contienen fragmentos de roca, cuarzo y feldespato en matriz criptocristalina gris oscura con sulfuros diseminados. Esta es la principal mena portadora de oro tanto en California como en Vetas. Aunque el espesor varía desde unos pocos centímetros hasta varios metros, las mejores bonanzas se encuentran en venas de espesor promedio. En el Cuadro 3 se muestran las diferencias en el contenido metálico de acuerdo con la variación en el espesor del filón.

Estos filones se presentan en zonas fracturadas y cizalladas y comunmente se relacionan con apófisis o diques de roca porfirítica. A pesar de su inclinación y espesor variable pueden mostrar una dirección bastante continua. En Vetas el filón de la mina El Volcán, presenta una longitud mayor de 400 m (Richard Knapp, comunicación oral). Es posible que en profundidad ocurra cierto curvamiento del filón y llegue hasta desaparecer, pues en depósitos de este tipo la profundidad de los filones suele ser menor que su longitud (Bateman A., 1961).

ASOCIACIONES MINERALES

En la zona, la mineralización se localiza principalmente en filones, venillas y esporádicas diseminaciones en la roca. Los filones contienen pirita, galena, esfalerita, tetrahedrita, marcasita y en menor cantidad calcopirita y enargita. Oro y plata son los minerales

actualmente en explotación. Venillas que se infiltran en la roca encajante suelen mostrar valores altos de Cu, Pb, As, Fe y Zn, a veces acompañados por oro y plata. En las rocas metamórficas los sulfuros se encuentran en fracturas, venillas, o reemplazando algunos máficos.

La paragénesis mineral de uno de los filones de la zona (filón de San Celestino) fue estudiada por Pagnaco (1962). Las observaciones de campo y los análisis de los diferentes filones sugieren que en gran parte de la zona Vetas-California las condiciones mineralizantes fueron bastante similares a las observadas por dicho autor.

Amplias zonas de alteración mineralizadas en mayor o menor grado, evidencian un control estructural para estos depósitos. Es posible suponer que luego del emplazamiento de los pórfidos y como resultado de enfriamiento de la masa parcialmente cristalizada y de la presión de vapor generada por los fluidos volátiles, se formaron pequeñas fracturas que inicialmente permitieron reemplazamiento metasomático y facilitaron el paso de las soluciones y la depositación de cuarzo, pirita, galena y localmente enargita.

Algunos filones presentan reemplazamiento casi total de galena, por blenda y tetrahedrita. En este caso el volumen molecular de la galena es mayor que el volumen de la blenda y por lo tanto el proceso avanza relativamente fácil (Maurel, 1973). Durante este período de mineralización posiblemente se depositó una pequeña fracción del oro encontrado en venillas de cuarzo.

Posteriormente se originaron zonas de falla con relleno de brechas (fig. 17). Estas zonas cataclásticas con mayor permeabilidad permitieron que el fluido residual se difundiera en todas direcciones y depositara cuarzo gris, pirita, arsenopirita, marcasita, algunos sulfuros de cobre (calcopirita-bornita) y posiblemente la mayor parte de oro.

En el Cuadro 2, muestras 73217 y 72661 se presentan los análisis de roca porfirítica asociada con un filón mineralizado, y en el Cuadro 3, los análisis de varias muestras de pórfido. Comparando estos resultados se observa que tanto la roca encajante como el pórfido asociado con filones mineralizados, no presentan valores anómalos en el contenido metálico.



FIGURA 16. Roca granítica con vena de cuarzo. Las cavidades se han originado por disolución de los sulfuros. Río La Baja 150 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Chicaguá.

FIGURA 17. Brecha mineralizada. Filón de San Celestino.



NUMERO LABORATORIO	1 74269	2 74270	3 74271	4 74268	5* 74276	6* 74277	7* 74278
TIPO DE MUESTRA	FILON (Espesor >1 m)	ZONA DE ROCA + FILON	ROCA ENCAJANTE	PORFIDO ASOCIADO	FILON (Espesor 0,5-0.6 m)	ZONA DE OXIDACION	PORFIDO ASOCIADO
Mn (ppm)	30	150	2.000	1.500	70	20	70
Ag	70	1	1	—	1.000	70	1
As	200	—	—	—	2.000	1.500	—
Au	L 10	—	—	—	15	L 10	—
Cd	L 20	—	—	—	100	—	—
Cu	50	L 10	15	30	7.000	300	L 10
Mo	5	—	20	—	20	100	—
Pb	500	70	20	50	20.000	7.000	50
Sb	100	—	—	—	3.000	700	—
Zn	1.500	—	—	300	7.000	500	200

* Muestras Tomadas en un Nivel Superior

L = Menor de

CUADRO No. 3

VARIACION EN EL CONTENIDO METALICO DE ACUERDO CON EL ESPESOR DEL FILON
Mina La Francia (Quebrada La Plata) Por Camino a Vetas 5 km al S 15° E de California.

Esta apreciación sugiere que en California no es aplicable la hipótesis de Stephenson (en Weber and Stephenson 1973, p.405) y otros autores, quienes atribuyen la concentración de oro en venas de cuarzo como resultado de secreción lateral del oro desde la pared de roca alterada. La opinión general es que el oro tiende a concentrarse en el fluido residual, siendo uno de los últimos minerales en cristalizar. Helgeson and Garrels (1968, p. 634) concluyen: "Gold is carried in hydrothermal solutions primarily in the aurous state and geologic observations suggest that less than 0.02 ppm gold in solution is sufficient to account for major gold ore deposits".

Los análisis de muestras de roca alterada solo contienen trazas de oro, excepto en zonas adyacentes al filón donde muestras silicificadas y piritizadas dan valores tan altos como 35 ppm de oro. Tilling, Gottfried and Rowe (1973, p. 177) sostienen que los valores de oro significativamente mayores que el valor normal "background" reflejan "penetración" de la roca por soluciones procedentes de las venas.

La presencia de espacios vacíos, desplazamiento de venillas, entrecruzamiento de cristales de cuarzo, deformación y relleno no simétrico con apariencia bandeada, demuestran que la mayoría de venas y filones de cuarzo provienen de relleno de cavidades. Estas venas o filones de fisura presentan una zona de alteración aproximadamente paralela a las paredes de la fisura (fig. 18); el ancho trata de ser uniforme a los lados de la grieta y aunque varía según el tipo de roca, es el volumen del filón el que determina su magnitud.

Los valores irregulares de oro encontrados en filones con abundante pirita y la asociación oro-tipo de cuarzo, sugieren que la depositación de oro, cuarzo y pirita no fue simultánea. Helgeson and Garrels (1968, p. 633) mencionan que los "bre shoots" (zonas de bonanza) presentes en algunos filones, representan zonas donde pequeñas variaciones en el pH de las soluciones, facilitan la depositación de oro y pirita.

La coloración gris observada en algunos filones de cuarzo con alto porcentaje de oro, pudo originarse tanto por dispersión de diminutas partículas de carbono primario du-

rante la fase gaseosa, como por la presencia de agregados y laminillas de sericita. La brecha mineralizada de San Celestino y otros filones con altos valores de oro y ligeras cantidades de uranio, contienen cuarzo gris. Este tipo de cuarzo criptocristalino con apariencia de calcedonia y localmente asociado con minerales como adularia, alunita y marcasita, demuestra que originalmente la sílice precipitó de las soluciones como fase metaestable y en condiciones de baja temperatura.

Nelson (en Bueno 1955a) encontró que los minerales de uranio, principalmente uraninita como finísimas inclusiones diseminadas en cuarzo, están restringidos a las zonas brechadas del filón.

White, W. (1943) y Boyle, R. (1969) atribuyen la depositación de oro a procesos de dilatación y cataclasis (microbrechación y recristalización simultánea) acompañados de difusión. Estos procesos preferencialmente se desarrollan en áreas donde han predominado condiciones cercanas a superficie. Una temperatura ligeramente superior a 175° C parece ser la más conveniente para la depositación de oro-cuarzo (White, W. 1943, Helgeson and Garrels, 1968).

El modo de ocurrencia del oro en los filones ha sido motivo de diferentes controversias. Para muchos, el oro no se encuentra en solución sólida sino como partículas submicroscópicas de oro nativo o de un mineral de oro dentro de la pirita; como relleno de fracturas en cuarzo o sulfuros, o reemplazando a los sulfuros (Von Rahden, 1965; Wells and Mullens, 1973).

Usualmente los filones con mineral primario sin oxidar contienen oro que no puede observarse a simple vista, ni bajo el microscopio, lo cual demuestra su tamaño submicroscópico. Los estudios de Bueno (1955a) revelan que aun moliendo los concentrados sulfurados del Filón de San Celestino hasta -200 Mesh, es posible recuperar una parte del oro presente en tales concentrados. Wells and Mullens (1973) comprueban que el oro y arsénico principalmente se encuentran en diminutos granos (menores de 5 micrones) de pirita diseminada en los filones.

Los análisis mostrados en el Cuadro 4 presentan diferencias en el contenido de oro, según que el análisis sea sobre mineral del fi-



FIGURA 18. Zona de alteración paralela a una venilla de cuarzo con sulfuros. Rfo La Baja, 100 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada La Higuera.

NUMERO LABORATORIO	MUESTRA ANALIZADA	ELEMENTO													
		Fe	Mg	Ca	Ti	Ag	As	Au ¹	Hg ²	Bi	Cu	Mo	Pb	Sb	Zn
		%				p p m									
7 3 3 7 8	Vena de cuarzo con sulfuros.	15	L0,02	—	0,015	200	500	36,57	7,55	200	20.000	150	300	—	—
7 3 3 7 9	Mineral molido	5	0,07	L0,05	0,200	200	150	8,68	7,45	70	10.000	70	1.500	—	—
7 3 3 8 0	Mineral concentrado	20	—	—	0,050	500	200	55,50	7,25	70	20.000	70	150	—	—

1 Análisis por Absorción Atómica

L = Menor de

2 Análisis Instrumental

CUADRO No. 4 ANALISIS ESPECTROGRAFICO DE UNA MUESTRA DE FILON COMPARADO CON LOS ANALISIS DE LA MUESTRA MOLIDA Y CONCENTRADA (MINA LA MASCOTA).

lón, sobre mineral molido o sobre el concentrado de pirita del mismo filón. Estos valores reflejan una distribución desigual de partículas sea de oro nativo o de otros minerales de oro dentro de la pirita y el cuarzo y sugieren que los filones contienen oro de diferente finura.

En el capítulo de Geoquímica se presentan algunas relaciones entre el oro y varios elementos. A primera vista la asociación Ag-Mo aparenta ser más frecuente que las asociaciones Au-Mo y Cu-Mo. Localmente delgadas venillas de molibdeno dan color oscuro al cuarzo y se encuentran en muestras de roca porfirítica.

El cobre parece ser uno de los elementos corrientemente asociados con el oro. Filones con altos valores de oro y bajo contenido de cobre, suelen presentar mayor lixiviación de los componentes. Algunas muestras de filón o de roca alterada presentan valores de arsénico demasiado altos, mientras que el contenido de oro es bajo.

Una relación promedia entre oro y plata de 1:15.5 fue determinada por Bueno (1955a) para uno de los filones. Posiblemente la relación para el área sea un poco menor, ya que no se tiene conocimiento sobre la presencia de plata nativa y la mayoría de filones con altos valores de oro, rara vez son ricos en plata.

Los depósitos de California presentan características genéticas que permiten describirlos como "mesotermales". Stanton (1972) agrupa estos depósitos dentro del grupo de "base metal sulfide veins of igneous association". De acuerdo a las dimensiones observadas en el campo y a la abundancia relativa de elementos, los depósitos también se pueden incluir en el grupo que Kesler (1972) denomina "depósitos de oro-cobre". La imposibilidad para demostrar que un pórfido es estéril (Stringham, 1960) y la estrecha asociación de la mineralización con cuerpos porfiríticos, permiten esperar que en algún sitio, se encuentre un pórfido productivo.

Otro tipo diferente de mineralización se presenta en los nacimientos de la quebrada Chorrerón. Se trata de un depósito de manganeso, que ocurre, principalmente como relleno de fracturas. Algunos lentejones de varios metros de longitud y de 50-80 cm de espesor contienen material de buena calidad. Una muestra (H. M. 692) de este mineral dio el siguiente análisis químico:

Silicio en SiO ₂	0.42 %
Hierro en Fe ₂ O ₃	1.23 %
Aluminio en Al ₂ O ₃	2.51 %
Fósforo en P ₂ O ₅	0.11 %
Manganeso en MnO ₂	87.04 %
Manganeso en Mn	55.00 %
Hierro en Fe	0.86 %
Fósforo en P	0.05 %

Actualmente se explota un lentejón del cual se han extraído aproximadamente unas 500 toneladas de mineral

ALTERACION

Tratándose de depósitos de filones de oro-cuarzo cuyas soluciones han reaccionado con las rocas encajantes, es importante conocer el papel desempeñado por la alteración tanto hipogénica como supergénica. Distinguir los tipos de alteración es muy difícil en rocas como las de California, sometidas a extensa lixiviación y consecuente oxidación. Diferentes estudios demuestran que los efectos hipogénicos pueden ser transicionales a supergénicos (Meyer and Hemley, 1967; Rose A., 1970; Sillitoe R., 1973).

Tentativamente es posible mencionar entre los minerales hipogénicos: biotita, epidota, parte de la sericita, clorita, cuarzo y quizá arcilla. Como minerales supergénicos: material arcilloso, alunita, adularia, algo de sericita, cuarzo y posiblemente clorita.

Dentro del área estudiada se establecen 4 tipos de alteración: argílica, propilítica sericítica y silicificación. A pesar de la superposición entre los diferentes tipos de alteración, el mayor desarrollo de un tipo sobre el otro, ha sido favorecido por la composición de la roca y el grado de fracturamiento.

ALTERACION ARGILICA

Este tipo de alteración va desde una ligera alteración de los feldespatos a minerales con aspecto arcilloso, hasta un estado más avanzado de alteración. Generalmente los filones contienen minerales arcillosos, cuarzo, pirita, sericita y algunos, como el filón de San Celestino, presentan alunita y enargita. Este conjunto de minerales presenta un estado de alteración argílica avanzada (Meyer and Hemley en Barnes, 1967, p. 172). La presencia de alunita en filones de cuarzo sin molibdeno, sugiere que se trata de alunita supergénica. El cuadro 3 muestra las muestras 74271, 74268 y 74278, contiene los análisis de roca con

ligera alteración argílica. La aparente esterilidad de la alteración argílica demuestra que en parte está relacionada con agua meteórica (Patton T., Grant, A. and Cheney, E., 1973).

ALTERACION PROPILITICA

La alteración propilitica incluye minerales como clorita, epidota, calcita, etc. y generalmente se presenta en zonas alejadas de los centros de mineralización. Las rocas (cuarzodiorita y pórfido) muestran plagioclasa parcialmente sericitizada, en parte con núcleos de alteración a saururita; los ferromagnesianos son alterados o reemplazados por clorita y epidota, y éstos pueden ser rodeados o reemplazados por pirita. El cuarzo es accesorio, la pirita presenta corona de oxidación a hematita y a veces se encuentra abundante apatito incluido en la biotita. El predominio de calcita en algunos pórfidos, sugiere que un medio con deficiencia en alúmina, permitió que el calcio lixiviado de la hornblenda se combinara con el anhídrico carbónico.

ALTERACION SERICITICA

La presencia de minerales como sericita, cuarzo y pirita, determina que la alteración sericítica ocupe amplias zonas de la región y aparezca como una alteración predominante. Su intensidad varía desde angostas zonas limitadas a las venas, a zonas de varios metros principalmente en la alasquita. Esta roca es cruzada por numerosas venillas de cuarzo, localmente con sulfuros de hierro y cobre, presenta plagioclasa sericitizada y feldespato potásico relativamente fresco. En zonas de fractura hay nidos de biotita pardamarillenta, a veces parcialmente cloritizada o con esporádicos núcleos de epidota. La pirita se encuentra disseminada y asociada principalmente a agregados y láminas de muscovita.

SILICIFICACION

Como la depositación de los sulfuros va acompañada de precipitación de sílice, la silicificación frecuentemente está asociada a otros tipos de alteración, y es el resultado del comportamiento de las soluciones sobre un amplio rango de ambientes. Generalmente sericitización y silicificación van acompañadas de pirita, por lo que áreas como éstas es posible ubicarlas en la denominada "zona filica" de Lowell and Guilbert (1970). Una

franja de aproximadamente 2 km de largo que se extiende en el borde de la quebrada La Baja, presenta rocas intensamente silicificadas, localmente con abundante pirita, que al oxidarse produce azufre libre el cual aparece mezclado con limonita.

Localmente y dentro de esta franja se encuentran rocas con abundante pirita disseminada y en venillas, calcopirita, y a veces pequeñas manchas de malaquita. Los análisis de estas muestras dan valores altos de cobre acompañados de oro, molibdeno y plata.

METEORIZACION-OXIDACION

El papel desempeñado por los agentes meteóricos resulta evidente, al tratar de establecer la relación que existe entre el filón de mineral primario y aquellas zonas con cierta oxidación.

El Cuadro 5, permite apreciar las variaciones entre el contenido de oro en el filón y el contenido en la zona de oxidación adyacente. Para explicar estas variaciones es razonable aceptar la presencia de soluciones en las que el oro se disuelve.

Tanto en los filones primarios como en las zonas de oxidación se observa la asociación oro-cobre, lo cual demuestra cierta conexión química entre los minerales de cobre y la depositación de oro. Algunas sustancias orgánicas han sido mencionadas como agentes precipitantes de oro. Radtke A. y Schneider B. (1970, p. 96) encuentran un ácido orgánico similar al "ácido húmico" con grupos funcionales capaces de interactuar los complejos de oro, para formar compuestos orgánicos de este mineral.

Uno de los elementos caracterizado por su baja movilidad es el oro, sin embargo en zonas como la de California, donde predominan las reacciones químicas, la movilidad de los elementos puede ser bastante diferente a la encontrada en ambientes normales (Hawkes and Webb, 1962). Aunque en la región, la velocidad de erosión predomina sobre la velocidad de concentración, es posible encontrar zonas con minerales secundarios como covelita, calcosina, calcantita, brocantita, malaquita y azurita, lo cual demuestra abundante actividad química.

NUMERO LABORATO- RIO	Muestra Analizada		ELEMENTO													LOCALIDAD
	Filón	Oxid.	Fe	Mg	Ca	Ti	Ag*	As	Au*	Bi	Cu	Mo	Pb	Sb	Zn	
			%				p p m									
72098	X		7	—	0,10	0,020	50	300	12,11	10	1.000	30	10.000	—	—	La Mascota
72099		X	5	—	—	0,002	46	700	0,27	—	1.500	30	30	—		
72103	X		5	0,07	0,05	0,015	—	L 200	8,27	150	70	30	150	—	—	La Angostura
72104		X	3	0,02	0,10	0,007	—	500	5,09	20	200	—	30	—	—	
72131	X		3	0,03	—	0,150	16	—	3,99	15	70	70	70	—	—	Asturias
72130		X	1,5	0,05	—	0,100	17	—	86,92	30	20	30	70	—	—	
72117	X		5	0,02	—	0,005	733	700	14,58	30	5.000	150	70	—	—	El Diamante
72116		X	3	0,03	—	0,005	—	L 200	10,42	30	150	100	30	—	—	
72660	X		2	0,07	—	0,100		—	—	—	200	—	15	—	—	Agualejía
72659		X	7	0,02	0,05	0,007		300	0,22	—	1.000	10	300	—	—	

* Análisis por Absorción Atómica

L = Menor de

CUADRO No. 5 ANALISIS ESPECTROGRAFICO DE CINCO MUESTRAS DE FILON Y ZONAS DE OXIDACION ADYACENTES

Los análisis y microfotografías de diferentes yacimientos, han confirmado que por oxidación y descomposición de la pirita, el oro debe encontrarse como pseudomorfo de hematita-goetita. Algunas zonas de oxidación permiten observar diminutos granos de oro, mientras que en la mayoría de filones tal apreciación es muy rara; esto comprueba que en zonas de oxidación, el oro ha sido recristalizado y concentrado virtualmente in situ (Wells and Mullens 1973). Filones y zonas de oxidación con altos valores de oro y bajos de plata sugieren que la lixiviación progresiva de la plata, permitió que el oro primario aumentara su pureza.

Cloke P. and Kelly W. (1964, p. 266) encuentran que en condiciones fuertemente ácidas y con adecuado suministro de ión cloruro, una vena que contenga una onza de oro por tonelada, puede ser lixiviada de todo el oro hasta una profundidad de 750 pies. Esta sería una causa por la cual varios filones ligeramente oxidados, o zonas con abundante oxidación no presentan valores de oro.

El sulfato férrico y soluciones de ácido sulfúrico con cloruros y bióxido de manganeso son sustancias que pueden disolver el oro. También se ha sugerido que el oro es transportado como complejos de arsénico, antimonio y azufre.

Los cálculos termodinámicos y datos experimentales han comprobado que soluciones acuosas ácidas o casi neutras son capaces de transportar cantidades sustanciales de oro. (Cloke and Kelly 1964; Helgenson and Garrels, 1968; Weissberg B., 1970; Tilling R., Gottfried D. and Rowe J. 1973).

Estas apreciaciones demuestran que en la región Vetas-California, las condiciones de alteración-mineralización constituyen una base con buenas perspectivas para futuras exploraciones.

PROSPECCION GEOQUIMICA

La prospección geoquímica en el área de California tuvo como objetivo primordial determinar una posible diseminación de oro dentro de las rocas encajantes, la cual permitiera una explotación conjunta de roca y filones, a cielo abierto. Esto haría posible el beneficio de un gran volumen de roca mineralizada con un tenor de oro mucho más bajo del que actualmente se explota para los filones. Además se podrían beneficiar otros

elementos tales como plata, cobre y posiblemente molibdeno, presentes en pequeñas cantidades dentro del área mineralizada.

SISTEMA DE MUESTREO Y ANALISIS EFECTUADOS

La prospección tuvo como base un muestreo sistemático de rocas. Simultáneamente se colectaron algunas muestras de suelo y sedimentos activos con miras a su posible utilización como método de prospección geoquímica en el distrito de California y en los sitios donde se presenten características geológicas similares.

MUESTREO DE ROCAS

Teniendo en cuenta la extensión y estudios previos del área de interés se decidió llevar a cabo un muestreo de rocas como base a la prospección geoquímica de la zona considerada. Esto permitiría un conocimiento directo del contenido y variación de elementos importantes tales como oro, plata, cobre y molibdeno dentro de los diferentes tipos de roca que afloran en la zona mineralizada.

Se colectaron aproximadamente 600 muestras de roca de las cuales 500 fueron enviadas para análisis químico. Están discriminadas en la siguiente forma: 20 en rocas sedimentarias, 46 en rocas metamórficas, 52 en rocas ígneas de carácter porfirítico, 248 en rocas graníticas y 134 en filones de cuarzo. Los pórfidos varían en composición de dacita a andesita y las rocas graníticas incluyen granito, cuarzomonzonita, granodiorita, y cuarzodiorita. Dentro de los filones, 69 muestras corresponden a la zona de oxidación (las llamadas "carachas" por los mineros de la región) y 65 a la zona de sulfuros primarios.

A las 500 muestras se les efectuó análisis espectrográfico completo y absorción atómica para oro. De estas se escogieron 91 muestras, las cuales fueron analizadas para mercurio, por detector, teniendo como objetivo la correlación oro-mercurio, y la posible utilización de éste último, como elemento guía en la búsqueda de nuevas mineralizaciones de oro.

MUESTREO DE SUELOS

Se colectaron un total de 120 muestras de suelo dentro del área de interés. A conti-

nuación se mencionan algunos inconvenientes encontrados en la ejecución de dicho muestreo: 1) Debido a la topografía abrupta, en gran porcentaje del área no se han formado suelos y donde están presentes, los distintos horizontes muestran falta de continuidad. 2) Los trabajos de explotación de las minas han producido una fuerte contaminación de los suelos y 3) En pequeños valles y zonas bajas lo que podría clasificarse como suelo corresponde en realidad a sedimentos de llanuras aluviales.

A las muestras colectadas se les practicó análisis espectrográfico completo y de absorción atómica (A.A.) para oro. Solo se presentaron algunos valores anómalos para oro y cobre los cuales son completamente erráticos y en general no corresponden a las áreas mineralizadas conocidas previamente.

Estos factores adversos descartaron la programación de un muestreo sistemático de suelos como posible herramienta de prospección geoquímica.

MUESTREO DE FINOS Y CONCENTRADOS DE BATEA

Se colectaron 63 muestras de sedimentos finos y 40 concentrados de batea en la cuenca hidrográfica de la quebrada La Baja. Casi la totalidad de la cuenca ha sido objeto de trabajos de minería, lo cual ha producido una fuerte contaminación en los sedimentos activos.

A los sedimentos finos se les efectuó análisis espectrográfico completo y de absorción atómica (A.A.) para oro, mientras los concentrados de batea fueron analizados al binocular para determinar el número de granos de oro y otros minerales presentes. Los valores de oro en los sedimentos finos son muy escasos, completamente erráticos y no muestran relación alguna con las mineralizaciones conocidas. Prácticamente en todos los concentrados de batea se detectó oro pero éste, debió ser en gran parte derivado de la explotación de los filones auríferos y aun del mineral de los molinos, los cuales en muchos casos se encuentran localizados en las márgenes de las quebradas y vierten sus colas dentro de las corrientes. Esta serie de factores impide tener una idea cierta sobre la movilidad y dispersión del oro; por tanto un muestreo de orientación en estas condiciones no sirve como base a

una programación sistemática en búsqueda de nuevas anomalías en áreas que no presenten indicios de explotación y contaminación.

RESULTADOS GEOQUÍMICOS EN ROCAS

En la evaluación de los resultados geoquímicos se usaron histogramas de distribución para oro, plata, cobre, molibdeno y plomo. Para mejor apreciación de los resultados las rocas fueron divididas en 5 grupos litológicos: sedimentario, metamórfico, pórfido, granito y filones. En algunos casos estos histogramas carecen de significación debido al bajo número de la población. Tal es el caso del sedimentario donde la población consta únicamente de 20 valores.

Otros elementos como zinc, arsénico y antimonio muestran muy pocos valores positivos debido a la poca sensibilidad del método analítico usado (Espectrografía). En estos casos no se consideró conveniente el uso de histogramas y solo se destacan algunas deducciones.

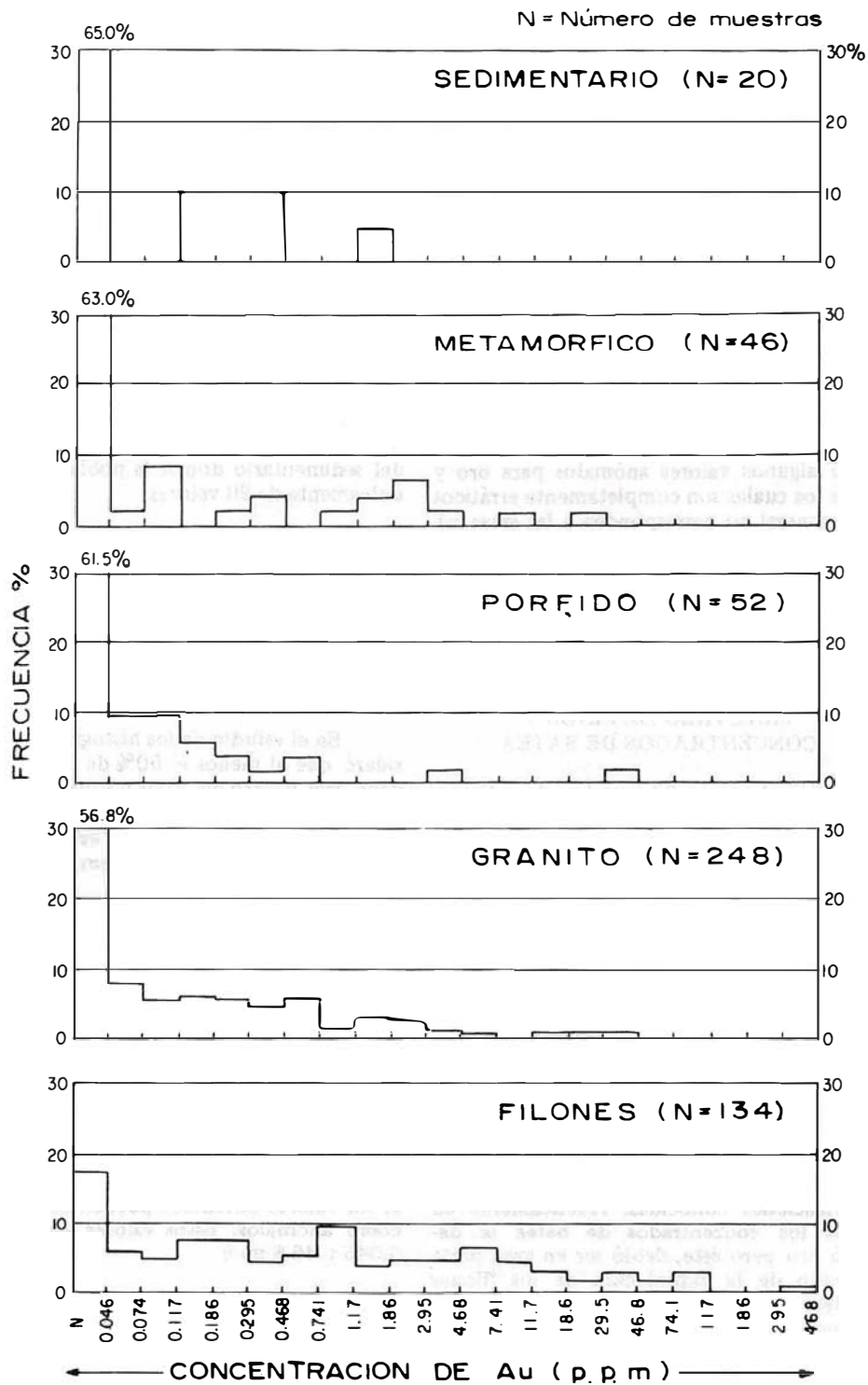
En el estudio de los histogramas se consideró que al menos el 50% de la población debe caer dentro del valor normal; dos o tres veces este valor puede considerarse como el valor umbral y por encima de este los valores obtenidos se consideraron anómalos.

ORO

Los histogramas muestran la distribución de oro y su relación con el tipo de roca (fig. 19).

Considerando como encajante a las rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas (incluyendo pórfidos y granitos) se aprecia que el oro no fué detectado en más del 60% de las muestras consideradas, así que prácticamente los valores obtenidos pueden considerarse como anómalos. Estos valores varían entre 0.046 y 46.8 ppm.

En los filones, el oro parece presentar una distribución bimodal, con modos en aproximadamente 1 y 7 ppm. Para la primera población podrían considerarse anómalos con valores iguales o mayores a 3 ppm y para la segunda, la más interesante, serían anómalos los valores iguales o mayores a 7 ppm.



Límite de detección 0,05 ppm

FIGURA 19. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE ORO Y SU RELACION CON EL TIPO DE ROCA. ANALISIS POR ABSORCION ATOMICA

PLATA

Los histogramas, muestran la distribución de plata y su relación con el tipo de roca (fig. 20).

En las rocas encajantes se aprecia que la plata no fue detectada en más del 50% de las muestras. Aproximadamente el 70% de los valores está por debajo de 1 ppm, valor que puede considerarse como normal especialmente para los granitos. Valores iguales o mayores a 3 ppm pueden considerarse como anómalos y varían entre 3 y 100 ppm.

En los filones el valor normal oscila entre 5 y 7 ppm y se considera como umbral un valor de 15 ppm. Por encima de éste se consideran valores anómalos, los cuales varían entre 15 y 700 ppm.

COBRE

Los histogramas muestran la distribución de cobre y su relación con el tipo de roca (fig. 21).

En las rocas encajantes especialmente en las graníticas, el cobre presenta una distribución unimodal con un modo bien definido en 70 ppm, el cual puede considerarse como valor normal. Se puede fijar el valor umbral en 200 ppm y anómalos los valores iguales o superiores a éste, los cuales varían entre 200 y 15.000 ppm.

La distribución de cobre en filones es sensiblemente unimodal con un modo en 200 ppm, el cual puede corresponder al valor normal. Como umbral puede considerarse un valor de 500 ppm y por encima de éste, los valores anómalos, que alcanzan hasta 20.000 ppm.

MOLIBDENO

Los histogramas muestran la distribución de molibdeno y su relación con el tipo de roca (fig. 22).

En las rocas encajantes, aproximadamente 60% de los valores está por debajo de 5 ppm, valor que puede considerarse como normal. El valor umbral puede fijarse en 15 ppm, y los valores iguales o superiores, los cuales se consideran anómalos, alcanzan valores máximos de 700 ppm.

La distribución de molibdeno en filones es aproximadamente unimodal con un modo en 15 ppm que se fijó como valor normal. Como umbral 50 ppm y los valores entre éste y 1.000 ppm se consideran como anómalos.

PLOMO

Los histogramas muestran la distribución de plomo y su relación con el tipo de roca (fig. 23).

Dentro de las rocas encajantes los histogramas de plomo en el sedimentario y metamórfico no muestran mayor significación. Los pórfidos y granitos muestran una distribución unimodal del elemento con un modo en 15 ppm que puede tomarse como valor normal. Como umbral puede considerarse un valor de 50 ppm y como anómalos, los valores iguales o superiores a éste, los cuales alcanzan un máximo de 1.500 ppm.

En los filones, la distribución es aproximadamente unimodal con un modo en 70 ppm que se puede tomar como valor normal. El valor umbral puede fijarse en 200 ppm y por encima de éste se consideran valores anómalos con un máximo de 15.000 ppm.

ZINC

Debido al alto límite de detección del zinc por espectrografía (200 ppm) únicamente se obtuvieron valores para el 7.6%, de las muestras consideradas. El 3.4%, corresponde a las rocas encajantes que muestran variaciones entre 200 y 3.000 ppm, presentándose los valores más altos en las rocas ígneas.

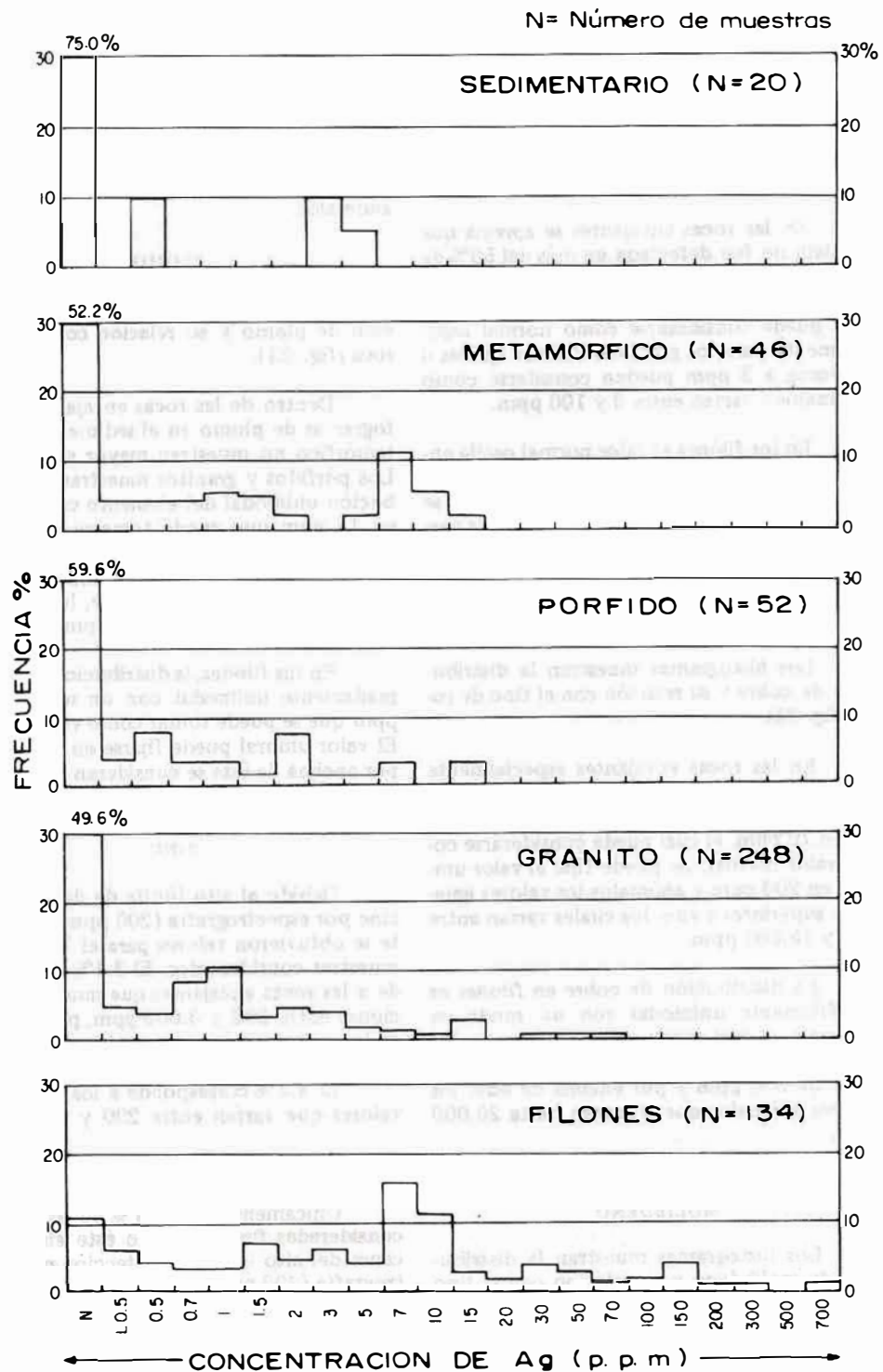
El 4.2% corresponde a los filones con valores que varían entre 200 y 2.000 ppm.

ARSENICO

Únicamente en el 17% de las muestras consideradas fue detectado éste elemento a causa del alto límite de detección por espectrografía (200 ppm).

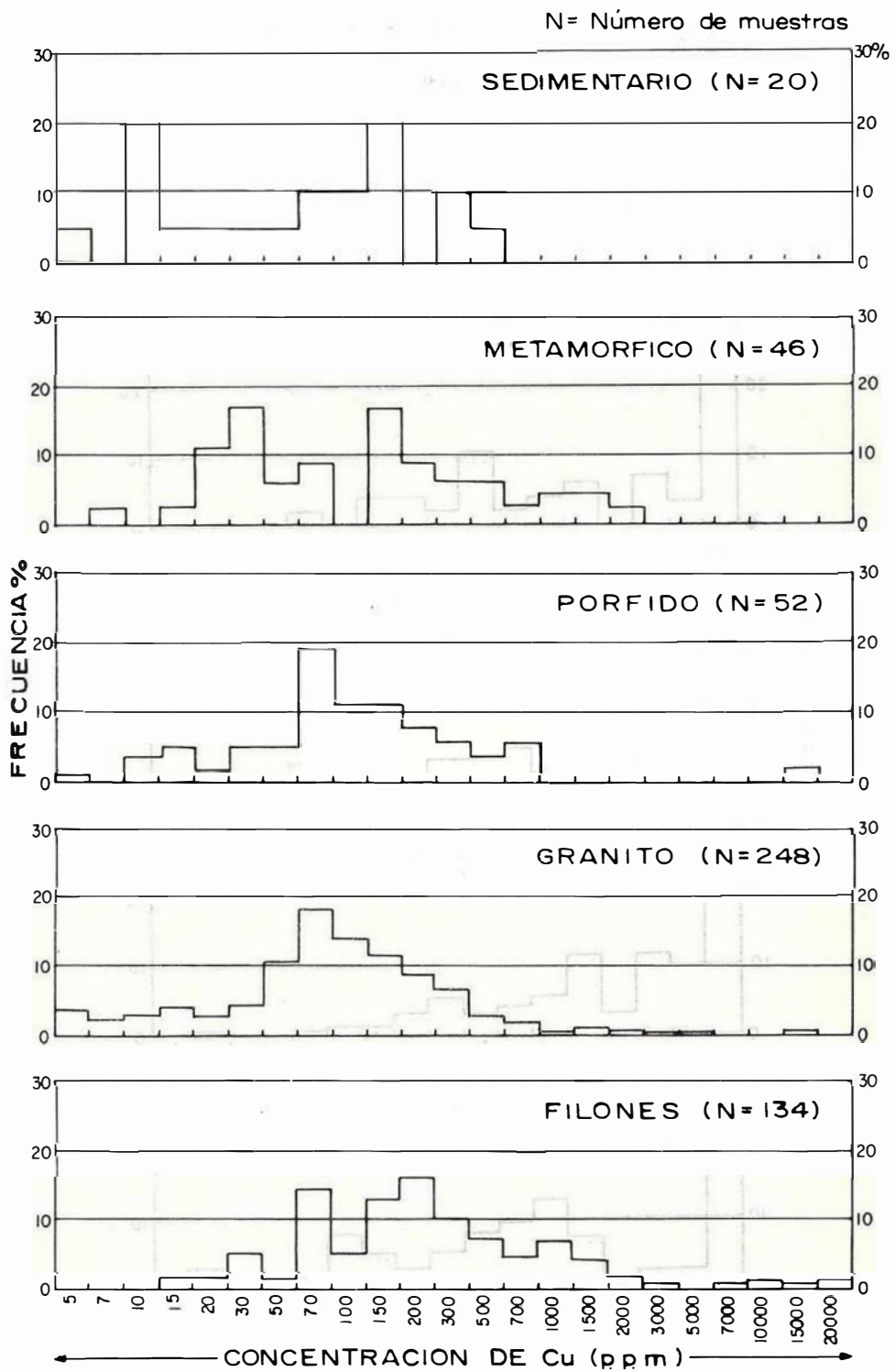
El 6.4% corresponde a las rocas encajantes con valores que varían entre 200 y 3.000 ppm. Los valores más altos corresponden a las rocas ígneas, mientras que en el sedimentario no se detectó arsénico.

El 10.6% corresponde a los filones con variaciones entre 200 y 5.000 ppm.



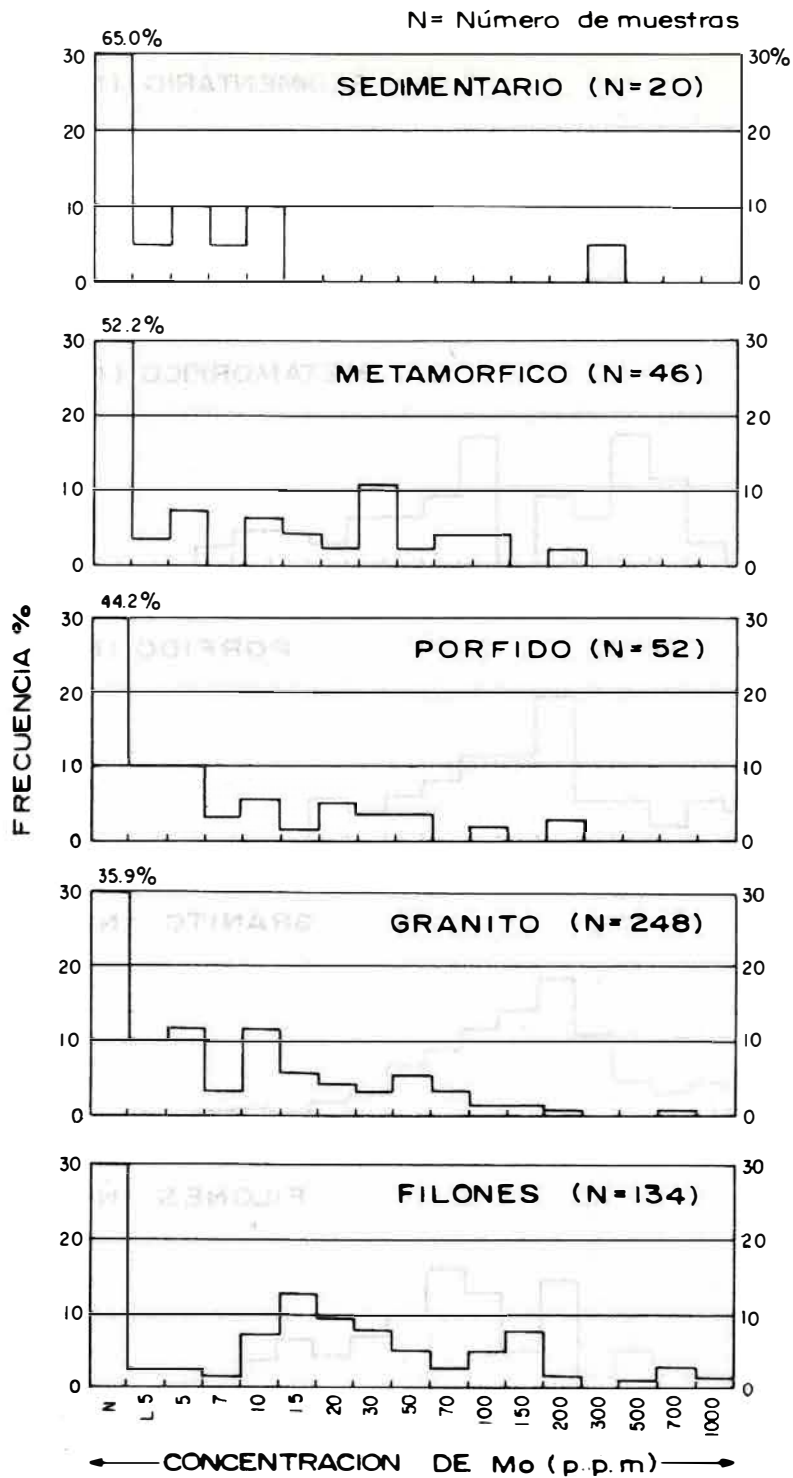
Límite de detección 0,5 ppm
(L 0,5: Elemento detectado pero por debajo del límite de determinación)

FIGURA 20. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE PLATA Y SU RELACION CON EL TIPO DE ROCA. DETERMINACION ESPECTROGRAFICA



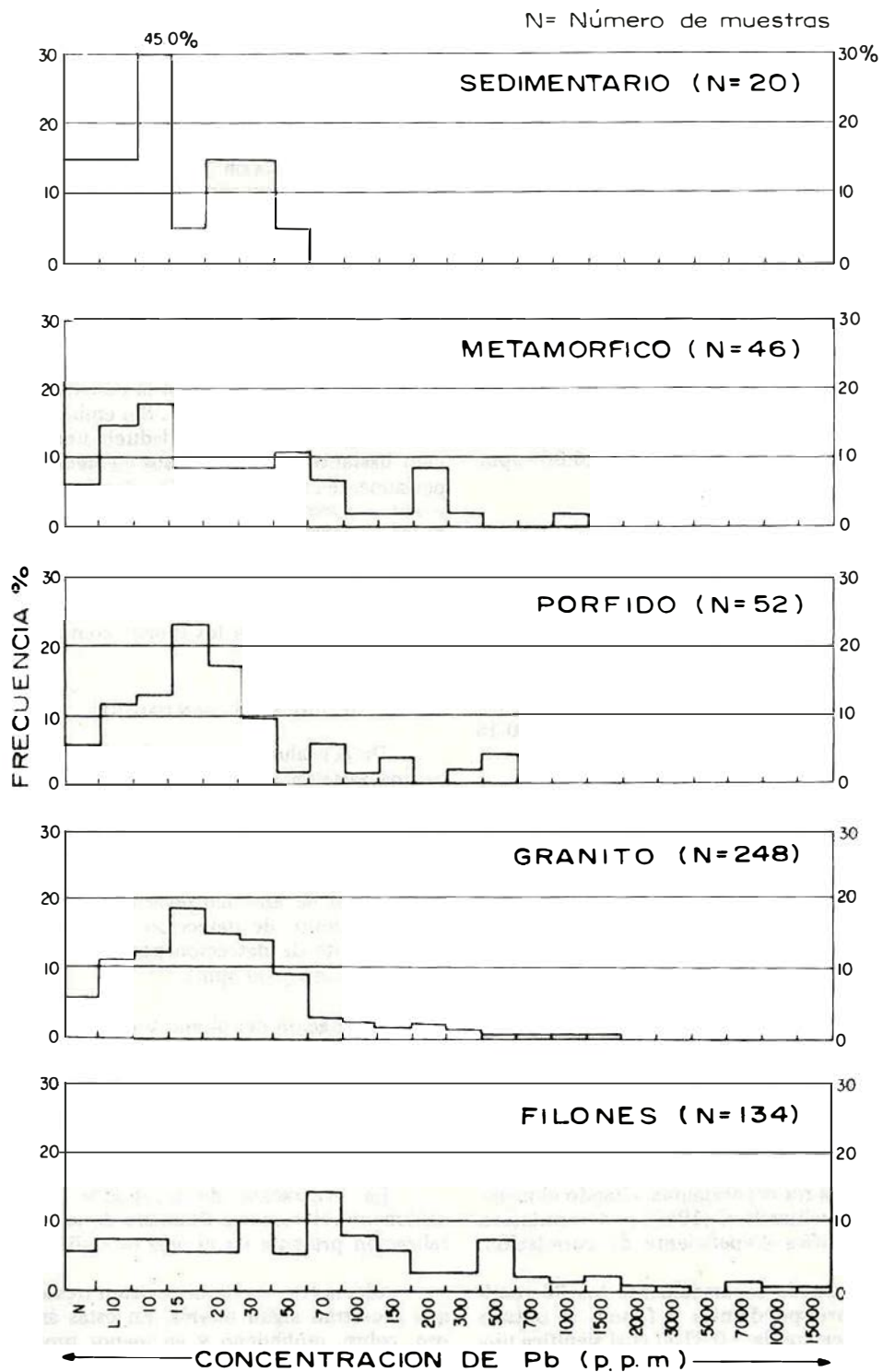
Límite de detección 5 ppm

FIGURA 21. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE COBRE Y SU RELACION CON EL TIPO DE ROCA. DETERMINACION ESPECTROGRAFICA



Límite de detección 5 ppm
(L 5: Elemento detectado pero por debajo del límite de determinación)

FIGURA 22. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE MOLIBDENO Y SU RELACION CON EL TIPO DE ROCA. DETERMINACION ESPECTROGRAFICA



Límite de detección 10 ppm
(L 10: Elemento detectado pero por debajo del límite de determinación)

FIGURA 23. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE PLOMO Y SU RELACION CON EL TIPO DE ROCA. DETERMINACION ESPECTROGRAFICA

ANTIMONIO

El límite de detección por espectrografía para este elemento es de 100 ppm. Por encima de este límite, el antimonio fue detectado únicamente en el 3.2% de las muestras consideradas.

El 0.6% corresponde a las rocas ígneas, con valores entre 100 y 200 ppm. Este elemento no fue detectado en rocas metamórficas y sedimentarias.

El 2.6% restante corresponde a los filones donde este elemento presenta valores entre 100 y 700 ppm. Una muestra de filón mostró un valor excepcional de 10.000 ppm.

MERCURIO

Un total de 91 muestras de roca fueron analizadas para mercurio, por detector. Se detectó el elemento en el 71% de las muestras consideradas.

El 28% corresponde a las rocas encajantes con valores que varían entre 0.1 y 6.9 ppm, con un promedio aritmético de 0.15 ppm.

El 43% corresponde a los filones con variaciones del elemento entre 0.1 y 32.5 ppm, con un promedio aritmético de 1.57 ppm.

CORRELACION DE ORO CON OTROS ELEMENTOS

ORO-MERCURIO

El diagrama de correlación Au: Hg muestra la relación directa que existe entre estos dos elementos (fig. 24). El diagrama se construyó en base a 50 resultados, para los cuales se obtuvieron valores de oro y mercurio simultáneamente; 30 corresponden a filones y 20 a rocas encajantes. Usando el método de Lepeltier H. C (1969) se determinó en forma gráfica el coeficiente de correlación.

Tratando separadamente los 30 resultados correspondientes a filones se obtuvo un coeficiente de +0.87 el cual significa una relación directa de los dos elementos.

Tomando conjuntamente los 50 resultados correspondientes a los filones y rocas encajantes se obtuvo un coeficiente de +0.88 el cual ratifica la marcada dependencia de

los dos elementos, lo cual sugiere que en condiciones similares un elemento puede ser usado como guía para el otro.

Esta conclusión puede ser una ayuda valiosa en el trabajo de prospección geoquímica que actualmente se adelanta en el área de Cachimí y que prácticamente es una prolongación del presente trabajo.

ORO-PLATA

Los métodos diferentes de análisis para los dos elementos dificultan la construcción del diagrama de correlación. Sin embargo de los histogramas se puede deducir una relación bastante directa de estos elementos especialmente en los filones. La relación Au:Ag varía aproximadamente, de 1:5 a 1:7 para las muestras consideradas. En las rocas encajantes la relación es menos evidente y solamente en el área de La Angostura (Plancha 2) se nota una relación bastante directa de oro y plata tanto en los filones como en la roca encajante.

ORO-ARSENICO-ANTIMONIO

De la evaluación de resultados se deduce una relación muy marcada de estos tres elementos especialmente en los filones. El arsénico puede usarse como elemento guía en la prospección geoquímica para oro que se lleva a cabo en el área de Cachimí. Para la determinación de arsénico debe usarse colorimetría, (Límite de detección: 10 ppm) ya que el límite de detección por espectrografía es muy alto (200 ppm).

La relación del plomo y el zinc con el oro es poco marcada aunque se aprecia que conjuntamente con el oro, estos dos elementos muestran sus valores más interesantes dentro de los filones.

EVALUACION DE LAS ANOMALIAS

La evaluación de resultados define claramente el carácter filoniano de la mineralización presente en el área de California.

Además de los filones existen tres áreas que muestran algún interés. En estas áreas, oro, cobre, molibdeno y en menor proporción plata, se encuentran en filones y localmente diseminados en la roca encajante la cual muestra señales de alteración hidrotermal. Estas áreas han sido determinadas como anomalías de La Angostura, San Antonio y El Chorrerón (Planchas 2, 3 y 4).

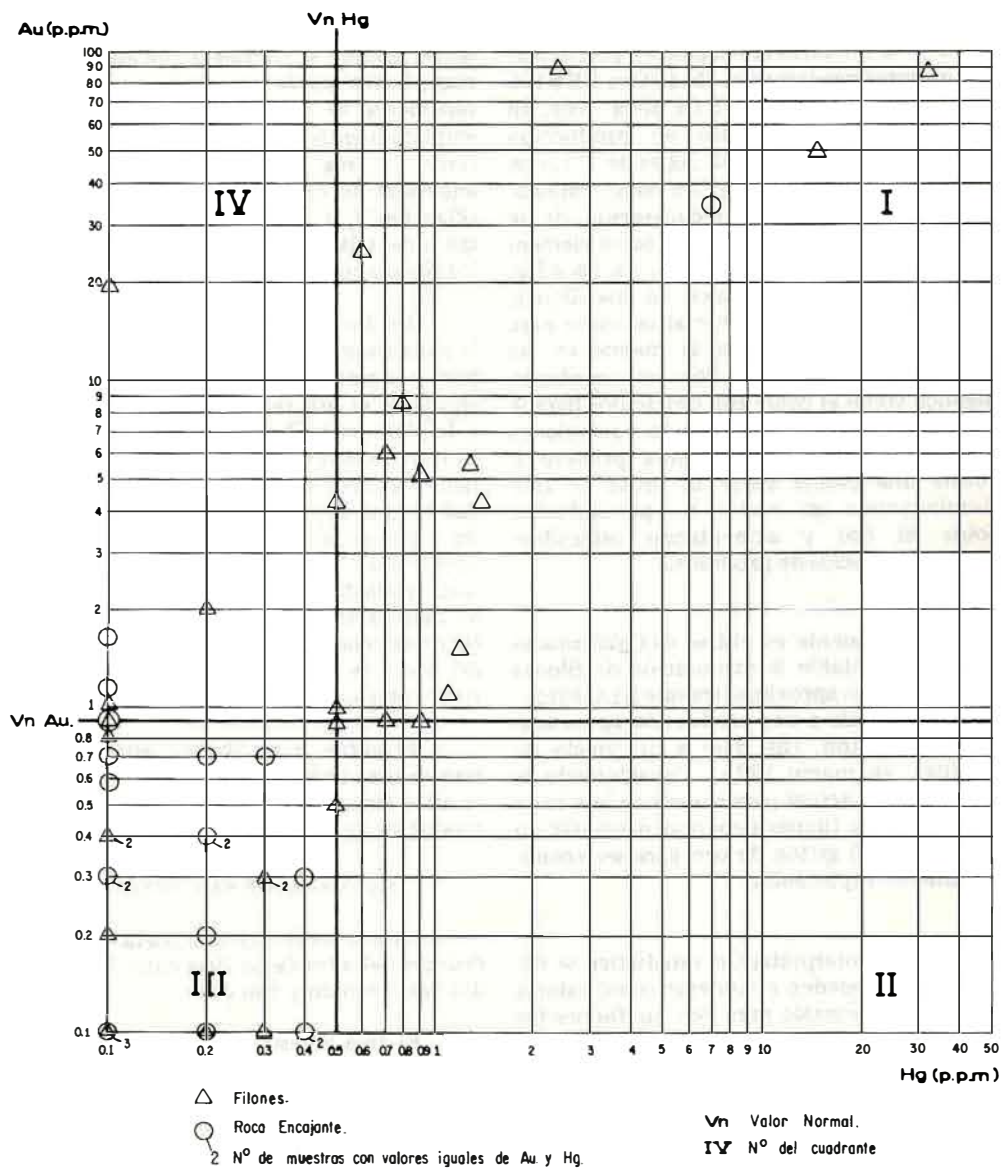


FIGURA 24. DIAGRAMA DE CORRELACION Au: Hg PARA 50 MUESTRAS DE FILO-
 NES Y ROCA ENCAJANTE

FILONES

De los resultados obtenidos, los filones del área de California se pueden considerar como típicamente auro-argentíferos.

La relación de tenores Au: Ag se calcula de 1: 5 mientras la relación en precio Au: Ag es aproximadamente 35:1 (Oro US \$165 onza troy y plata US\$ 5.02 onza troy, en marzo 1975). Por tanto en producción económica la relación Au: Ag es de 7:1, con lo que el distrito se clasifica como eminentemente aurífero con recuperación de la plata como subproducto. Los otros elementos analizados, Cu, Mo, Pb, Zn, As, Sb y Hg, muestran valores anómalos en los filones, pero no lo suficientemente altos como para intentar su recuperación al menos en las condiciones actuales. Por el contrario algunos como el cobre son obstáculos para la recuperación del oro de las soluciones cianuradas. El cobre precipita primero y forma una pátina sobre la viruta de zinc disminuyendo su poder de precipitación sobre el oro y aumentando ostensiblemente los precios de producción.

Actualmente en el área de California se considera rentable la explotación de filones que produzcan aproximadamente \$1.000/ton, lo cual equivale a una producción aproximada de 6 gr/ton. (En base a un precio de \$170/gr, en marzo 1975). Considerando la recuperación actual para el distrito que es de un 60% , los filones deberían presentar un tenor de 10.0 gr/ton de oro para ser económicamente explotables.

De la interpretación estadística se dedujo que se pueden considerar como valores realmente anómalos para oro en filones los que sobrepasan 7 ppm o en otras palabras 7 gr/ton. Con un 60% de recuperación filones con un tenor de aproximadamente 11.6 gr/ton, serían económicamente explotables.

Como se aprecia, estos resultados obtenidos estadísticamente se acercan bastante a la realidad, demuestran la eficiencia del método y ofrecen una valiosa ayuda en la planeación y ejecución en los futuros programas de prospección geoquímica para oro que se lleven a cabo en condiciones geológicas similares.

ANOMALIA DE LA ANGOSTURA

La anomalía está localizada al noreste de La Angostura en inmediaciones de la quebrada La Perezosa. La zona muestra evidencias de alteración hidrotermal consistente en una fuerte silicificación acompañada de sericitación y argilización de la roca encajante, aunque se considera que estas dos últimas pueden ser de carácter supergénico. Posiblemente se trata de un evento previo al emplazamiento de los filones auro-argentíferos. El área se definió en base a valores anómalos de oro, plata, cobre y molibdeno (Planchas 2, 3 y 4). Estos elementos presentan una relación bastante directa tanto en los filones como en la roca encajante.

En los filones incorporados dentro de la zona anómala el oro varía entre 4.8 y 25.8 ppm y la plata entre 7 y 300 ppm. En la roca encajante el oro varía entre 0.4 y 19.2 ppm y la plata entre 7 y 1.000 ppm. Los valores incluso dentro de la roca encajante son bastante elevados y hacen pensar en la posibilidad de una explotación a cielo abierto. Esto sin embargo estaría sujeto a las siguientes condiciones: 1) Realización de un muestreo más detallado del área incluyendo muestras de perforación. 2) Mejoramiento de los métodos actuales de extracción y recuperación del oro y la plata y 3) Incremento progresivo del precio de estos dos metales.

El cobre y molibdeno aunque muestran valores anómalos no son suficientemente altos aún para ser considerados como subproductos de una posible explotación.

ANOMALIA DE SAN ANTONIO

La anomalía está localizada en los alrededores del sitio de La Baja entre las quebradas San Antonio y San Juan.

El área muestra igualmente indicios de alteración hidrotermal, esencialmente silicificación. Un hecho interesante en esta zona es la presencia de minerales de uranio en el filón de San Celestino.

El área se limita en base a valores anómalos de oro, cobre y molibdeno. Los valores anómalos de plata cubren un área muy reducida (Planchas 2, 3 y 4). Dentro del área, los valores de oro son bajos comparados con los de La Angostura mientras se nota un incremento en el contenido de cobre y molibdeno. En los filones el cobre varía de 200

a 15.000 ppm y el molibdeno de 50 a 150 ppm mientras en la roca encajante se presentan valores de 200 a 2.000 ppm de cobre y de 15 a 100 ppm de molibdeno. El oro muestra valores de 0.3 a 9.3 ppm en filones y de 0.1 a 1.2 ppm en las rocas encajantes. De estos valores se deduce que el área es esencialmente anómala para cobre.

La Nippon Mining Company (Report of Prospection of the California Mines, July 1967; Informe en los archivos del Servicio Geológico Nacional Bogotá), calculó las reservas en 40.400 toneladas de mineral de cobre con tenor de 1.24 % , en el área de San Antonio.

Las reservas parecen insuficientes para considerar el área como depósito económico de cobre y por el momento no se justifican nuevos trabajos de prospección.

ANOMALIA DEL CHORRERON

Localizada en la quebrada Chorrerón unos 2 km al noreste del municipio de California.

En el área aflora una roca granítica con variaciones a facies porfiríticas. Se observa una fuerte silicificación acompañada de metalización; esencialmente consiste de piritita y menor proporción de calcopirita y bornita. No se detectó la presencia de filones auro-argentíferos similares a los de las áreas de San Antonio y La Angostura.

El área se limitó en base a valores anómalos de cobre el cual muestra en la roca variaciones entre 300 y 15.000 ppm y molibdeno con valores entre 15 y 300 ppm. El oro muestra valores relativamente bajos comparados con los de San Antonio y La Angostura y varía entre 0.1 y 0.4 ppm. La plata prácticamente desaparece como elemento anómalo (Planchas 2, 3 y 4).

En la Quebrada Tiguari, 1 km al noreste del Chorrerón se presentan condiciones similares siendo posible que la anomalía se extienda a algunos sitios comprendidos entre estas dos quebradas. Esto se infiere por la presencia de suelos altamente limoníticos y la silicificación acompañada de abundante piritita vista en bloques rodados y en los escasos afloramientos existentes en el área.

El área en general muestra fuerte piritización pero los sulfuros de cobre son

muy escasos y locales. Esto se refleja en la zona de oxidación donde los productos secundarios de cobre son muy esporádicos. Podría intentarse un muestreo de las limonitas para analizar su contenido de cobre y determinar si fue derivada de sulfuros de cobre.

La zona anómala aunque muestra algunos aspectos interesantes no parece ser la expresión de un depósito económico para cobre.

ZONACION

De la evaluación de las anomalías se puede inferir cierta zonación de los elementos dentro del área de California. En la parte noreste, zona de La Angostura, el oro y la plata son elementos predominantes y cobre y molibdeno aparecen subordinados. En la zona central, área de La Baja, se observa una notable reducción en los valores del oro y los valores de plata son muy bajos y solo aparecen localmente, en tanto que el cobre y molibdeno llegan a ser elementos importantes. Al suroeste, área del Chorrerón, el oro está completamente subordinado, la plata prácticamente desaparece y cobre y molibdeno son los elementos más importantes. Más al suroeste en las inmediaciones del Río Vetas las anomalías son casi exclusivamente de molibdeno.

CONCLUSIONES

1. El área de California es un ejemplo de mineralización hidrotermal auro-argentífera con carácter típicamente filoniano. Con excepción de los filones, en las actuales condiciones de beneficio el resto de mineralización primaria es subeconómica, aun cuando con métodos adecuados de tratamiento podría intentarse la recuperación de subproductos como cobre, plomo y zinc.
2. La presencia de zonas hidrotermales alteradas y la adición de pequeñas cantidades de minerales de cobre, molibdeno, plomo, zinc, arsénico, antimonio y mercurio, asociados con el oro y la plata, sugieren que la metalización está relacionada con una fuente magmática subyacente, expresada en superficie como diques y pequeños stocks de roca porfirítica.
3. Un control físico-químico reguló la distribución de los fluidos mineralizantes. El principal período de mineralización se

relaciona al menos espacialmente con fallas post-intrusivas. Los diagramas rosa para filones y fracturas comprueban una asociación entre control estructural y mineralización filoniana. La alteración de la roca encajante, principalmente silicificación y sericitación, demuestra la importancia de los procesos químicos durante la depositación de las soluciones.

4. El contenido metálico en las rocas encajantes de filones mineralizados demuestra una dispersión de oro, plata, cobre, molibdeno, plomo y zinc, desde las venas hacia la roca. Una distribución espacial (District zoning) de estos elementos se presenta en la zona estudiada.

5. El principal mecanismo durante la depositación de las soluciones minerales fue el relleno de aberturas, acompañado por un ligero reemplazamiento. Las fisuras corresponden a sistemas de fractura que han sido reabiertos repetidamente, ocasionando brechación y permitiendo la entrada de los fluidos residuales.

6. En California la mineralización primaria, esencialmente ocurrió bajo condiciones mesotermales a epitermales, pudiendo ser contemporánea o posiblemente más joven que los cuerpos de pórfido con los cuales se muestra asociada.

7. La pirita y algo de arsenopirita son los principales portadores de oro, el cual aparentemente debe encontrarse como partículas de tamaño submicroscópico. Los resultados de los análisis sugieren que en zonas de oxidación adyacentes a filones mineralizados, el oro puede presentarse como pseudomorfo de hematita-goetita. Estas zonas sirven como guía durante la fase exploratoria inicial y suelen explotarse por presentar cierta proporción de oro libre.

8. Además de los filones, los resultados geoquímicos revelan la presencia de 3 áreas de interés, definidas en base a valores anómalos de oro, plata, cobre y molibdeno, tanto en los filones como disseminados en la roca encajante. Estas corresponden a las anomalías de La Angostura, San Antonio y Chorrerón. La primera eventualmente podría ser explotada a cielo abierto previa realización de trabajos más detallados de prospección. En Chorrerón llama la atención la alteración hidrotermal y los esporádicos valores de cobre.

9. La evaluación de los resultados geoquímicos demuestra la estrecha relación del oro con elementos tales como mercurio, arsénico y antimonio. De estos el arsénico parece el más indicado para ser utilizado como elemento guía en la prospección de oro bajo condiciones geológicas similares. Esto puede ser de gran ayuda en el área de Cachirí donde actualmente se adelantan trabajos de prospección geoquímica por parte del INGEOMINAS.

BIBLIOGRAFIA

BARNES, H.L. ed., 1967.- *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits: New York, Holt, Rinehart and Winston, Inc.*, 670 p.

BATEMAN, A.M., 1961.- *Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico: Barcelona, Ed. Omega*, 975 p.

BOYLE, R.W., 1969.- *Hydrothermal Transport and Deposition of Gold: Econ. Geol. v. 64, p. 112-115.*

BRIANT, D.G., and METZ, H.E., 1971.- *Geology and Ore Deposits of the Warren Mining District, in Geology of the Porphyry Copper Deposits Southwestern North America: Univ. Arizona Press, Third Printing, p. 189-203.*

BUENO, J.A., 1955a.- *Yacimientos de Uranio y otros Metales en la Región de La Baja, Municipio de California, Depto. de Santander: Colombia, S.G.N., Bol. Geol. v. III, No. 3, p. 1-83.*

—, 1955b.- *Estudios Preliminares de Tratamiento del Mineral Urano-argentífero de San Celestino: Colombia, S.G.N., Bol. Geol. v. III, No. 3, Anexo 3, p. 1a-21a.*

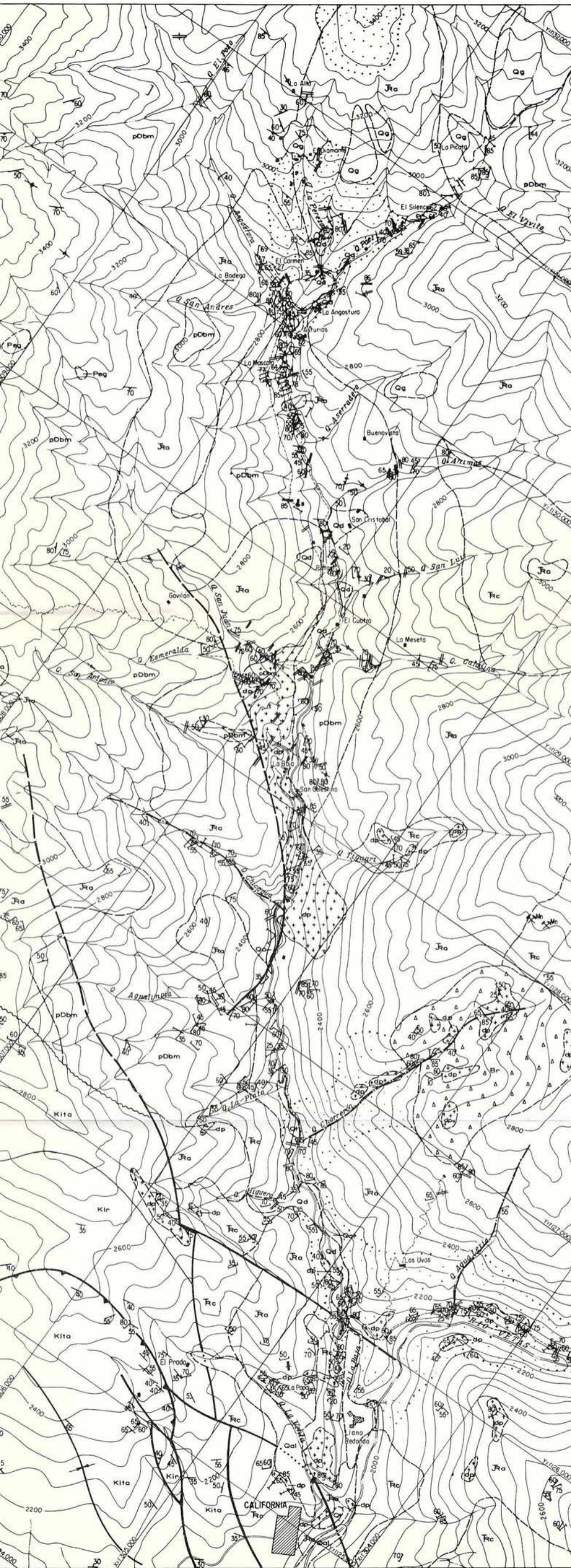
CLOKE, P.L. and KELLY, W.C., 1964.- *Solubility of Gold Under Inorganic Supergene Conditions: Econ. Geol., v. 59, p. 259-270.*

CHAMPETIER DE RIBES y ALVAREZ A., 1961.- *Informe de la Comisión de Reconocimiento en la Región California-Vetas, Depto. de Santander: Colombia, S.G.N., Inf. 1374, 18 p.*

DUARTE, A.H., 1966.- *Las minas de Oro en Santander y sus Posibilidades: U.I.S. (Colombia). Cimet, v. 2, No. 2, p. 12-16.*

- GUERRA C., DUARTE H. y HERNANDEZ H., 1971.- *Desarrollo Minero California y Vetas. Tecnificación Mina "Reina de Oro": III Congreso Nacional de Minería, U.I.S. (Colombia). Memorias tomo II, p. 50-73.*
- HAMILTON, W. and MYERS, B., 1967.- *The Nature of Batholiths: U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 554-C, 29 p.*
- HAWKES, H.E. and WEBB, J.S., 1962.- *Geochemistry in Mineral Exploration: New York, Harper and Row, 415 p.*
- HELGESON, H.C. and GARRELS, R.M., 1968.- *Hydrothermal Transport and Deposition of Gold: Econ. Geol., v. 63, p. 622-635.*
- JULIVERT, M. y TELLEZ, N., 1963.- *Sobre la Presencia de Fallas de Edad Precretácica y Post-Girón (Jura-Triásico) en el Flanco Oeste del Macizo de Santander (Cord. Oriental, Colombia): U.I.S. Bol. de Geología No. 12, p. 5-17.*
- JULIVERT, M. et al, 1968.- *Lexique Stratigraphique International Amerique Latine: Centre National de La Recherche Scientifique, v. V, fascicule 4 a Colombie (Premiere partie), 615 p.*
- KESLER, STEPHEN, E., 1972.- *Copper, Molybdenum and Gold Abundances in Porphyry Copper Deposits: Econ. Geol. v. 67, p. 106-112.*
- LEPELTIER, C., 1969.- *A Simplified Statistical Treatment of Geochemical Data by Graphical Representation: Econ. Geol., v. 64, p. 538-550.*
- LOWELL, J.D. and GUILBERT, J.M., 1970.- *Lateral and Vertical Alteration Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits: Econ. Geol., v. 65, p. 373-408.*
- MAUREL, C., 1973.- *Mechanism of Hydrothermal Sphalerite Galena Replacement at 300°C: Econ. Geol., v. 68, p. 665-670.*
- MEYER, CH. and HEMLEY, J., 1967.- *Wall Rock Alteration, in Barnes H.L. ed., Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits: New York, Holt, Rinehart and Winston, Inc., p. 166-235.*
- NIPPON MINING CO., LTD., 1967.- *The Report of the Prospection of the California Mine: Unpublished Company Report.*
- PATTON, T.C., GRANT, A.R. and CHENEY E.S., 1973.- *Hydrothermal Alteration at the Middle Fork Copper Prospect, Central Cascades, Washington: Econ. Geol. v. 68, p. 816-830.*
- PAGGNACO, P.F., 1962.- *Estudio Mineralogénico del Filón Uranífero San Celestino (California, Santander): Colombia, U. Nat., Geología Colombiana, No. 1, p. 45-54.*
- PARK, CH.F. and McDIARMID, R.A., 1970.- *Ore Deposits: San Francisco, W.H. Freeman and Company, Second Edition, 522 p.*
- PETERSON, DONALD W., 1961.- *Igneous Rocks Classification: Washington, A. G.I., Geotimes, v. 5, No. 1.*
- RADKE, A.S. and SCHNEINER, B.J., 1970.- *Studies of Hydrothermal Gold Deposition (I). Carlin Gold Deposit, Nevada: The Role of Carbonaceous Materials in Gold Deposition: Econ. Geol., v.65, p. 87-102.*
- RESTREPO, V., 1937.- *Estudio sobre las Minas de Oro y Plata de Colombia: Escuela Nacional de Minas, Medellín, Anales No. 43.*
- ROSE, ARTHUR W., 1970.- *Zonal Relations of Wallrock Alteration and Sulfide Distribution at Porphyry Copper Deposits: Econ. Geol., v. 65, p. 920-936.*
- STANTON, R.L., 1972.- *Ore Petrology: New York, McGraw Hill, 713 p.*
- STRINGHAM BRONSON, 1960.- *Differences Between Barren and Productive Intrusive Porphyry: Econ. Geol., v. 55, p. 1622-1630.*
- SILLITOE, R. H., 1973.- *The Tops and Bottoms of Porphyry Copper Deposits: Econ. Geol., v. 68, p. 799-815.*
- TILLING, R.L., GOTTFRIED, D. and ROWE, J., 1973.- *Gold Abundance in Igneous Rocks: Bearing on Gold Mineralization: Econ. Geol., v. 68, p. 168-186.*

- TITLEY, S.R. and HICKS, C.L., 1971.- *Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America: The University of Arizona Press, Third Printing, 287 p.*
- VONRAHDEN, H.V., 1965.- *Apparent fineness Values of Gold from two Witwatersrand Gold Mines: Econ. Geol. v.60, p. 980-997.*
- WARD, D.E., GOLDSMITH, R., CRUZ, J., JARAMILLO L. y VARGAS, R., 1970.- *Mapa Geológico del Cuadrángulo H-13, Pamplona: Colombia. Ministerio de Minas y Petróleos -Inst. Nal. Inv. Geol. Min.*
- WARD, D.E., GOLDSMITH, R., CRUZ, J. y RESTREPO H., 1971.- *Recursos Minerales de Parte de los Departamentos de Norte de Santander y Santander: Colombia, Inventario Minero. Tomo III.*
- , GOLDSMITH, R., CRUZ, J. y RESTREPO H., in press, *Geology and Mineral Resources of the Southern Half Zone III, Santander and Boyacá, Colombia: Inst. Nal. Inv. Geol. Min., Bull.*
- WEBER, W. and STEPHENSON, J.F., 1973.- *The Content of Mercury and Gold in some Archean Rocks of the Rice Lake Area: Econ. Geol., v. 68, p. 401-407.*
- WELLS, J.D. and MULLENS, T.E., 1973.- *Gold-bearing Arsenian Pyrite Determined by Microprobe Analysis, Cortez and Carlin Gold Mines, Nevada: Econ. Geol., v. 68, p. 187-201.*
- WEISSBERG, B.G., 1970.- *Solubility of Gold in Hydrothermal Alkali Sulfide Solutions: Econ. Geol., v. 65, p. 551-556.*
- WHITE, W.H., 1943.- *The Mechanism and Environment of Gold Deposition in Veins: Econ. Geol., v. 38, p. 512-532.*
- WINKLER, H.G., 1967.- *Petrogenesis of Metamorphic Rocks, Revised 2nd ed., New York, Springer-Verlag, 237 p.*
- WOKITTEL, R., 1954.- *Recursos Minerales de las Zonas Alta, Baja y Vetas en el Municipio de California, Depto. de Santander: Colombia, S.G.N. Inf.1030.*



CONVENCIONES

ROCAS SEDIMENTARIAS

- Colas
- Aluvion
- Terraza
- Deposito glaci
- Derrubio

- Formación Rosablanca
- Formación Tambor

ROCAS IGNEAS

- Perfido Dacitico
- Pegmatita
- Alasquita
- Cuarzo Diorita

ROCAS METAMORFICAS

- Formación Bucoramanga (Migmatitas)

CONTACTOS

- Definidos en el campo
- Gradacionales o inciertos
- Discordantes
- FALLAS**
- Definidos en el campo
- Inferidos
- De cabalgamiento

DIACLASAS

- Inclina
- Verticales
- FILONES**
- Inclina
- Verticales

ESTRUCTURAS

- Anticinal
- Sinclinal

RUMBOS Y BUZAMIENTOS

- Medidos en el campo
- Inclina
- Verticales
- Invertidos

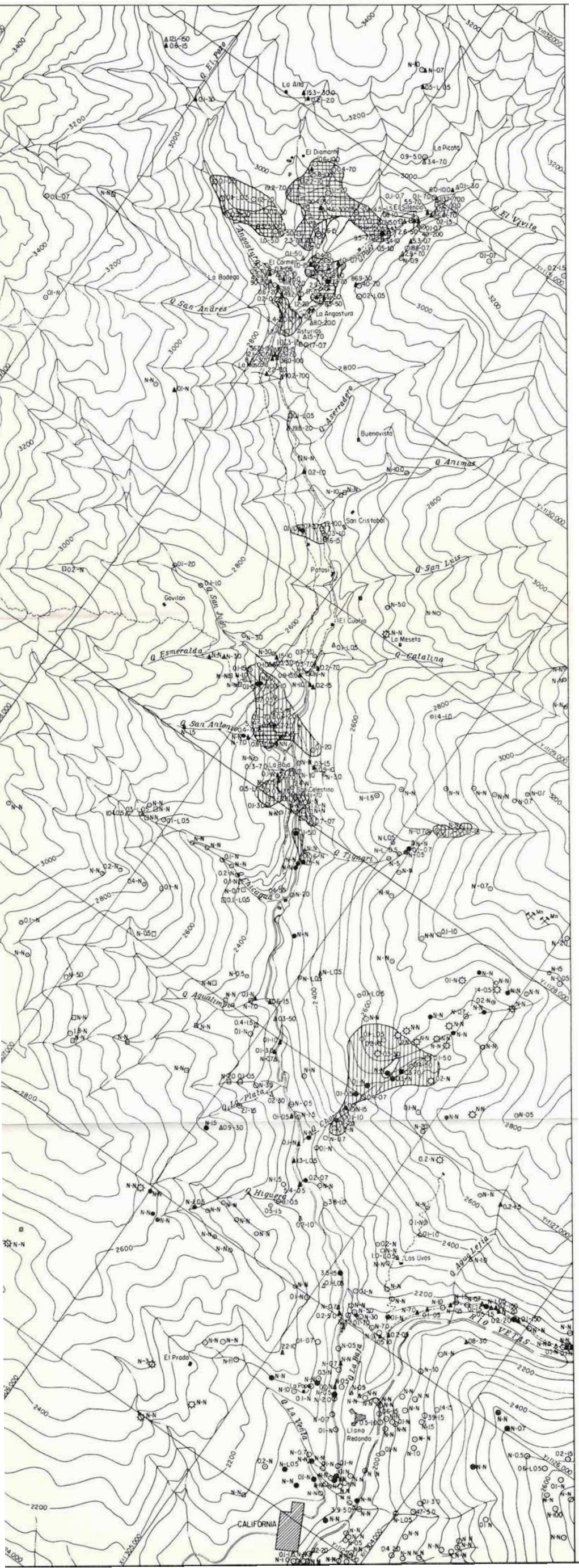
FOLIACIONES

- Inclina
- Verticales
- Lineamientos
- Diques
- Silicificación, alteración arcillosa
- Zona de brecha
- Mina de manganeso

0 100 200 300 400 500 600 Mts



MAPA GEOLOGICO DEL AREA DE CALIFORNIA



CONVENCIONES

Tipo de roca	⊛	Sedimentario
	⊠	Metamórfico
	●	Pórfido
	○	Granito
	⊠	Filones
	⊠	Zona de oxidación
	▲	Sulfuros primarios

▲ 53 20 El primer valor corresponde a Au en p.p.m(Absorción Atómica)-El segundo a Ag en p.p.m (Espectrográfico)

N Vaino no detectado

L Vaino detectado pero por debajo del límite de detección

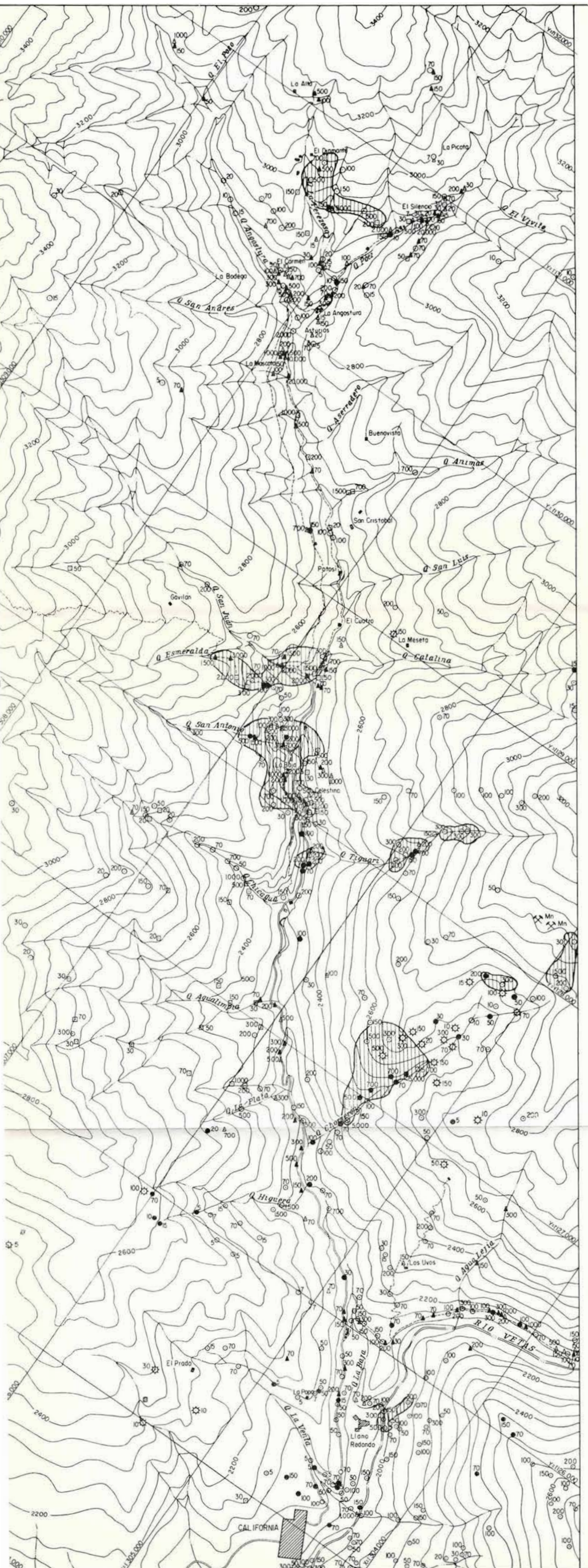
Areas dentro de las cuales las muestras de roca presentan valores anómalos	⊠	Filones Au ≥ 3 p.p.m
	⊠	Roca encajante Au ≥ 0.1 p.p.m
	⊠	Filones Ag ≥ 15 p.p.m
	⊠	Roca encajante Ag ≥ 3 p.p.m

⊠ Mn Mina de manganeso

100 200 300 400 500 600 Mts

PROSPECCION GEOQUIMICA DEL AREA DE CALIFORNIA

CONTENIDO DE ORO Y PLATA EN ROCAS



CONVENCIONES

- | | |
|--------------|----------------------|
| Sedimentario | ⊗ |
| Metamórfico | ⊠ |
| Porfído | ● |
| Granito | ○ |
| Filones | ⌢ |
| | △ Zona de oxidación |
| | ▲ Sulfuros primarios |

▲ 500 Valor de Cu. en ppm (Espectrografía)

Areas dentro de las cuales las mues - tras de roca presentan valores anómalos

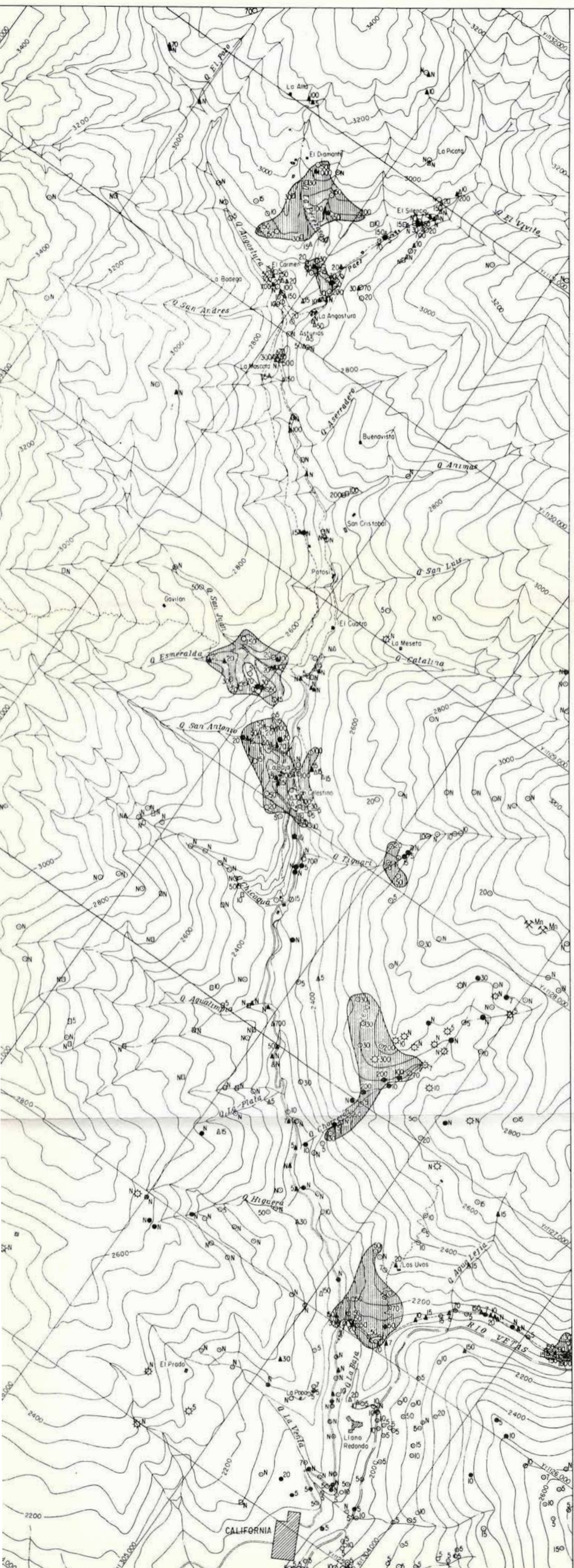
- | | |
|---|-------------------------------|
| ▨ | Filones Cu ≥ 500 p.p.m |
| ▩ | Roca encajante Cu ≥ 200 p.p.m |

✕ Mn Mina de Manganeso



PROSPECCION GEOQUIMICA
DEL AREA DE CALIFORNIA

CONTENIDO DE COBRE EN ROCAS



CONVENCIONES

GEOLOGICAS

Tipo de roca	Sedimentario	☆
	Metamórfico	B
	Porfido	●
	Granito	○
	Filones	⌈ Zona de oxidación
		⌋ Sulfuras primarias

▲ 100 Valor de Mo En p.p.m. (Espectrografia).

N Valor no detectado

L Valor detectado pero por debajo del límite de detección

Areas dentro de las cuales las muestras de roca presentan valores anómalos. (Shaded area) Filones Mo ≥ 50 p.p.m. Roca encajante Mo ≥ 15 p.p.m.

⌘ Mn Mina de manganeso

0 100 200 300 400 500 600 Mts.

PROSPECCION GEOQUIMICA DEL AREA DE CALIFORNIA

CONTENIDO DE MOLIBDENO EN ROCAS