INFORME DE INVESTIGACION GEOLOGICA

EN

AREA GRAN CHOCAYA, REPUBLICA DE BOLIVIA

VOL. I

(PRIMER AÑO)

FEBRERO DE 1980

METAL MINING AGENCY OF JAPAN

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

GOBIERNO DEL JAPON

PROLOGO

El Gobierno del Japón, de acuerdo con la solicitud de la República de Bolivia, decidió efectuar estudios relativos a la exploración minera como investigaciones geológicas a efecto de comprobar la existencia de recursos minerales en el área de Gran Chocaya, que se sitúa en la parte sur de este país, y encargó la ejecución de los estudios a la Japan International Cooperation Agency (JICA). Los estudios son de materias especiales pertenecientes a las investigaciones sobre geología y recursos minerales, por lo que la JICA pidió a la Metal Mining Agency of Japan (MMAJ) que los pusiera en ejecución.

Estos estudios, se realizarán por espacio de tres años, a partir de 1979. En el primer año la MMAJ envió una misión investigadora de seis miembros, y las investigaciones en el campo se realizaron desde el día siete de septiembre hasta el primero de noviembre de 1979.

Las investigaciones, se han concluido tal como estaban planeadas, gracias a la cooperacion de autoridades bolivianas, especialmente del Ministerio de Minería y Metalurgia y de la Corporación Minera de Bolivia.

El presente informe es fruto de las investigaciones efectuadas en el primer año, y formará parte del informe final, conjuntomente con los estudios de los años segundo y tercero.

Al terminar, queremos manifestar nuestro profundo agradecimiento a todas las personas, autoridades bolivianas a instituciones, a los Ministerios de Relaciones Exteriores y de Comercio Internacional e Industria del Japón, a la Embajada del Japón en Bolivia y todas las empresas privadas que nos cooperaron.

Febrero de 1980

Keisuke Arita
Presidente
Japan International Cooperation Agency

Masayuki Nishiie
Presidente
Metal Mining Agency of Japan

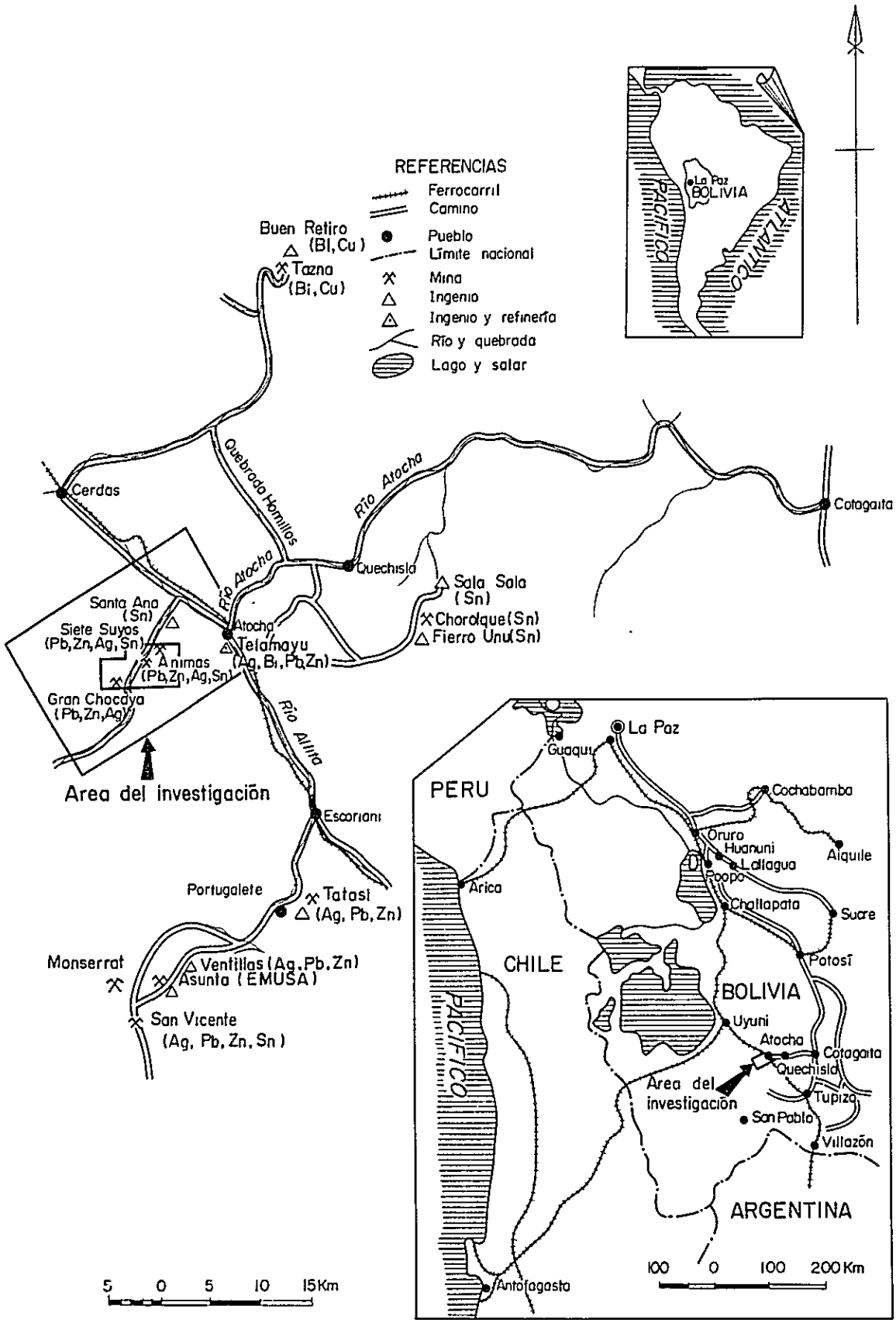


Fig. I Plano general del área de investigación

RESUMEN

En este primer año de la Investigación Geológica en Area Gran Chocaya, República de Bolivia, se efectuó la investigación geológica semidetallada en el área, objeto del proyecto que tiene una extensión de 280 km^2. Como el resultado de dicha investigación, se aclararon la geología, geología estructural, distribución de yacimientos y otros fenómenos geológicos que controlan la difusión de zonas mineralizadas y yacimientos. A base de ello se seleccionó una zona que parecía, con mucha posibilidad, encajonar yacimientos, en la cual se ha efectuado la investigación más detallada a efecto de obtener guías eficaces para la exploración de la siguiente etapa en dicha zona.

La presente área se sitúa en el borde Este del Altiplano en la parte Sur de la República. Presenta topografías plana y abrupta formada por la difusión de rocas volcánicas con la altura de 3,700 ~ 4,700 m sobre el nivel del mar. La precipitación anual es poca, y aunque pertenece a la zona tropical, por su altura elevada hay diferencia grande entre las temperaturas diurna y nocturna. Consiguientemente tiene un clima especial y se forman cerros medio desiertos o lomas que carecen de vegetación. En la presente área y su alrededor no se encuentran actividades productivas animadas, a excepción de minería, por lo que el desarrollo de la minería causa directamente la prosperidad del área misma.

La geología de la presente área de investigación consta de formación continental compuesta por toba y arenisca roja del Terciario que cubren ampliamente las partes Norte, Este y Noroeste del área; los sistemas Ordovícico y Cretácico de las partes Oeste y Este, y rocas volcánicas y piroclásticas que se distribuyen en la parte central. El Ordovícico forma el basamento siendo el estrato inferior de la presente área.

Referente a dicha geología estructural, en muchos casos, el Ordovícico y el Cretácico llevan ejes de pliegue en la dirección NNO-SSE; el Terciario indica rumbos del sistema NOO-SEE. Se observan fallas raramente, y principalmente existen en las partes Este y Oeste de la presente área, dividiendo el Ordovícico y el Cretácico. Pero alrededor de dichas fallas no se encuentran zonas mineralizadas.

Por otra parte, en las zonas encajonantes de yacimientos las fallas que se observan en el suelo superficial tampoco no están afectadas por mineralización. Por consiguiente, no se observan relaciones directas entre la geología estructural del área y la formación de fisuras.

La actividad volcánica occurrió en la presente área en la última edad de la época Miocena, sedimentando extensamente rocas volcánicas y piroclásticas en torno a Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya. Las rocas volcánicas son dacitas de la serie alcalina cálcica, y los yacimientos se ubican limitadamente en la extensión de éstas o rocas piroclásticas, por lo que la actividad volcánica y la formación de yacimientos tienen relaciones muy íntimas. Todas dichas rocas volcánicas, excepto diques muy raros, tienen forma de lavas, pero no se observan fenómenos geológicos que sugieren ubicación de cráteres, chimeneas volcánicas, etc. por los cuales éstas se derramaron, por lo tanto no está clara la parte central de dicha actividad. Sin embargo, según lo que se presume en consideración a la forma de su distribución y otros factores, había unos centros de la actividad volcánica rodeando Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya en forma circular, también había unos centros dentro de esta zona circular, y dicha actividad se trasladaron gradualmente desde dentro de la zona hacia fuera.

Los yacimientos se ubican concentradamente en dichas tres áreas formando una serie de zonas mineralizadas y alteradas. Fuera de dichas áreas no se han observado afloramientos que indiquen indicios de mineralización. Los presentes yacimientos son los que llenan fracturas de cizalla de

los dos sistemas de N50°E y N58°E. En lo relativo a los factores de formación de las fisuras, se considera que la compresión producida por la subida, intrusión y efusión de lavas, las cuales acompaña la actividad volcánica, accionó en la dirección N36°O-S36°E formando dichas fisuras. Pero, ello no se ha podido aclarar por la investigación en el campo, por lo que se ha realizado también la investigación en el interior de minas, y se ha inferido lo arriba mencionado en consideración también al resultado de ésta.

Los minerales metálicos se componen principalmente de galena argentífera, esfalerita, casiterita y calcopirita. Se acompañan estannina, pirargirita, franckeita, bismutita, pirita, arsenopirita y siderita. Además se produce un poco de bournonita, canfieldita, marcasita, pirrotina, bixbyita, magnetita y minerales polisulfúricos de plata-estaño- plomo-antimonio. Juzgando por los paragénesis de dichos minerales, los yacimientos de esta área pertenecen al tipo de los xenotermales. En dichos yacimientos, la veta más poderosa es la veta Colorada que tiene 2,000 m de largo en la dirección del rumbo y alcanza a 680 m de profundidad desde el suelo superficial. Existen unas vetas paralelas a ésta con unos 100 m de longitud a lo largo del rumbo. El área Gran Chocaya se sitúa en la parte contigua al Oeste de dichas zonas mineralizadas, y se desarrolla asiduamente.

La roca madre de los yacimientos se compone, desde la parte superior, de dacita de Animas, rocas piroclásticas y el Ordovícico, y en el último generalmente las vetas son poderosas.

Como resultado de la clasificación de zonas alteradas, la zona alterada que abarca Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya se ha dividido en cinco zonas a base de sus combinaciones de minerales. Alrededor de los yacimientos ya reconocidos, se encuentra la zona I (zona de caolinita y clorita mezcladas) cuyo grado de alteración es la más fuerte. Mientras, en torno a Gran Chocaya

se ubica la zona IV (zona desaparecida de caolinita) cuyo grado relativo es más bajo que los alrededores de Animas, pero pertenece a la categoría de zona alterada por mineralización.

En consideración a lo arriba mencionado, se ha concluido lo siguiente:

(1) El área de exploración se restringe sólo en la extensión de rocas volcánicas y piroclásticas.

(2) Los yacimientos se componen de vetas que llenan fisuras de cizalla de los dos sistemas. La dirección de su esfuerzo principal es casi vertical. Juzgando por ello, las fisuras se formaron por el movimiento en la dirección vertical. En el sistema Ordovícico, que se distribuye inferiormente, se transmite fácilmente la fuerza productora de fisuras por sus propiedades uniformes. Las vetas tienden a formarse establemente en este sistema.

(3) El Ordovícico es más compacto que su parte superior de dacita y rocas piroclásticas dacíticas, por lo que en éste se forman grietas fácilmente.

(4) Los yacimientos de la presente área no llevan afloramientos que contienen minerales metálicos, aun cuando se ubican vetas en la parte inferior, y en muchos casos se observan sólo zonas alteradas. Por consiguiente, si se observan zonas alteradas en el suelo superficial, hay mucha posibilidad de que existan yacimientos en la parte inferior. Esta posibilidad es especialmente grande en el sistema Ordovícico.

(5) Juzgando por la distribución de las zonas alteradas, se pueden mencionar como áreas prometedoras no desarrolladas, los alrededores de Gran Chocaya en la zona IV; la parte continuada de éstos, o sea, la parte prolongada al Suroeste de las vetas Burton y Colorada; la zona I (zona de caolinita y clorita mezcladas) y la zona III (zona de caolinita) situadas al Noroeste de los yacimientos ya reconocidos de Animas.

En conclusión, las áreas que deben de explorarse y los métodos sugestivos para su efectuación son como lo siguiente:

(1) El área Gran Chocaya: Esta área forma una amplia zona alterada, pero carece de datos sobre la parte inferior, por lo que se propone la exploración por sondeo después de haberse obtenido datos sobre la parte profunda, si es posible, por medio de la prospección geofísica del método IP, etc.

(2) La parte extendida al Suroeste de las vetas Burton y Colorada: Referente a la zona entre la parte ya explorada de Gran Chocaya y la parte desarrollada de Animas, se aconseja la efectuación del sondeo sin otras investigaciones anticipadas, a efecto de comprobar la mineralización de la parte inferior. Mientras tanto, la parte extendida al Suroeste de la veta Burton todavía no está desarrollada, por lo que será necesario obtener varios datos por la prospección geofísica del método IP antes de la exploración por el sondeo.

(3) La zona del lado Noroeste de los yacimientos reconocidos de Animas: Esta zona abarca la extensión con 1 km de diámetro cuyo centro es un punto situado a 500 m de distancia al Noroeste del cuadro Central. Esta zona se ubica cerca de la parte explorada de los yacimientos reconocidos, por lo tanto se propone la efectuación del sondeo inclinado en el interior de mina a fin de comprobar la mineralización en la parte profunda de la zona alterada.

(4) En lo que se refiere a la exploración hacia inferior de la parte ya explorada de las minas Animas y Siete Suyos, se aconseja la investigación geológica detallada de interior mina a efecto de aclarar detalladamente zonamientos de minerales paragenéticos, sistemas de fisura, relaciones entre rocas volcánicas y mineralización. Lo arriba mencionado sirve para inferir la parte central de mineralización, y consecuentemente, para

decidir un plan definitivo sobre la exploración de la parte profunda.

En consideración a las situaciones actuales de los trabajos de las minas Animas y Siete Suyos, se considera que es de primera importancia efectuar pronto las exploraciones arriba mencionadas y obtener más reserva de minerales.

CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS

LISTA DE PLANOS

APENDICES

DESCRIPCION GENERAL Y SUMARIO

CAPITULO 1 INTRODUCCION

1-1 Reseña histórica y objeto de la investigación

La República de Bolivia es uno de los principales países productores en la producción de estaño junto con Malaysia e Indonesia, y es país de estructura monocultiva cuya vida económica dependen mayormente de la producción de estaño. Pero debido a que cualquier variación de la cotización de dicho metal influía mucho sobre el estado financiero nacional, la constitución financiera es débil y se esperaba su mejoramiento. Por otra parte, para disminuir el costo de flete que actualmente tiene tendencia de constante aumento y para aumentar el valor agregado de los productos, resulta más conveniente para Bolivia tratar los minerales en sus propias plantas de fundiciones, por lo cual el gobierno boliviano ha venido fomentando la construcción de plantas de fundición en el país como la línea básica de la política minera. Como consecuencia de tales esfuerzos, se construyó una planta de fundición de estaño y continuamente planeó la refinación doméstica de otros minerales principales y lo están llevando a cabo paso a paso.

Como una serie de esta política minera, el gobierno boliviano planeó la construcción de planta de fundición de cinc y solicitó al gobierno japonés su cooperación técnica notando la alta técnica minera del Japón. El gobierno japonés, correspondiendo a dicha solicitud, envió una misión de investigación sobre la fundición de cinc y su infraestructura en 1975 y 1976.

El gobierno boliviano, para obtener materias primas de cinc, volvió a solicitar al gobierno japonés su cooperación técnica para la exploración y desarrollo de las zonas de minerales de cinc. El gobierno japonés envió una misión de investigación preliminar para ver la posibilidad y decidió

realizar exploraciones de zonas mineralizadas en la región Sur del país, incluyendo las minas San Vicente y Tatasí. Esta exploración duró tres años desde 1976 hasta 1978.

Mientras tanto, el gobierno boliviano solicitó al japonés su cooperación técnica también para la exploración de zonas mineralizadas en los alrededores de Gran Chocaya que queda al Norte de la región antes mencionada. Correspondiendo a esta solicitud, el gobierno japonés envió una misión de reconocimiento para hacer preparativos de la investigación en junio de 1979. Como resultado de la consulta con el gobierno boliviano y la Corporación Minera de Bolivia (en adelante se llamará COMIBOL), decidió efectuar la investigación en Gran Chocaya, Siete Suyos, Animas y en sus alrededores, donde se encuentra alta posibilidad de la existencia de yacimientos. Dicho objeto de investigación conjuntamente se denomina el área de Gran Chocaya.

El objeto de la presente investigación, por medio de la investigación geológica de yacimientos metálicos, comprende una área de unos 280 km^2 que abarca las minas Animas y Siete Suyos ubicadas al Oeste de Atocha del Departamento de Potosí en la República de Bolivia, y es verificar la geología y la geología estructural del área de investigación, aclarar el ambiente geológico en que se espera la existencia de yacimientos metálicos y partes mineralizadas, y conseguir guías útiles para las actividades de exploración de la siguiente etapa como selección de zonas de alta posibilidad para la existencia de yacimientos.

1-2 Reseña de los trabajos de la investigación (Véanse Figs. 1 y 2)

Los tabajos de la investigación se dividen en la investigación geológica semidetallada y la detallada. Después de realizar la investigación geológica semidetallada por toda el área del estudio, se seleccionó

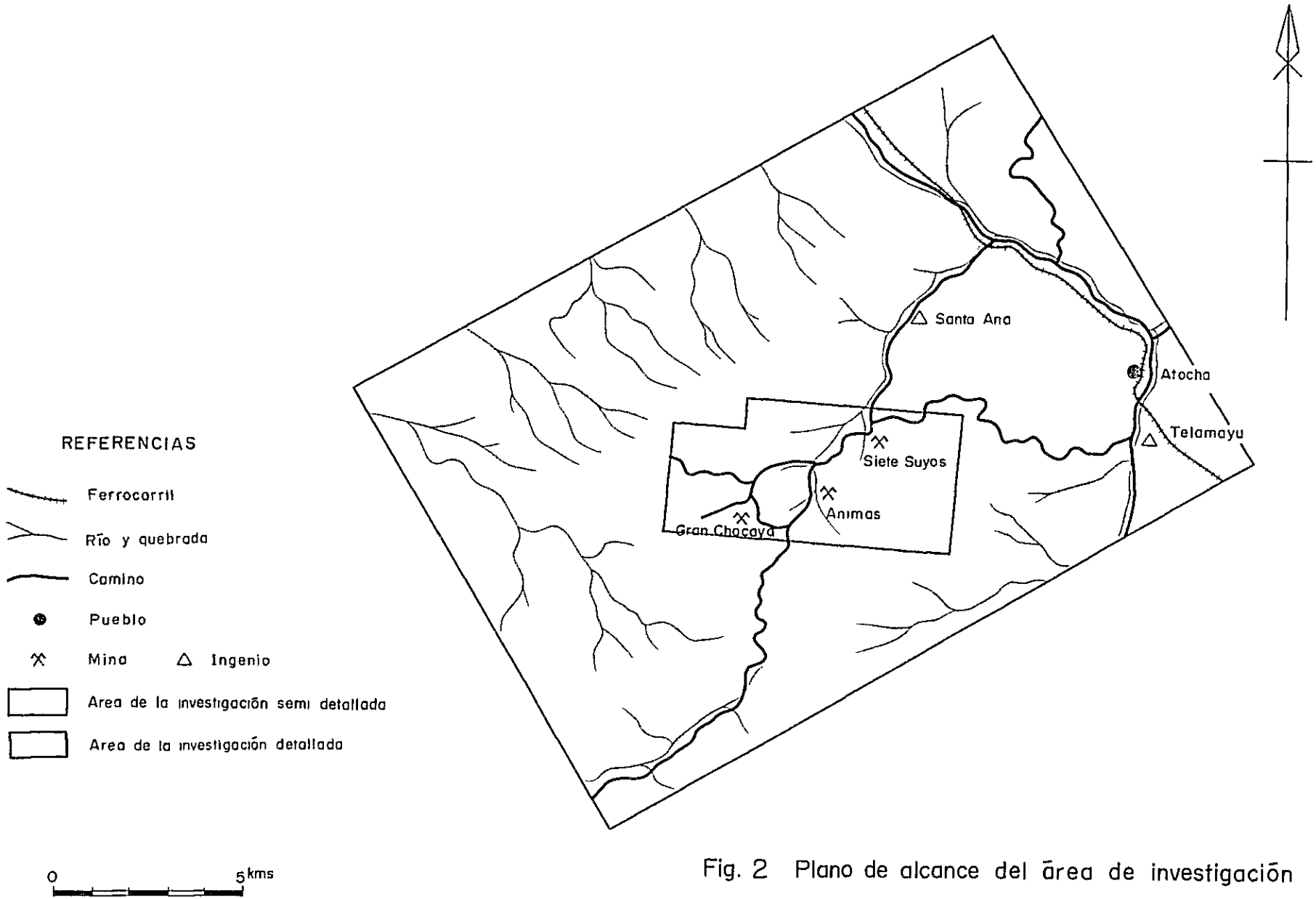


Fig. 2 Plano de alcance del área de investigación

una área de la investigación detallada según su resultado. El área proyectada de la investigación geológica semidetallada se extiende en una forma rectangular prolongada del Nordeste al Suroeste, como se ven en las Figs. 1 y 2, y comprende 280 km^2 (20 km x 14 km) de superficie abarcando toda la zona de Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya que tienen posibilidad de existir yacimientos.

Conforme al resultado de la investigación geológica semidetallada y el deseo de la Corporación Minera de Bolivia al negociar previamente, la investigación geológica detallada se proyectó estudiar sobre todo la parte Suroeste de Animas y el área de Gran Chocaya que comprenden áreas no exploradas dentro de las zonas mineralizadas de Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya como se expresa en la Fig. 2, y se seleccionaron esas áreas del estudio. El área de la investigación geológica detallada se encuentra prolongada de Este a Oeste en forma rectangular cubriendo una extensión de 30 km^2.

Las investigaciones semidetallada y detallada se realizaron por los miembros japoneses de la misión y los miembros bolivianos enviados por la Corporación Minera de Bolivia, y el plazo de exploración en el sitio de estudio duró 40 días a partir del día siguiente de la llegada a la mina Animas hasta el día anterior de la salida de la misma. La investigación se efectuó teniendo en cuenta bien los datos e informes anteriores en posesión de COMIBOL durante la investigación. En los trabajos se realizó sólo la investigación geológica de superficie y no la investigación geológica en interiores de minas, de modo que sobre el estudio de la mineralización nos referimos a varios datos presentados por las secciones de geología de la Empresa Minera de Quechisla, de las minas Animas y Siete Suyos, y también consideramos varias opiniones útiles de los ingenieros geólogos pertinentes a dichas minas para hacer este informe y les presentamos nuestro agradecimiento.

1-2-1 Investigación geológica semidetallada

Antes de empezar la investigación hicimos interpretación fotogeológica general sobre toda el área de exploración y obtuvimos información geológica previa para realizar la investigación geológica de superficie.

Al realizar la investigación geológica semidetallada se utilizaron dos mapas topográficos, uno de los cuales es a escala de 1/10,000 y el otro, a la de 1/20,000. A base del primero se hicieron mapas de caminamiento, y el segundo se utilizó para el levantamiento de mapas geológicos. Tuvimos en cuenta que las líneas de investigación por encaminamiento se encontraran esparcidas imparcialmente en toda el área. La dirección de la estructura geológica en el área de investigación es principalmente del Norte al Sur o del Noroeste al Sudeste, por lo cual dichas líneas se seleccionaron lo más posible a lo largo de cumbres, ríos y crestas desarrollados en la dirección que corta las estructuras geológicas, teniendo en cuenta que el resultado de la investigación fuera útil para aclarar la estructura geológica. En el área difundida de rocas volcánicas, sin embargo, la topografía era complicada, por lo tanto no se lo efectuó fácilmente.

La investigación se realizó con exactitud de la investigación semidetallada y con esfuerzo que se encontrara por lo menos un punto de medición y de observación en una extensión de 500 m x 500 m. Sin embargo, por la parte septentrional del área no afloraba bien en general, por eso era difícil encontrar lugares de observación apropiados.

1-2-2 Investigación geológica detallada

En cuanto a la investigación geológica detallada, las áreas de Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya son prometedoras, y el área de Gran Chocaya no está bien desarrollada, por lo cual la investigación se efectuó en una área de 30 km^2 de extensión dando énfasis en el alrededor de Gran Chocaya. Con el uso del mapa geológico a escala de 1/5,000 en esta investigación,

obtuvimos las ubicaciones casi exactas de vetas, partes mineralizadas, zonas alteradas y bocaminas por medio de compasar. Y se han tomado exactamente ubicaciones de cuadros, vetas principales por medición con teodolito y luego se las han mapeado. Especialmente se han medido vetas y zonas alteradas que se continúan y se confirmó su continuidad. De esta manera se considera notar por lo menos un dato observando cada extensión de 300 m x 300 m y esforzamos por elevar la densidad de investigación. Sin embargo, había lugares pobremente aflorados, dentro de los cuales se destacaron el Cerro Khumullani y la ladera meridional del Cerro Negro Pozo, aunque eran áreas importantes. Por eso en cuanto a estos lugares era difícil efectuar varios estudios por falta de datos observados. Dentro del área de investigación detallada, para aclarar su mineralización especialmente por medio de interpretación del sistema de fisuras y observación sobre zonas alteradas, se efectuaron el estudio de datos geológicos y litológicos y el muestreo sistemático de la zona considerada como centro de mineralización para probación por rayos-X.

1-2-3 Muestras

En los trabajos en el campo de investigaciones semidetallada y detallada arriba mencionadas, se obtuvieron varias muestras. Terminadas las observaciones en el campo, se efectuaron varios experimentos como lo siguiente:

Observación microscópica	
Sección delgada	50
Sección pulida	40
Probación por micro-analizador de rayos-X	3
Difracción por rayos-X	100
Determinación de fósiles (inclusivos los de planta)	5
Análisis de pólenes	1

Análisis químico de minerales (Ag, Pb, Zn, Sn) (cada una sobre las cuatro composiciones)	50
Determinación de edad de rocas ígneas	2
Análisis total de rocas	5

Dibujadas figuras y tablas relativas a base del resultado de dichos experimentos y de las observaciones en el campo, se escribió el presente informe.

1-3 Formación de la misión investigadora

Los trabajos de investigación se realizaron bajo la cooperación del Ministerio de Minas y Metalurgia y de la Corporación Minera de Bolivia. Los miembros de la misión que participaron en estos trabajos son los siguientes:

Administración general y relaciones públicas:

Takeo Kuroko	MMAJ
Kenji Nakamura	"
Kazuhiro Chimura	JICA

Grupo de investigación geológica:

Jefe del grupo	Hiroji Kuronuma	DOWA ENGINEERING CO., LTD.
Miembro	Toshiya Ito	"
"	Masao Hori	"
"	Hideo Janome	"
"	Mitsuo Kitabatake	"
"	Tsutomu Oyama	"

Los participantes bolivianos son los señores abajo mencionados, y dentro de ellos, tres geólogos enviados por Subgerencia de Geología de Oruro de COMIBOL cooperaron a la misión japonesa por todo el tiempo de reconocimiento como miembro de la misión, y otros señores colaboraron en preparar datos, presentarlos y medición. Gracias a su colaboración, la

investigación se realizó en un ambiente muy amistoso y se llevó al cabo muy eficientemente.

Grupo de investigación geológica:

Ing. Hildebrando Martínez Mendieta	COMIBOL, Subgerencia de Geología de Oruro
Ing. Juan Carlos Segurola	"
Ing. Antonio Flores Zamora	"
Ing. Jorge Caballero	COMIBOL, Empresa Minera de Quechisla
Ing. Victor Choque	COMIBOL, Empresa Minera de Quechisla, Mina Animas
Sr. Teodoro Magne	COMIBOL, Subgerencia de Geología de Oruro
Sr. German Wieler	" (medición)

CAPITULO 2 RESEÑA GENERAL DEL AREA DE INVESTIGACION

2-1 Localidad y accesibilidad (Véanse Figs. 1 y 2)

El área estudiada del presente año se sitúa a unos 520 km al Sursudeste de La Paz. Administrativamente pertenece a la provincia de Nor Chichas del Departamento de Potosí y ocupa la parte Nordeste de ésta.

El área de investigación se sitúa en el punto señalado con cuatro puntos de latitud y longitud abajo mencionados y tiene una forma rectangular de 20 km x 14 km.

	Extremidad Norte	Extremidad Este
Latitud Sur	20° 50' 50"	20° 57' 19"
Longitud Oeste	66° 15' 51"	66° 11' 40"

	Extremidad Sur	Extremidad Oeste
Latitud Sur	29° 02' 56"	20° 56' 27"
Longitud Oeste	66° 21' 32"	66° 25' 42"

Este alcance se encuentra en tres mapas topográficos a escala de 1/50,000; Hoja de Gran Chocaya, Hoja 6331 III; de Atocha, Hoja 6331 III y de Mina Yaretani, 6330 IV, publicados por el Instituto Geográfico Militar.

Se puede llegar al área estudiada de La Paz en tren y en automóvil. En caso de ir en tren se puede llegar a Atocha, que queda cerca del área estudiada, por la línea ferroviaria La Paz-Villazón (un pueblo en la frontera con la Argentina), luego se llega al área de exploración en vehículo. Entre La Paz y Atocha hay cinco servicios regulares semanalmente de tren, cuyo recorrido es de aproximadamente 15 horas.

En caso de ir en automóvil es lo más conveniente acercarse a dicha área vía Potosí. En cuanto al tramo Cotagaita-Atocha, el camino pasa

precisamente unos 90km por el lecho del Río Atocha, y por consiguiente, no es transitable por la temporada de lluvias y hay que ir al área de investigación vía Tupiza desde Cotagaita. El tiempo necesario del viaje en jeep y la distancia entre La Paz y el área estudiada son como sigue.

la Paz $\frac{10 \text{ horas}}{574 \text{ km}}$ Potosí $\frac{4 \text{ horas}}{185 \text{ km}}$ Cotagaita $\frac{3 \text{ horas}}{70 \text{ km}}$

Quechisla $\frac{30 \text{ minutos}}{19 \text{ km}}$ Atocha $\frac{20 \text{ minutos}}{15 \text{ km}}$ Siete Suyos

$\frac{5 \text{ minutos}}{3 \text{ km}}$ Animas

La red de carreteras del alrededor del área estudiada está desarrollada en gira de la estación de Atocha, pero no está comunicada más que con cada mina porque el área misma no está bien desarrollada. Se puede pasar por el lecho del Río Chocaya para llegar de Atocha a Siete Suyos. En la temporada de lluvias, sin embargo, es probable no pueda pasar, de modo que es mejor pasar por una carretera montañosa que llega a Siete Suyos vía Telamayu y se tarda unos 40 minutos.

2-2 Geomorfología y clima

El área de la presente investigación se sitúa en el de 3,600 m a 4,700 m de altura s.n.m., y el lugar más alto en esta área es la cumbre del Cerro Khumullani que tiene 4,703 m de altura. El Río Chocaya corre por el centro del área hacia el Nordeste, y la erosión de su lecho está avanzada y se forma topografía empinada de la etapa madura. En las partes Sudeste y Nordeste de ésta se encuentran esparcidos varios picos de 4,500~4,700 m de altura, y en la parte Nordeste se conserva claramente topografía característica de área de difusión de rocas volcánicas, en contraste con el área difundida de rocas sedimentarias que la rodea. En el área que rodea el área difundida de rocas volcánicas presenta la topografía densamente desarrollada de dendríticas quebradas, pero la

geología presenta relación íntima con la topografía. En la parte del Noroeste del área estudiada están distribuídas tobas de la edad nueva y presenta forma de lomas suavemente onduladas con quebradas dendríticamente desarrolladas. En cambio, en el área donde se difunde el Paleozoico se forman orillas empinadas. Excepto el área difundida de rocas volcánicas de altura elevada, el río es bastante amplio en contraste con el caudal y su erosión lateral parece avanzada. Además la terraza fluvial no está bien desarrollada, por lo cual se supone que no se ocurrió el reciente levantamiento brusco.

El área estudiada se sitúa al Norte del trópico de Capricornio, de modo que debe tener el clima tropical. Sin embargo, debido a que se sitúa en el terreno muy alto, tiene un clima particular. Y se supone que la temperatura media anual es entre 5 y 6 centígrados y la temperatura mínima nocturna en invierno baja a 25 centígrados bajo cero. Aun en verano la temperatura nocturna se registra bajo cero. La máxima temperatura diurna marca alrededor de 15 centígrados. A los principios de verano, como en diciembre, la temperatura marca unos 25 centígrados de día, pero baja mucho por la noche, por lo cual, la diferencia de temperatura en un día llega a más de 20 centígrados. Es la característica general del clima de toda Bolivia, la de que diferencia entre la temporada seca y la de lluvia está marcada claramente. La temporada de lluvia dura desde diciembre hasta marzo en general, y la seca, desde abril hasta noviembre. En la temporada seca apenas llueve, y es muy seco. La humedad en la temporada seca señala entre 0 y 30% más o menos, y se supone que aun en la temporada de lluvia llega apenas a 50 ~ 60 %. Referente a la precipitación, como llueve concentradamente en los meses de diciembre a marzo, el término medio de la precipitación mensual en estos meses es alrededor de 70 ~ 120 mm, pero, en otros meses apenas llueve. El término medio de la precipitación

es muy poco. Así las estrictas condiciones climáticas de esta área influyen mucho sobre fauna, flora y la vida de los habitantes, y la mayoría del área presenta tierra estéril.

2-3 Minería

El área estudiada pertenece a una de las mejores minas de Bolivia, y se distribuyen las minas en operación rodeando Atocha.

Los yacimientos metálicos de Bolivia forman zonas clasificadas clara y comparativamente por clase de minera, las cuales se difunden en dirección Nornoroeste-Sudsudeste a lo largo de los Andes en relación con las actividades ígneas de Los Andes orientales.

Las zonas mineralizadas se encuentran distribuidas regularmente por clases de mineral, y se difunden, formando del centro zona de wolframita hacia el Este y el Oeste, a sus ambos lados en una orden de la zona estannífera, y la zona de estaño argentífero, la zona plomífera y cinquífera, y más lejos, la zona antimonífera y la cuprífera. Alrededor del área estudiada se producen bismuto y wolframita, etc. en la mina Tazna, y estaño en la mina Chorolque las que pertencen a la zona de wolframita, a la estannífera y la de estaño argentífero, y en su torno se difunde extensamente la zona plomífera y cinquífera. Las minas Animas, Siete Suyos, (se llama la mina Chocaya uniéndolas en la organización de COMIBOL), San Vicente, Tatasí y Asunta ubicadas al Norte del área estudiada, se sitúan en la zona plomífera y cinquífera y también pertenecen a la zona estannífera. Estas minas producen los minerales complejos compuestos por el paragénesis de minerales de estaño, plata, plomo y cinc, por lo cual los yacimientos son muy característicos.

Estas minas principales se han venido explotando plenamente desde la época colonial española, administradas por las familias Hoschild,

Aramayo y Patiño, que son tres plutocracias financieras mineras de Bolivia conocidas mundialmente. En el área estudiada, la mina Animas pertenecía a la familia Aramayo; y la Siete Suyos, a la Patiño.

Después de la Revolución del año 1952, el gobierno boliviano nacionalizó las minas en posesión de las tres plutocracias financieras grandes, y en el mismo año fundó la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) con la aportación total gubernamental e hizo afiliarse las minas nacionalizadas a ella y operárselas por ella. Resulta que en el área estudiada y sus alrededores, excepto la mina Asunta pertinente a empresas pequeñas y medianas, las minas mencionadas llegaron a pertenecer a COMIBOL.

Actualmente, COMIBOL ha puesto su organización ejecutiva como empresa minera en Quechisla, donde se había puesto otra organización ejecutiva como el centro de las minas dirigidas por la familia Patiño situadas en el área estudiada y sus alrededores, y sigue dirigiendo las minas arriba mencionadas pertenecientes a COMIBOL, bajo el nombre de Empresa Minera Quechisla.

En Telamayu hay un ingenio de plomo - cinc y una planta de fundición de bismuto, pertenecientes a la Empresa Minera de Quechisla, a la que pertenece la maestranza central, pero actualmente la operación de fundición está parada debido a la situación del mercado de bismuto. Cada mina bajo la jurisdicción de Quechisla tiene su propio ingenio, pero los minerales de cabeza de plomo y cinc producidos en las minas Animas y Siete Suyos se llevan al ingenio de Telamayu y se los tratan en éste.

Esta área es uno de los importantes lugares productores de minerales en Bolivia. La producción anual de metales de 1978 en esta área es como lo siguiente: unas 120 t de plata, 1,500 t finas de estaño, 6,700 t finas de plomo y 11,000 t finas de cinc. Estas cantidades de producción

tienen significación considerable en Bolivia. La producción de plata en esta área presenta el 57 % de la producción nacional, la de estaño el 5 % de la nacional, la de plomo el 37 % y la de cinc el 18 %, y esta área, junto con las minas alrededor de Oruro y Potosí contribuye mucho a las finanzas de Bolivia. Sobre todo, dentro de la jurisdicción de Quechisla, se ha explotado nuevamente la mina San Vicente y el ingenio de Ventillas ha puesto en marcha, por lo cual la producción de plata, plomo y cinc va en aumento rápido. Por parte de COMIBOL, se planea el aumento de ganancia por medio del mejoramiento y reforzado de instalaciones y varias racionalizaciones de cada mina afiliada a Quechisla, y al mismo tiempo se planean el aumento de producción por incrementar la cantidad de reservas y la prolongación de la vida de las minas esforzándose a la explotación de nuevos yacimientos. A continuación, se trata de las situaciones generales de cada mina de Empresa Minera de Quechisla y de sus oficinas.

Oficina de Quechisla: Es oficina que dirige la Empresa Minera de Quechisla y tiene 181 empleados. Tiene la única sección de administración y no realiza ninguna actividad productiva.

Mina Chorolque: Tiene yacimientos de estaño del tipo de vetas encajonadas en "stock" de dacitas que compone el Cerro Chorolque (5,600 m sobre el nivel del mar) y en rocas piroclásticas de sus alrededores, y es famosa por situarse el lugar de operación en nivel muy elevado. Los minerales metálicos que se producen en esta mina son estaño, pirita, wolframita, bismuto y mineral argentífero. Esta mina es la más antigua en Bolivia como mina de estaño y en 1870 ya se había explotado. El método de explotación principal es de "Shrinkage", y los minerales explotados se llevan a los ingenios de Sala Sala y de Fierro Unu donde se consiguen minerales de estaño concentrados principalmente por método de gravímetria.

La cantidad productiva de mineral de cabeza, por término medio mensual de 1979,* es de unas 18,000 t con 1% de ley de Sn; la de mineral concentrado, 250 t con 44% de ley del mismo. Trabajan 732 personas.

Mina Tazna: Esta mina es muy famosa en Bolivia por bismuto, y para el bismuto explotado de Tazna se construyó la fundición de Telamayu. Pero por el empeoramiento del mercado de bismuto se suspendió su producción de manera que la fundición no está en su operación. Sin embargo, en esta mina también se produce tungsteno, por el que se ha empezado la operación este año. Esta mina y su alrededor están constituidos de pizarra del sistema Ordovícico que tiene su eje con la dirección de NO-SE y "stock" de pórfido cuarcífero o dique. La mayor parte de sus vetas cruzan dicho eje, por lo cual esta mina es de típicas fisuras de tensión. Y alrededor de yacimientos las vetas se encuentran afectadas por metamorfismo de contacto observándose el hornfels. Los minerales principales son bismutina, pirrotina, arsenopirita, wolframita y marmatita, y los de ganga son cuarzo, siderita y turmalina. Como método de la explotación se adopta "Shrinkage" y se envían los minerales explotados al ingenio Buen Retiro. Antes se explotaban mensualmente alrededor de 10,000 t de mineral bruto de bismuto (ley: Bi 0.5%) y producían 300 t aproximadamente de sus minerales concentrados (ley: Bi 14%, Cu 12%). Pero actualmente su operación se ha reemplazado por la de tungsteno, por lo cual hasta octubre de este año la cantidad media al mes de mineral de cabeza es 6,000 t (ley: WO_3 0.5%) y la de concentración es 60 t (ley: WO_3 15.25%). El número de personas que trabajan es 723.

Mina Tatasí: En esta mina se ha efectuado la investigación geológica por colaboración del gobierno del Japón desde el año 1976 durante 2 años así como la mina San Vicente sobre la cual se mencionará a continuación.

---

* El término medio mensual de 1979 quiere decir el promedio de enero a octubre del mismo año. A continuación sigue lo mismo.

Esta mina es la antigua, que ha estado en operación desde la época colonial, y se quedan minas abandonadas.

La geología de la mina y su alrededor está compuesta de dacita, toba brecha, el sistema Ordovícico y el Cretácico. Los yacimientos son del tipo de vetas que se encajonan en dacita y toba brecha. Los minerales metálicos están compuestos principalmente de casiterita, galena argentífera y esfalerita, asociados con jamesonita, pirita, etc.. Para su explotación se adopta el método "Shrinkage" en gran parte y por el proceso de flotación selectiva se producen mineral concentrado de plata-plomo y de cinc. La cantidad media meusual de mineral de cabeza del año 1979 es más o menos 7,700 t, (leyes: Ag 0.51%, Pb 62%). Trabajan 485 personas.

Mina San Vicente: Esta mina se operaba en pequeña escala desde la época colonial. Sin embargo, se paró su operación el año 1926. El año 1968, los miembros del grupo de exploración de COMIBOL estudiaron esta mina y debido a su resultado desde el año 1969, se ha empezado la explotación en gran escala. El gobierno boliviano, en relación con esta explotación le pidió al gobierno japonés la investigación geológica del área entera que abarca esta mina y la mina Tatasí y esta investigación se ha efectuado durante tres años desde el año 1976 hasta el año 1978. Entre tanto, COMIBOL ha propulsado la explotación activamente, y en diciembre del año 1977 se termimó la construcción de la planta de flotación en Ventillas, que está ahora en operación normal.

La geología que forma esta mina y su alrededor, está compuesta de la formación San Vicente del sistema Terciario constituida por conglomerado rojo, y por diques de dacita o andesita. Los yacimientos presentan el tipo de vetas que se encajonan en conglomerado rojo. Estas se dividen en las vetas que se afloran rodeando la oficina de la mina San Vicente, y las que

se componen de casiterita y minerales de complejo de sulfuros que contienen esfalerita, tetraedrita argentífera y estannina, desarrolladas alrededor del Cerro Monserrat. Y actualmente las vetas anteriores, compuestas principalmente por esfalerita, están explotadas. La cantidad media al mes de mineral de cabeza del año 1979 es alrededor de 8,600 t (leyes: Ag 400 g/t, Zn 6.1 %). Los minerales se tratan en el ingenio Ventillas cuya cantidad de mineral concentrado alcanza a 1,100 t (leyes: Ag 0.29 %, Zn 42 %). El número de personas que trabajan en esta mina es 485. El hecho de que esta mina comienza su marcha nuevamente contribuye al desarrollo del área en donde no existe ninguna actividad productiva fuera de la minería, y tiene gran importancia desde el punto de vista de asegurar la materia prima para construcción de fundición de cinc.

Ingenio y Fundición de Bismuto de Telamayu: Este ingenio se sitúa a 1 km al Sur de Atocha y al lado del ingenio se han construído la fundición de bismuto y la maestranza central. Esta maestranza sirve para arreglar las instalaciones de todas las minas e ingenios pertenecientes a la Empresa Minera Quechisla. El Ingenio trata los minerales de las minas Animas y Siete Suyos que se mencionarán posteriormente, mientras la Fundición de Bismuto trataba minerales concentrados de bismuto de la mina Tazna. Sin embargo, como se ha mencionado antes, se paró producir mena de bismuto en la mina Tazna, por lo tanto este año se paraliza su operación. El número de las personas en operación de Telamayu incluso el ingenio, la maestranza y otras instalaciones es 621.

Mencionaremos en adelante sobre las minas de Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya, pero de todas las maneras hay pocas minas notables pertinentes a las empresas privadas en el área estudiada y su alrededor salvo las mencionadas afiliadas a COMIBOL. Solamente existe la mina Asunta administrada por EMUSA entre la mina San Vicente y la Tatasí, que explota los yacimientos de tipo de vetas

formadas principalmente por casiterita, galena y esfalerita. Tiene el ingenio con capacidad de 140 t por día y actualmente está en operación.

2-4 Reseña de las minas Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya

Las áreas de Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya están ubicadas en la región conocida por el nombre de Chocaya. Sobre todo, el área de Gran Chocaya tiene minas abandonadas de la época colonial, y desde hace mucho tiempo era típica zona de minas y muy famosa en el pasado. Se puede juzgar que los yacimientos que están en operación o en desarrollo, pertenecen a un grupo de yacimientos. Pero cada uno tiene diferente nombre por el pueblo donde se explota, ya que en los tiempos pasados no estaba claro que pertenecieran a un grupo debido a que no estaba avanzada la exploración. Actualmente dichas tres áreas pertenecen a la mina Chocaya en la Empresa Minera Quechisla de COMIBOL. En el sistema administrativo, la mina Chocaya se divide en las secciones Siete Suyos y Animas, y cada una tiene organización propia para su administración. La obra de explotación en el área de Gran Chocaya se hace bajo la jurisdicción de la organización administrativa de la sección posterior.*

En la zona de la mina Chocaya, aunque se hacía la explotación durante la época colonial, se interrumpió temporalmente y se volvió a explotar estaño, plata y plomo en mayor escala después de la segunda mitad del siglo 19 bajo una empresa privada.

El año 1941 Cía Aramayo compró la concesión de Animas y la de Chocaya de un dueño y el año 1942 empezó a explotarlas. Mientras tanto la de Siete Suyos, desde el año 1906, estuvo ocupada por la Compania Minera

---

* En las descripciones técnicas, por conveniencia, dichas tres áreas se denominan las minas Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya relativamente.

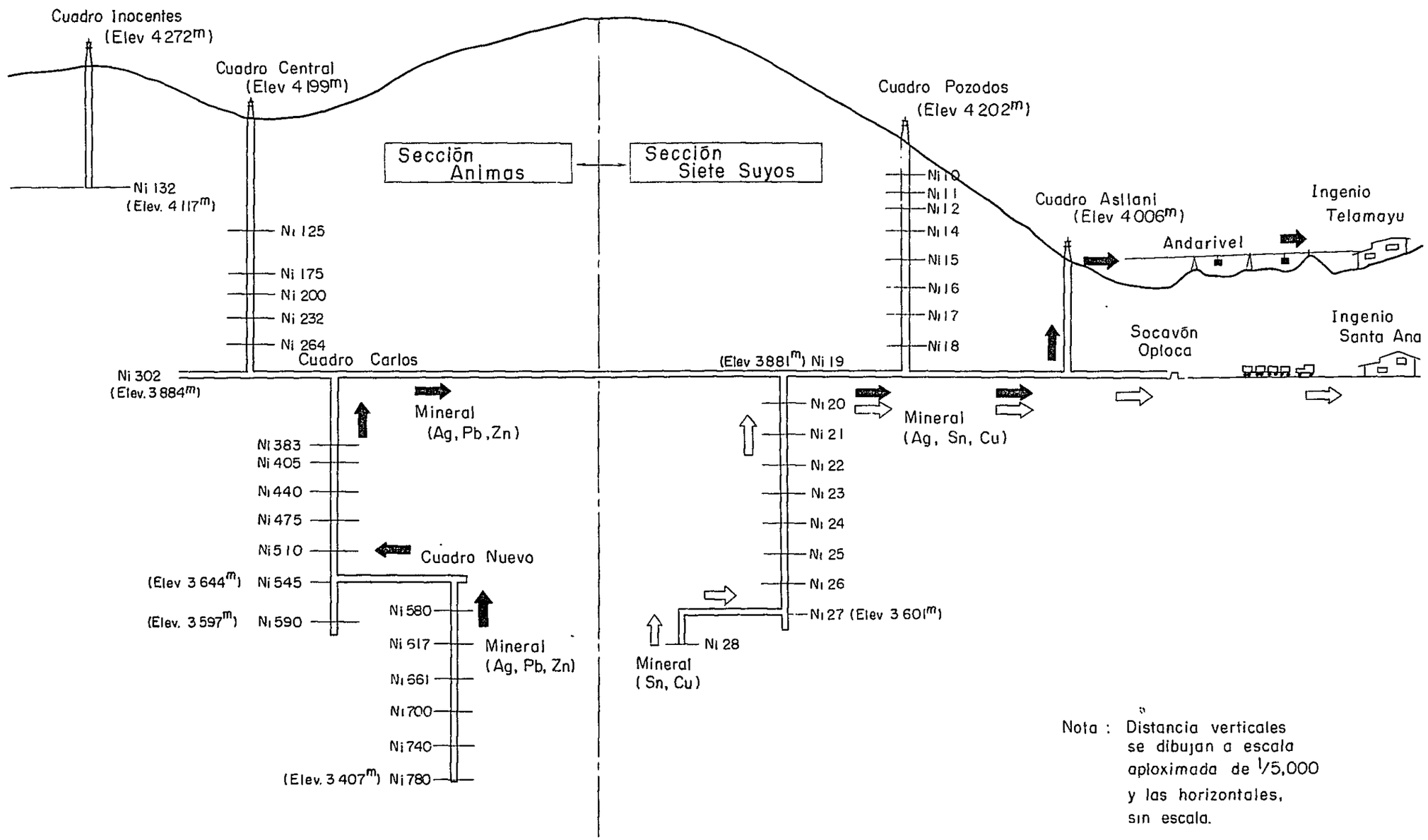


Fig. 3 Sistema de transporte de minerales en secciónes Animas y Siete Suyos

y Agrícola Oploca de Bolivia, la que estaba debajo del consorcio Patiño. En Siete Suyos se explotaba estaño principalmente, pero este estaño mismo se agotó el año 1951, por lo cual Cía Aramayo la alquiló para explotar minerales de plomo, plata y cinc. Se nacionalizaron las minas de Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya en la revolución del 1952, y desde entonces han estado manejadas por COMIBOL como se ve actualmente. Con respeto al área de Gran Chocaya, hasta los años de 30 de este siglo diferentes dueños de minas explotaban, mediante los cuadros de Inocentes y Carnaval, las vetas como la de San Bartolomé, alrededor de éstos, más arriba del Niv. 150. Pero después se quedaron sin ser explotadas hasta que COMIBOL puso en marcha la explotación plena efectuando la rehabilitación del cuadro Inocentes.

Nos referimos detalladamente a las áreas de Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya en el capítulo posterior, y aquí sólo mencionamos su resumen: Estas áreas constan de dacita o toba brecha del Terciario y el sistema Ordovícico, el que forma basamento de éstas. Los yacimientos son del tipo de veta y horizontalmente continúan desde Siete Suyos, Animas hasta Gran Chocaya, mientras que verticalmente llegan al sistema Ordovícico pasando por dacita y toba brecha las que lo cubren. Su prolongación vertical alcanza hasta 900 m de profundidad de los afloraminetos, por lo cual estos yacimientos tienen escala grande.

Para su explotación se adoptan los métodos de Corte y Relleno y "Shrinkage" al lado de Animas, mientras sólo la de "Shrinkage" al lado de Siete Suyos. El sistema de transporte de minerales explotados es muy complicado, ya que dos companías diferentes explotaban en un grupo de yacimientos. Se transportan los minerales explotados de la sección Animas por el cuadro Nueva hasta el Niv.302. Se llevan desde el Niv. 30 por la galería de transporte del 19 de la sección Siete Suyos hasta el cuadro Asllani,

por el que lo sacan fuera de la mina para llevarlo por el andarivel hasta el ingenio Telamayu. En cuanto a la vía de transporte de la sección Siete Suyos; llevan los minerales desde el 28, que es el nivel más profundo, hasta el 27 por huinche; desde allí hasta el 19 por el cuadro Pacheco; desde el 19 hasta la bocamina de Oploca por la galería principal de ese nivel, y al final hasta el ingenio Santa Ana. Existe el cuadro Central entre la superficie y el Niv. 302 de la sección Animas para el transporte de personas y materias. Con respeto a los minerales explotados arriba del Niv. 19, los transportan por el cuadro de Pozo Dos hasta ese nivel, de donde hasta la planta de Santa Ana los llevan junto con otros explotados debajo del nivel pasando por la bocamina de Oploca. En la sección Animas se producen principalmente los minerales de plata, plomo y cinc, minentras que en la sección Siete Suyos se producen los minerales de estaño, plata y cobre. Y en Gran Chocaya el cuadro Inocentes alcanza al nivel 132, por donde se realiza la exploración por galería.

En cuanto a la producción de las secciones de Animas y Siete Suyos, los minerales brutos principalmente explotados en el lado de la mina Animas y enviados al ingenio Telamayu alcanzan 8,856 t en su promedio mensual de enero a julio en el año 1979 y presentan sus leyes de 31.3 g/t de plata, 2.23 % de plomo y 3.54 % de cinc. Y después se producen en el ingenio Telamayu 550 t de mineral concentrado de plata-plomo con 0.34 % de ley de plata y 31 % de plomo, y 440 t de mineral concentrado de plata-cinc con 0.12 % de ley de plata y 45 % de cinc; en el ingenio Santa Ana se producen 200 t aproximadamente de mineral concentrado de estaño con leyes bajas (0.30 % de ley de plata, 3.19 % de estaño y 3.80 % de cobre) y 20 t aproximadamente de mineral concentrado de estaño con leyes altas (32 % de ley de estaño).

En la mina Chocaya trabajan 1,100 personas. Esta mina se esfuerza

a desarrollar los alrededores de Gran Chocaya, los que tengan nueva posibilidad, mientras que se trata de conseguir más cantidad de reservas efectuando la prospección horizontal y vertical en los yacimientos reconocidos. Y además, tienen el plan de construir cuadro para mejorar el sistema de transporte, que es muy complicado como mencionado arriba, pero tadavía no está realizado.

CAPITULO 3 CONCLUSION Y PERSPECTIVA FUTURA

3-1 Conclusión

La presente investigación se efectuó a efecto de obtener recursos minerales del área Gran Chocaya. Como su primera etapa se realizó la investigación semidatallada en una extensión de 280 km^2 que abarca zonas mineralizadas y alteradas de Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya. A base del resultado de lo anterior, se efectuó la investigación detallada en la zona de 30 km^2 que llevan yacimientos. Posteriormente se efectuaron experimentos en laboratorio, tales como observación microscópica, difracción por rayos-X y análisis químico sobre minerales y rocas, determinación de edad de rocas volcánicas, análisis por proyección estereográfica de la geología estructual.

Examinados sintéticamente los resultados de dichas investigaciones y estudios relativos, se ha concluido como lo siguiente :

(1) La geología del área investigada se compone del Ordovícico; la formación El Molino de la parte superior del Cretácico; la formación Potoco de la época Eocena del Terciario Paleógeno; las foemaciones San Vicente y Quehua de la parte superior de la serie Miocena, y dacitas y rocas piroclásticas dacíticas de Animas y Khumullani intercaladas por actividad volcánica en la formación Quehua.

El sistema Ordovícico se divide por su litofacies en dos partes, inferior y superior, o sea, el miembro de arenisca y pizarra de Pẽna Blanca, y el de arenisca de Penã Azul. Ambos miembros son sedimentos de tipo miogeosinclinal. No se observa ninguna actividad ígnea, por lo que su litofacies no varía mucho siendo monótono.

En cuanto al sistema Cretácico, la formación El Molino ubicada en la parte superior de éste cubre el Ordovícico generalmente con discordancia

inclinada, pero en la presente área de investigación conecta con éste en forma de falla. Como resultado del análisis de pólenes, se reconoce que el sistema Ordovícico es un sedimento en el mar poco profundo alejado de los océanos. Se compone de caliza, arenisca calcárea y arenisca roja en disposición alternante. Pero su distribución en la presente área está limitada parcialmente.

La formación Potoco pertinente al sistema Terciario es formación continental compuesta por alternancia de arcilla y arenisca rojas pardas bien estratificadas. Referente al tiempo, pertenece a la póca Eocena. La formación San Vicente que cubre dicha formación en discordancia se compone de arenisca pobremente estratificada, y su litofacies es distinto del de la formación San vicente en la localidad típica. Sin embargo, está en relación de discordancia con la formación superior de Quehua, y el resultado del análisis de pólenes indica que pertenece a la edad Miocena, por lo tanto la presente formación se correlaciona con la formación San vicente. La formación Quehua situada superiormente a dicha formación se compone principalmente de rocas piroclásticas e intercala arenisca roja. Esta formación se fifunde muy ampliamente en la presente área cubriendo su mayor parte. Pero no está evidente la posición de la actividad volcánica que derramó rocas piroclásticas. Referente al tiempo, se considera que esta formación pertenece a una edad entre la edad más tardía de la Miocena y la época Pliocena.

Referente al sistema Terciario arriba mencianado, su distribución en la presente área está reducida excepto la formación San Vicente, por lo tanto todavía es un poco dudosa la correlación entre éste y el Terciario situado fuera del área.

(2) En lo relativo a la geología estructural, en la parte inferior hasta el Ordovícico y el Cretácico, los pliegues presentan principalmente

rumbos en la dirección NNO-SSE, o sea, en la dirección casi Norte-Sur, a lo largo de la dirección de desarrollarse generalmente la Cordillera Andina. Sin embargo, el grado de plegamiento es distinto entre dichos dos sistemas. El Ordovícico tiene pliegues más fuertes que el Cretácico, a saber, está afectado bastante en el período Precretácico. Se presume que este período corresponde al período tardío del movimiento orogénico Valiscano, o a la facies Nevada del Alpino.

El sistema Cretácico y la formación Potoco presentan estructuras casi idénticas de pliegue. Se presume que las estructuras casi iguales a las actuales se formaron por el efecto del plegamiento de dichas edades. Después de haberse sedimentado la formación San Vicente pertinente a la edad tardía del Mioceno, hasta hoy día en esta área no han ocurrido fuertes plegamientos, por lo que las formaciones San Vicente y Quehua presentan un buzamiento suave, y no se observa variación grande de la geología estructural.

(3) En la presente área la actividad volcánica se inició rodeando Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya, distribuyendo ampliamente dacita y roca piroclástica dacítica.

Según la determinación de edad por el método Potacio-Argón de roca completa, las rocas volcánicas indican valores entre 12m.y. y 11m.y., por lo que dicha actividad volcánica pertenece a la última edad de la Miocena. Las rocas volcánicas y piroclásticas tiene relaciones concordativas con la formación Quehua. Por eso, se considera que dichas rocas componen un miembro dentro de esta formación. Referente a composiciones químicas, estas rocas volcánicas pertenecen a la serie alcalina cálcica. En comparación con las rocas volcánicas de los alrededores de San Vicente y Tatasí, las presentes llevan un poco reducidamente la composición alcalina $K_2O + Na_2O$, o sea, no está avanzada la diferenciación.

La estratigrafía volcánica de la presente área se considera como lo siguiente:

① Efusión de toba brecha de Inocentes y toba lapilli del Rancho Candelaria;

② Efusión de dacita de Animas (En el mismo tiempo derramaron toba brecha de Gran Chocaya, toba del Rancho Lupijara y toba del Cerro Negro Pozo, y éstas se sedimentaron parcialmente.);

③ Efusión de brecha volcánica de Belén Loma, y

④ Efusión de dacita del Cerro Khumullani y brecha volcánica del Cerro Pabellón.

Sin embargo, no se ha podido aclarar el centro de dicha serie de actividades volcánicas. Pero, dacita de Animas se distribuye ampliamente teniendo litofacies idéntica, por lo tanto, se considera que el único magma se derramó por varios crateres; esta actividad volcánica se trasladó gradualmente hacia fuera, y en la última época de ésta se derramó lava de Khumullani por unos crateres situados en forma de la letra "U".

A efecto de aclarar los factores que causaron la actividad volcánica se ha realizado el análisis de la geología estructural. Pero no se han observado relaciones especiales entre éstas. Por consiguiente, se presume que dicha actividad estaba controlada por las líneas tectónicas del área.

(4) Los yacimientos se distribuyen en las áreas Arimas, Siete Suyos y Gran Chocaya, y se componen de vetas que llenan fisuras de cizalla de los sistemas N50°E y N58°E. Referente a los factores de formar dichas fisuras, se considera que la compresión vertical acompañada de las actividades volcánicas por subida, intrusión y efusión de las lavas, se accionaran y formaran las fisuras. Pero ésto no se aclara en la investigación superficial. Por eso, se ha efectuado también la investigación en interior de mina, y se ha supuesto lo arriba mencionado en consideración al

resultado de ésta sintéticamente. Como minerales metálicos se observan principalmente galena argentífera, esfalerita, casiterita y calcopirita. Se acompañan estannina, pirargirita, franckeita, bismutita, pirita, aresenopirita, siderita, etc. Además se produce un poco de bournonita, canfieldita, marcasita, pirrotina, bixbyita, magnetita y minerales de sulfosales de plata-estaño-plomo-antimonio. Juzgando por los paragénesis de dichos minerales, los presentes yacimientos pertenecen al tipo de vetas xenotermales.

La roca madre de los yacimientos se compone, desde la parte superior, de dacita de Animas, rocas piroclásticas y el sistema Ordovícico, en el cual generalmente la mineralización es dominante.

En cuanto a la escala de las vetas, la veta Colorada tiene longitud de 2,000 m; la veta Burton, 1,800 m, en la dirección del rumbo relativamente. Existen unas vetas paralelas a éstas con longitud de unos centenares de metros a lo largo del rumbo. Las vetas Burton e Inca ya están desarrolladas hasta el Niv. 780 y llegan a parte bastante profunda. Pero, debido a que ya está muy avanzada la explotación, es importante la exploración de las partes extendidas en la dirección de vetas y de la parte inferior. Por consecuencia, se ha intentado obtener algunas guías sobre la exploración efectuada, la investigación de zonas alteradas y, a base de ésta, clasificación de minerales alterados, paralelamente a la investigación superficial. Como consecuencia, aparece la zona más fuertemente alterada en la superficie de tierra arriba de los yacimientos ya desarrollados. Además, rodeando ésta se reconocen otras cuatro zonas alteradas. Estas cinco zonas se han clasificado, en el orden del grado de su alteración. Estas cinco zonas se han clasificado, en el orden del grado de su alteración, como lo siguiente :

Zona I, zona de caolinita y clorita mezcladas;

Zona II, zona de clorita;

Zona III, zona de caolinita;

Zona IV, zona de plagioclasa extintiva, y

Zona V, zona de plagioclasa y calcita mezcladas.

3-2 Opinión sobre exploración en el futuro

(1) Los yacimientos y las zonas que presentan indicios de mineralización no se encuentran en las rocas sedimentarias entre el Ordovícico y la formación Quehua, sino su distribución horizontal se restringe sólo en la zona donde se difunden rocas volcánicas, y también rocas piroclásticas derramadas sucesivamente después de éstas.

(2) Los yacimientos se componen de las vetas que llenan fisuras de cizalla de los dos sistemas, y la dirección de su esfuerzo peincipal es casi vertical. Por consiguiente, éstas se formaron por el movimiento vertical. Mientras tanto, la parte inferior de la roca madre compuesta por el Ordovícico tiene litofacies monótona, y referente a las propiedades físicas, es uniforme comparando con otras rocas, lo cual facilita para transmitir la fuerza para formación de fisuas. Por eso, es muy posible que existan fisuras en la parte profunda.

(3) Comparado con dacita y roca piroclástica dacítica que forman la parte superior de la roca madre de vetas, las rocas del sistema Ordovícico son más compactas, en las cuales se forman fácilmente grietas estables. Por lo tanto, en los yacimientos de la presente área, las vetas generalmente se hallan estables en el Ordovícico.

(4) Los yacimientos reconocidos en la presente área no tienen afloramientos que contienen minerales metálicos, sino en muchos casos si observan sólo zonas alteradas en el suelo superficial, aun cuando existen vetas en su parte inferior. Por consiguiente, si se observan zonas alteradas en la superficie, es muy posible que se hallen yacimientos en la

parte inferior, especialmente en el sistema Ordovícico.

(5) Juzgando por la distribución de zonas alteradas, como partes prometedoras no desarrolladas, se enumeran ① la zona alterada alrededor del área Gran Chocaya que pertenece a la zona IV (zona de plagioclasa extintiva), y su parte continua que se considera como la extensión al Suroeste de las vetas Burton y Colorada, y ② la parte que se compone de las zonas I y III conjuntamente al Nornoroeste de los yacimientos ya reconocidos de Animas.

(6) Como resultado de lo arriba mencionado, las zonas que deben de explorarse son las siguientes:

① El área Gran Chocaya (alrededor del pueblo);

② La parte extendida al Suroeste de las vetas Burton y Colorada;

③ El lado Noroeste de los yacimientos reconocidos de Animas (una extensión con diámetro de 1 km cuyo centro está a 500 m de distancia al Noroeste del cuadro Central), y

④ La parte inferior a las partes ya desarrolladas de las minas Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya.

(7) Como método de exploración de dichas zonas, se aconseja lo siguiente :

① En los alrededores de Gran Chocaya, aunque se observa una zona alterada amplia en el suelo superficial, todavía faltan datos sobre su parte inferior. Por lo tanto, es necesario efectuar la exploración por el sondeo después de haberse obtenido datos relativos por la prospección geofísica del método IP, etc..

② Dentro de la parte extendida al Suroeste de las vetas Burton y Colorada, en cuanto a la zona entre la parte explotada de Gran Chocaya y la parte desarrollada de Animas, se debe reconocer la mineralización de la parte inferior efectuándose el sondeo

sin otras investigacines anticipadas. Mientras, la parte extendida al Suroeste de la veta Burton no está desarrollada en absoluto, por lo que será necesario obtener varios datos por la prospección geofísica del método IP, a efecto de efectuar el sondeo en consideración a su resultado.

③ En el área ubicada al Noroeste de los yacimientos reconocidos de Animas, se propone realizar el sondeo inclinado dentro de los recortes ya desarrollados de la mina Animas, etc. para reconocer la mineralización.

④ Referente a la exploración de la parte inferior a las partes ya desarrolladas de las minas Animas y Siete Suyos, se aconseja efectuar, a base de los resultados de la presente investigación, tanto el análisis más detallado de zonamientos de minerales paragenéticos y de sistemas de fisura, como la investigación sobre relaciones entre las rocas volcánicas y la mineralización, a efecto de inferir la parte central de mineralización, y consecuentemente, de orientar concretamente la exploración de la parte inferior.

De todos modos, el objeto de la exploración es la parte inferior donde se distribuye el sistema Ordovícico, por lo cual para la exploración se deben aplicar métodos que puedan obtener los mayores datos posibles de la parte inferior.

DESCRIPCION DETALLADA

PARTE I

INVESTIGACION GEOLOGICA SEMIDETALLADA

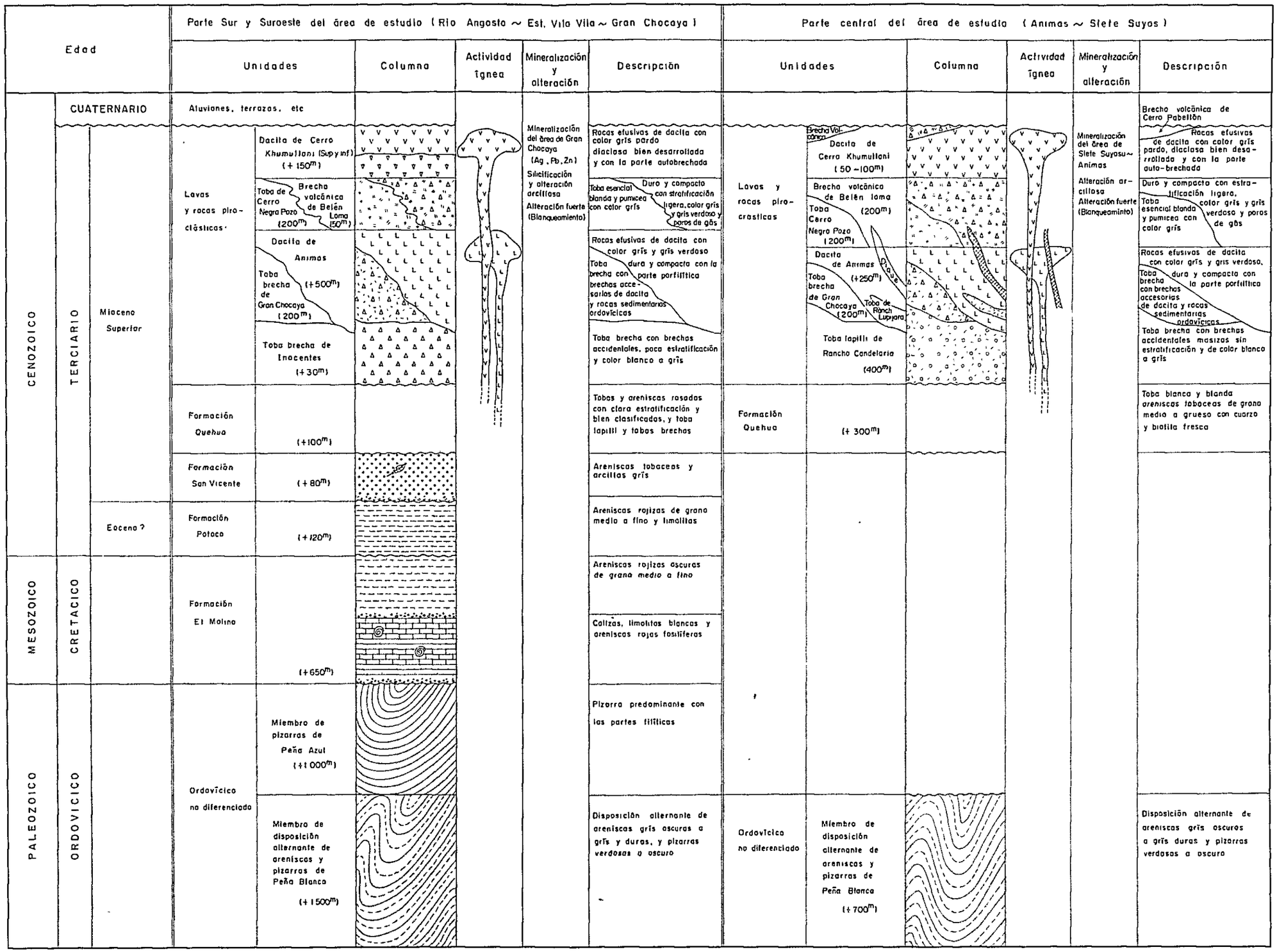
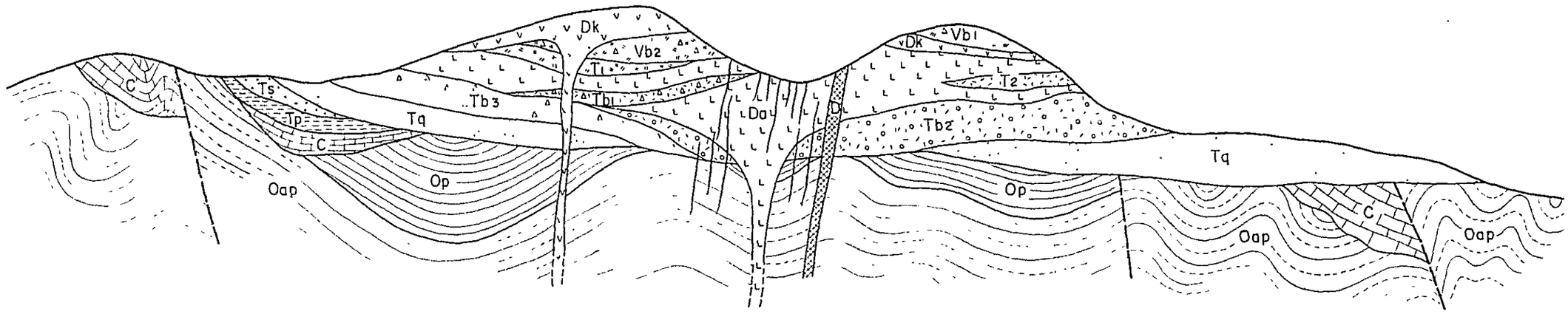


Fig. 4 Columna geológica



TERCIARIO

- Vb1 — Brecha volcánica de Cerro Pabellón
- Vb2 — Brecha volcánica de Belén Loma
- T1 — Toba de Cerro Negro Pozo
- T2 — Toba de Rancho Lupijara
- Tb1 — Toba brecha de Gran Chocaya
- Tb2 — Toba Lapilli de Rancho Candelaria
- Tb3 — Toba brecha de Inocentes
- Tq — Formación Quechua
- Ts — Formación San Vicente
- Tp — Formación Potoco

CRETACIO

- C — Formación El Molino (Calizas y areniscas rojas)

ORDOVICICO

- Op — Miembro de pizarras de Peña Azul
- Oap — Miembro de disposición alternante de areniscas y pizarras de Peña Blanca

- D — Dique de dacita
- Dk — Dacita de Cerro Khumullani (Lavas)
- Da — Dacita de Animas (Lavas)
- Vetas
- Falla

Fig. 5 Perfil idealizado

Ordovícico no se incluyen rocas ígneas ni rocas piroclásticas ni conglomerados, y el Ordovícico se compone de sedimentos miogeosinclinales que demuestran facies sedimentarias del tipo "flysch" monótono. El Cretácico de la parte superior se limita con el Ordovícico inferior por la discordancia inclinada clara. El Cretácico es de sedimento intercontinental o continental y se compone de arenisca roja, caliza y arenisca calcárea. En consideración a los fósiles producidos, estas rocas son sedimentos de geosinclinal estrecho clausurado del mar. Y con mucha frecuencia el Cretácico se terreniza y se alterna con sedimentos continentales.

En cuanto al sistema Terciario, se difunden la formación Potoco, la de San Vicente que cubre la formación anterior con discordancia inclinada, y la formación Quehua que cubre la formación San Vicente con discordancia. La formación Potoco se compone de lutita y arenisca del color rojo pardo con estratificación desarrollada, y sólo en la presente área estudiada es imposible compararse, pero se han continuado los nombres tradicionales juzgando por su litofacies. La formación San Vincente se compone de arenisca roja con estratificación poco desarrollada y se limita con la formación Potoco con conglomerado basal en discordancia, y se correlaciona con la formación San Vicente desarrollada alrededor de la mina San Vicente, aunque hay diferencia de propiedades de roca. Después de analizarse fósiles de planta que se descubrieron en esta formación, se considera que pertenece al Mioceno. La formación Quehua pertenece a la parte superior en el sistema Terciario de la paresente área. Es capa compuesta principalmente de rocas piroclásticas, por ejemplo, toba, arenisca tobácea, arenisca roja y conglomerado volcánico, y se difunde por toda la zona del Norte y del Noroeste del área estudiada. En cuanto a la época del sistema Terciario, se considera que la formación Potoco se formó en el Eoceno, la de San Vicente en la segunda mitad del Mioceno, y la Quehua en la última etapa

del Mioceno. Después de la sedimentación del sistema Terciario, sucedieron fuertes actividades volcánicas en torno a Animas - Siete Suyos y Gran Chocaya, y ocurrió la erupción o intrusión de rocas piroclásticas y volcánicas. Estas rocas pertenecen a la serie alcalina cálcica y se derivan de magma ácido. Según la determinación de edad absoluta, pertenecen a la última etapa del Mioceno. Por consiguiente, se supone que los yacimientos se formaron entre la última etapa del Mioceno y el Plioceno, o sea, pertenecen a una época bastante nueva como época de formación de yacimientos. Los yacimientos de San Vicente y Tatasí también se formaron en la última etapa del Mioceno. Por eso, se puede decir que todos los yacimientos cercanos de la presente área pertenecen a la época nueva de formación como tiempo geológico.

La geología estructural del área estudiada presenta la dirección entre NNO-SSE y Este-Oeste. Esta área se ubica en el punto donde la geología estructural del sistema Norte-Sur continuada desde la frontera con Argentina cambia su dirección al sistema NO-SE hacia la frontera con Perú. En cuanto al grado de plegamiento de los sistemas Ordovícico, Cretácico y Terciario, el primero está afectado más fuertemente, y luego en el orden del Cretácico y la formación Potoco del Terciario. Es decir, en el período Precretácico ocurrieron plegamientos violentos. Además, desde la época de sedimentación del Cretácico hasta después de la de la formación Potoco ocurrieron otros plegamientos fuertes. Pero después de haberse sedimentado la formación San Vicente, los pliegues son suaves y no se observan movimientos fuertes de corteza. Hasta el sistema Cretácico las capas son de formación marina, pero el Cretácico de esta área es del mar litoral y alterna con formación continental mostrando ya litofacies transitoria a esta formación. Después del período Cretácico, se sedimenta sólo la formación continental.

1-2 Interpretación fotogeológica (Véase Tabla 1)

Antes de realizar la investigación geológica, se ha realizado interpretación fotogeológica, abarcando el área total de la investigación, utilizando fotoaéreas a escala 1:46,000 obtenida del Instituto Militar de Geográfico.

Al interpretar fotogeología, se ha usado "Mirror stereoscope with detachable magnifying attachment" de NIKON. Se ha clasificado el área interpretada en 7 unidades principales: A, B, C, D, E, F y G, poniendo mucha importancia en la facies, el sistema de drenaje (densidad y diseño), la resistividad para erosión de las rocas, vegetación y alteración. Mostramos los resultados en la lista de la interpretación fotogeológica de la Tabla 1.

Unidad A: Esta unidad se difunde ampliamente rodeando las rocas volcánicas y piroclásticas de la parte central. El tono de color es de gris a gris claro. La superficie es comparativamente suave. El drenaje indica principalmente las direcciones NO-SE, presentándose, en observación más detallada, forma dendrítica y forma paralela parcialmente. El valle está erosionado de una forma de la letra U suave. Se muestra la estructura de estratificación parcialmente, pero no se encuentra la estructura lineal. En general se presenta una forma de meseta o de cuesta y no se encuentra la existensia de topografías montañosas y abruptas.

Por dichos elementos, esta unidad se considera como tobas y areniscas tobáceas cuyo grado de solidificación es bajo y no ha avanzado mucho la acción de erosión. De acuerdo con el resultado de la investigación geológica, esta unidad se determina como tobas y areniscas tobáceas de la formación Quehua Superior del sistema Terciario que se difunde ampliamente con buzamiento casi horizontal.

Unidad B: Esta unidad se difunde de una manera estrechada y pro-

Tabla I Interpretación de fotogeología

Elementos de observación			A	B	C	D	E	F	G
Carácter fotográfico	Característica tonales	Rocas	Claro a poco oscuro	Poco oscuro a oscuro claro	Claro a medio oscuro	Oscuro a muy oscuro	Claro a medio oscuro	Claro a poco oscuro	Poco oscuro a muy oscuro
		Vegetación	—	—	—	—	—	—	—
	Textura fotográfica	Rocas	Suave macizo	Suave y lineal	Duro y lineal	Muy duro y lineal	Suave parcialmente muy duro	Suave localmente duro	Duro, granulo
		Vegetación	—	—	—	—	—	—	—
Geomorfía	Textura de drenaje	Diseño	Dendrítico fino, subparalelo	Paralelo	Angular	Angular y paralelo	Radial y dendrítico	Paralelo y dendrítico	Sub paralelo y dendrítico
		Perfil de Quebrada	⊔	V	⌣ V	⊔	⌣	∼	∼
	Característica litológicas	Resistividad	Bajo	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto
		Estratificación	Existe poblemente	Muy claro	Muy claro	Muy claro	Parcialmente claro	Parcialmente existe	Medio claro
		Lineamiento	Pobre	Muy claro	Muy claro	Muy claro	Pobre	Pobre	Pobre
Materiales cubiertos		Vegetación	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
		Campo cultivado	No existe	No existe	No existe	No existe	No existe	No existe	No existe
Existencia de zona alterada o mineralizada			No existe	No existe	No existe	Existe	Localmente alterado fuerte	Localmente alterado fuerte	No existe
Conclusión	Rocas interpretadas		Tobas y areniscas tobáceas	Areniscas y lutitas	Areniscas y calizas	Areniscas y pizarras	Rocas efusivas	Rocas piroclásticas	Rocas efusivas
	Resultado de investigación geológica de superficie		Tobas y areniscas tobáceas del Terciario superior	Areniscas y limolitas del Terciario medio	Areniscas calcáreas y calizas del Cretácico	Areniscas y pizarras del Ordovícico	Lavas dacíticas de Animas	Toba lapilli de Rancho Candelaria	Lavas andésticas de Cerro Khumullani

longada por la zona occidental del área estudiada. El tono de color es gris oscuro en comparación con la unidad A. Y la superficie es suave y se observa la estructura bandeada débil. El drenaje es paralelo y el perfil del valle muestra la forma de la letra V puntiaguda. La resistividad para erosión es de grado medio y la estructura de estratificación y lineal se observa claramente. No se encuentra ninguna traza de alteración y mineralización. El límite con la Unidad A mencionado arriba es muy claro y se considera que esta unidad tiene relación de discordancia con la Unidad A. Por dichos resultados esta unidad se determina como areniscas y arcillas estratificadas del sistema Terciario en el que no está avanzada mucho la acción de erosión. Como el resultado de la investigación en el campo, esta unidad se aclara como areniscas y arcillas de la formación San Vicente, estratificada y buzada al Norte con el sistema de NO-SE y con buzamientos de 20° a 30° y de la formación Potoco que se buza agudamente hacia el Norte con el sistema NE-SO.

Unidad C: Esta unidad se difunde por la zona occidental del área estudiada, rodeando la Unidad D abajo mencionada y en la parte oriental se desarrolla prolongada en dirección Norte-Sur en el contacto de Unidades A y D. El tono de color presenta aspecto de disposición alternante de gris blanco a gris. La superficie presenta aspecto duro y muestra lineal. El drenaje presenta irregular y el valle está erosionado mostrando más o menos la forma de la letra V puntiaguda. La resistividad para erosión es alta. La estructura lineal y de estratificación se observa muy claramente y por la zona occidantal se nota la estratificación de una forma de domo. Los contactos entre la Unidad B y D, y esta unidad se consideran como fallas. Por la zona oriental se nota falla con la Unidad D y claramente discordancia con la Unidad A. Por dichos resultados, esta unidad se determina como capa constituída por areniscas y calizas. De acuerdo con

el resultado de la investigación geológica, se aclara que esta unidad se considera como areniscas calcáreas y areniscas rojas calizas de la formación El Molino del sistem Cretácico en que se desarrolla la estratificación y que ha sido afectada fuertemente por la acción de plegamiento.

Unidad D: Esta unidad se difunde ampliamente por las partes Sur y Oeste. Se difunde a lo largo del lecho del Río Chocaya desde Siete Suyos de la parte central del área de estudio hacia corriente inferior. Por lo tanto se indica que esta unidad constituye el basamento del área de estudio. El tono de color presenta de gris a gris oscuro y las características litológicas son duras y se desarrolla bien la estructura lineal. Existen dos sistemas de drenajes, irregular y paralelo. El valle muestra la forma mediana entre las letras V y U; la resistividad para erosión es alta, y se presenta desarrollo avanzado de estratificación y lineamiento.

En la parte Sur las estructuras de plegamiento son claras y se observan las fallas del sistema NEE-SOO, las que pasan desde Ecia. Peña Blanca a Peña Azul.

La mayor parte de los contactos entre esta unidad y otras unidades son de discordancia. Sin embargo, debido a esta característica de estructura lineal y topografía, los contactos por otras unidades son bastante claras.

Por dichos resultados, esta unidad se ha definido como areniscas y pizarras del sistema Ordovícico, las que forman el basamento de esta área. Con los resultados de las investigaciones superficiales y geológicas, se ha confirmado que esta unidad fue la alternancia de areniscas y pizarras del sistema Ordovícico, bien estratificadas e intensamente plegadas.

Unidad E: Esta unidad se difunde ampliamente por el Sur de la parte central del área estudiada, y forma una unidad geológicamente importante abarcando las zonas mineralizadas y alteradas. Su tono de color presenta

de gris claro a gris y su superficie muestra lisa siendo localmente muy angulosa. El sistema de drenaje presenta formas radial y dendrítico; las quebradas presentan forma concavo suave, y alta resistividad por la erosión; se observan parcialmente estructuras de estratificación, pero se encuentran las de lineamiento. Las zonas alteradas localmente presentan el color notablemente blanco y se observan destacadas. Topográficamente por el Oeste de esta unidad se limita de otras por formarse escarpadura, pero por el Oeste existen algunas partes donde no se observa diferencia entre ellas por el efecto de fuerte alteración. Se observan las cumbres destacadas en una forma redondeada y sobresaliente en las topografías redondeadas con color de gris claro. Por los factores arriba mencionados esta unidad se considera como rocas efusivas del sistema Terciario y según los resultados de investigación geológica en el campo se ha aclarado que esta unidad pertenece a dacita de Animas localmente afectada por fuerte alteración de descoloración y silicificación.

Unidad F: Esta unidad se distribuye en pequeña área limitada en torno del Cerro Silla Khasa, situada hacia poco Este de la parte central del área de investigación. Su tono de color presenta gris claro a gris y su topografía es lisa, siendo localmente muy angulosa. El sistema de drenaje presenta paralelo y forma dendrítica y el corte de la quebrada presenta línea suave, resistividad de grado medio para erosión y parcialmente estructura estratificada, pero no se encuentra lineamiento. El contacto con otras unidades forma mayormente escarpaduras y se distingue claramente. Mostrándose parcialmente color muy claro, se observa alteración distintivamente. De acuerdo con las observaciones arriba mencionadas se considera que esta unidad es de rocas piroclásticas, las que se han determinado como la toba lapilli del Rancho Candelaria por la investigación en el campo.

Unidad G: Esta unidad se distribuye en la parte central del área

estudiada en una forma aparentemente circular y forma las partes superiores de los cuerpos de los cerros principales. El tono de color es de gris a gris oscuro y la superficie es escabrosa. El sistema de drenaje presenta forma paralela y dendrítica, y los cortes de quebrada son lisos con alta resistividad por erosión y estructura estratificada, pero no se observan lineamiento. El contacto con otras unidades es bastante claro formando escarpas. Conforme a las observaciones mencionadas arriba esta unidad se considera como rocas efusivas, y se determina que son lavas dacíticas del Cerro Khumullani pertenecientes al sistema Terciario por la investigación en el campo.

1-3 Sistema Ordovícico

En Bolivia, se difunde el sistema Ordovícico por un alcance muy extenso y el Ordovícico es capa principal del país. En cuanto a la estratigrafía, se informa que en la región de Tarija ubicada a la parte meridional de Bolivia se producieron Kainella meridionalis (Kobayashi), Dictyonema cf. flabelliforme (Eichwald), Shumardia erquensis (Kobayashi) y Hoekaspis sp. de la capa inferior del sistema Ordovícico, y Bucania Cyrtoglypha (Harrington), etc., de la capa central del mismo. En la región de Cochabamba, situada en el centro del país, se desarrolla la capa central y superior del mismo sistema y se producen Cruziana furcifera dórb., Lingula münsteri, Bistramia elegans (Hoek), Homalonotus bistrami (Hoek) y etc., cuya estratigrafía es clara. Pero de esta área estudiada y el sistema Ordovícico de sus alrededores no se descubre ningún fósil, de modo que es imposible aclarar el período de este sistema y se considera que pertenece al Ordovícico según su litofacies. El sistema Ordovícico es la capa inferior en esta área y forma la base del área estudiada. El espesor observado en esta región es 1,500 m, pero, su litofacies es en general monótona. Hasta ahora, el sistema Ordovícico de esta región se trataba en conjunto como el sistema Ordovícico desconocido, pero, según el resultado de esta investigación, se observa evidentemente litofacies diferente entre la parte inferior de este sistema y la parte superior del mismo, por consiguiente se divide en el miembro de Peña Blanca compuesto de la alternancia de areniscas y pizarras, y el de Peña Azul de pizarras.

Miembro de alternancia de areniscas y pizarras de Peña Blanca: Este miembro se sitúa en la parte inferior en el área estudiada y se desarrolla en el meridional y el oriental del área y en la orilla del Río Chocaya. El espesor de este estrato es 1,500 m. Refiriéndose a la litofacies, pizarras del color negro o gris oscuro purpúreo y areniscas de grano fino

del color gris claro o gris se alternan en general del espesor de 10 cm y demuestran una estructura bandeada hermosa. Desarrollándose la estructura de lámina, se observa la exfoliación notable. El espesor de un estrato es fino generalmente en la parte meridonal, pero, en la parte oriental es grueso y existe la posibilidad de alcanzar hasta casi un metro. Está avanzada la acción de diagénesis, areniscas y pizarras son duras. Este estrato, por la mina Animas-Siete Suyos, se desarrolla extensamente debajo de dacitas y tobas brechas, y es roca madre de yacimientos en la parte profunda.

Miembro de pizarras de Peña Azul: Este miembro se desarrolla típicamente por el pueblo de Peña Azul situado al extremo meridional del área estudiada. Limita con el estrato inferior de Peña Blanca de areniscas y pizarras con concordancia, del cual se traspasa al estrato de Peña Azul compuesto de pizarras teniendo los límites relativamente evidentes. Limita con el sistema Cretácico o el Terciario situado arriba de este estrato con discordancia inclinada, y la parte superior de este estrato ha sufrido erosión, por lo cual el espesor no se sabe y se supone que sería más de 1,000 m. La litofacies de este estrato es notablemente monótono y se compone principalmente de pizarras del color gris oscuro con estructura de lámina desarrollada, y raramente alterna con areniscas finas compactas y duras. En las áreas donde se desarrollan este estrato no se observa ninguna mineralización ni alteración y tampoco tiene relación con la mineralización.

1-4 Sistema Cretácico

El Mesozoico en Bolivia carece del sistema Jurásico y se difunden principalmente el Triásico y el Cretácico. Dentro de estos dos, el Cretácico es parte donde se difunde el Paleozoico y se difunde en las

serranías de los Andes del Este formando el geosinclinal estrecho y largo en el Altiplano.

La mayoría del Cretácico difundido en el Altiplano limita con el Paleozoico de abajo con discordancia inclinada evidente, y en la parte superior se transpasa gradualmente al Terciario que es formación perfectamente continental. Bolivia del Cretácico ya estaba en condición de ser aislada del océano y era de la formación del mar intercontinental, del litoral, de la lacustre o de la continental. El Cretácico de la zona de Miraflores, ubicada al Norte de la ciudad de Potosí, tiene fósiles bien conservados, y la formación El Molino del mismo sistema compone la parte superior del Cretácico. Y el Cretácico de esta área, según su litofacies y fósiles producidos, se correlaciona a la formación El Molino.

La formación El Molino: la formación El Molino de esta área se difunde por un alcance estrecho de la parte occidental y la oriental del área estudiada y demuestra una estrecha distribución característica. La localidad típica se sitúa a 2 km al Sursudeste de Palca Chocaya, por donde corre un afluente del Río Chocaya hacia el Norte, y esta formación se desarrolla hacia el Nornoroeste-Sursudeste con 500 ~ 600 m. de ancho. En esta área, la formación limita con el Paleozoico con falla y tiene relaciones de discordancia inclinada con la formación Quehua del Terciario. La formación El Molino, difundido por el Oeste del área estudiada, se desarrolla alrededor del Ordovícico que tiene estructura de domo con discordancia.

Aunque no se sabe el espesor de esta formación, en el área estudiada es de 650 m. La litofacies de esta formación, en general, es arenosa y se compone, de abajo hacia arriba, de conglomerados basales del color rojo oscuro, de areniscas de grano grueso del color rojo, y de calizas del color gris claro o gris que alternan con estas areniscas.

Como resultado de analizar fósiles de animales y plantas sacados de

esta formación, se descubrió Melanoides sp de calizas arenosas del color rojo grisáceo de la formación El Molino ubicada al Oeste del área estudiada, y en la parte oriental del área se descubrieron epidermis y uñas de mamíferos. Esta formación, según este resultado, se considera como sedimentos de la segunda mitad del Cretácico, y se correlaciona con la formación El Molino por Potosí. Referiéndose al ambiente sedimentario, era del mar intercontinental de poca profundidad, y se considera que se sedimentó encima del fondo plano del mar o el lago que se convertiría en la tierra durante la estación seca o admitiría un poco la llegada del agua del mar por la transgresión del mar. El clima de la época era subtropical y templado.

En cuanto a la relación estratigráfica de esta formación se observa una parte que alterna con el Ordovícico con discordancia inclinada en la ladera septentrional del Cerro Mora Khollu ubicado al extremo del Sureste del área estudiada, y en esta parte existen conglomerados basales del color rojo pardo oscuro. Y por aquí, esta formación demuestra estructura de domo que se extiende de Norte a Sur y es estructura diferente de las estructuras generales de sus alrededores. La presente formación de la parte oriental también se difunde largamente en dirección de Norte-Sur en forma de fosa tectónica y tiene dirección concordante al sistema Ordovícico de los alrededores. Se tratará nuevamente de las características de estructuras geológicas en otro capítulo. Alrededor de los yacimientos no se observa la distribución de la presente formación, por lo que actualmente no se encuentra la relación entre la presente formación y los yacimentos.

1-5 Sistema Terciario (Véanse Pl. 8, A-7 y A-8)

El sistema Terciario del área investigada, empezando por la parte inferior, se puede dividir en las formaciones Potoco, San Vicente y Quehua. Las formaciones se limitan con discordancia. Estas formaciones, excepto

la Quehua, se distribuyen por partes reducidas y estrechas del área investigada, mientras que la formación Quehua se distribuye muy ampliamente en la mayor parte del área investigada. Estas formaciones se denominan de acuerdo con los nombres utilizados en el mapa geológico publicado por GEOBOL a la escala 1/100,000. En este mapa geológico, la formación Quehua se divide en las formaciones superior e inferior, y a la formación del área investigada se la denomina la formación superior. Sin embargo, en esta área investigada, como no se encuentra la formación inferior, denominamos la presente formación simplemente la formación Quehua. Todas estas formaciones son sedimentos continentales, o sea, de Molasa. Referente al sistema Terciario Neógeno del Altiplano, se forma cuenca sedimentaria por subida de los Andes del Este y Oeste y por hundimiento de sí misma. Debido a estos movimientos tectónicos sucesivos, se sedimenta el Terciario con enorme espesor, al cual pertenece el Terciario del área investigada.

Formación Potoco: En cuanto a esta formación, como no se encuentra más que un poco en el borde oriental del área investigada, nos resulta muy difícil explicarlo detalladamente. Esta formación del área investigada, cuyo espesor alcanza a más de 120 m, es del sedimento de las areniscas del color gris rojizo de grano medio y fino, y del limo. El estrato, cuyo espesor es de 2 m a 1 m, presenta una estratificación muy clara y se distingue claramente de las formaciones superior e inferior de esta formación. Aunque, según una referencia, esta formación se limita en concordancia con la formación El Molino del sistema Cretácico, la inferior de esta formación, pensamos por el resultado de nuestra investigación que esta formación se limita con discordancia paralela. De todos modos, como esta formación no aflora mucho en la cercanía del confín de esta área, no es clara esta relación.

La edad de esta formación, según la estratigrafía del área Sur Lipez,

es de la del Eoceno u Oligoceno. Sin embargo, pensamos que, aunque no estamos seguros, como esta formación del área investigada se limita en discordancia con la superior San Vicente y resulta que es de la edad mucho más antigua que la del Mioceno, será de la del Eoceno.

Formación San Vicente: No se distribuye más que un poco en el extremo del Nordeste del área investigada y se limita con la formación Potoco con discordancia clara. Esta formación, cuyo espesor es más de 80 m, se compone de la arenisca tobácea rojiza y de la arenisca, y en la parte básica, se desarrolla el conglomerado basal que tiene guija de la arenisca del sistema Ordovícico. Se descubrieron en esta formación unos fósiles vegetales que son muy parecidos a la Cassia, el árbol de hoja ancha. Así la edad de dicha formación, según nuestro juicio, pertenecerá a la época Miocena del Terciario Neógeno. Investigando formaciones del Mioceno alrededor del área de investigación, sabemos que se desarrolla muy ampliamente la formación San Vicente fuera del área. Pero la litofacies de la presente formación es diferente de la de la formación San Vicente de la localidad típica. Es decir, la formación en localidad típica se compone de conglomerado de forma maciza sin estratificación, mientras que en esta área la litofacies es arenosa y no se encuentra conglomerado excepto el de basamento. Por consiguiente, aunque resulta muy difícil correlacionar esta formación con la formación San Vicente de la localidad típica a base de sus litofacies, correlacionamos así juzgando por los resultados de determinación de fósiles.

Formación Quehua: Esta formación se encuentra muy ampliament en la mayor parte del área investigada, excepto en las partes del sistema Ordovícico que se encuentra en los bordes Oeste y Sudeste, y del sistema Terciario, y en las partes por Siete Suyos donde se encuentra la roca volcánica. Y en la parte del Norte del área investigada no se encuentra otra formación. Aflora mucho a lo largo de Quebrada Santa Ana como la

localidad típica. Las formaciones San Vicente y Potoco no tienen rocas piroclásticas y lavas, y están compuestas principalmente de arenisca roja de la formación continental, en cambio, esta formación está compuesta de rocas piroclásticas que demuestran varias litofacies. Y además presenta la particularidad topográfica en el área donde se encuentra esta formación, y en general señala geomorfía plana de la etapa juvenil, pero los valles a vaces forman pendiente erosivo casi vertical, cuya distribución se ve con facilidad por las fotografías aéreas. La facies litológica de esta formación es bastante tobácea, y allí se intercala la arenisca roja lenticular. Se compone de las tobas lapilli y pisolítica, así como parcialmente de la toba pumícea blanda que contiene las pumitas porosas del diámetro menos de 20 cm, de las cuales salió bastante gas. No desarrolla la acción de diagénesis en esta formación y la facies litológica en general es blanda. Aunque cada estrato no tiene estratificaciones, son claras las líneas de límite entre cada estrato. Y eso significa que cada estrato se sedimenta en poco tiempo. En varios estratos se ve la estructura graduada vertical, y enseña la facies litológica del sedimento caído. También se desarrolla la estratificación entrecruzada y señala que una parte de estos estratos se sedimentó en el agua. El espesor de esta formación en el área investigada es más de 300 m, cuyo rumbo es irregular, pero la mayor parte corre más o menos del Este al Oeste y se buza hacia el Norte.

Se considera que esta formación se debe a la efusión por grietas de amplia área. Pero en el campo casi no se observa la variación en dirección horizontal de espesor, facies litológica, estructura graduada, etc., por lo que no son evidentes los lugares de efusión.

En cuanto a su edad, como esta formación confina en discordancia con todas las formaciones inferiores y no está afectada por plegamiento de la serie Miocena o posterior, se estima que pertenece entre la última etapa del

Mioceno y el Plioceno, y eso coincide con el resultado de la determinación de edad absoluta de roca volcánica que cubre esta formación. En esta formación del área investigada no se encuentra ningún yacimiento.

1-6 Sistema Cuaternario

En el sistema Cuaternario del área investigada, se encuentra la turba del Pleistoceno que se desarrolla por el Río Angosto, y el Cuaternario forma la terraza del nivel bajo. Su espesor es entre 10 cm y 20 cm y no tiene continuidad. Por la cuenca del Río Chocaya no se encuentra claramente la terraza. Sin embargo, existe, por ambos lados del Río Villa Villa, en el borde Occidental del área investigada, la terraza amplia cuya altura es 5 m, y se halla el depósito relativamente espeso, compuesto principalmente de las arenas rojas. El estrato aluvial se desarrolla por los ríos principales y por la llanura, pero su extensión es reducida y estrecha.

CAPITULO 2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

2-1 Resumen (Véase Pl.7)

La geología estructural de Bolivia tiene relaciones estrechas con la división geomórfica y la distribución de geología. El movimiento tectónico que se correlaciona con el movimiento orogénico Alpino del Cenozoico de la Cordillera Andina y la distribución del Escudo Brasileño controla fuertemente las rocas sedimentarias posteriores al Ordovícico y de éste. El área investigada está situada al Sur de la línea tectónica de Arica-Elbow que causa dicho cambio estructural grande. Por lo tanto, alrededor del límite entre el Altiplano y la zona montañosa de la parte Este se encuentra una línea que divide el sistema Terciario y el Paleozoico continuada más de unos 100 km desde la frontera de Argentina hasta la de Perú. (Esta línea se llamará en adelante la falla Coniri *por poder ser la prolongación de ésta.) Y la presente área se sitúa en su lado Este. Al Sur de la línea tectónica de Arica - Elbow y además al Este de la falla Coniri se difunde ampliamente el Paleozoico. En este sistema los ejes de pliegue y fallas presentan la dirección aproximadamente Norte - Sur. La geología estructural del área investigada está controlada por la geología estructural de la Cordillera Andina. El Ordovícico y Cretácico tiene ejes de pliegue de la dirección NNO - SSE, pero se observan variedades locales. Los rumbos de las formaciones Potoco y San Vicente del Terciario presentan representativamente la dirección NNO - SSE. En cuanto al grado del plegamiento, se nota la diferencia en cada estrato. En la parte Oeste del área investigada se supone la existencia del levantamiento; también se observa el movimiento

---

* La falla Coniri es la falla que divide el Paleozoico y el Terciario desarrollada representativamente en Coniri del Departamento de La Paz.

tectónico que causa fallas sobrecorridas, y se nota el desorden en rumbos y ejes de pliegue. Dentro de la formación Quehua no se notan estructuras claras, y el buzamiento es muy flojo. Por lo tanto, se considera que la geología estructural fundamental en el área investigada se formó antes de la sedimentación de la formación Quehua. Por otra parte, en la investigación de recursos minerales efectuada de 1976 a 1978 en el área San Vicente de la región Sur de la República se observó la falla San Vicente que separa el Paleozoico y el Terciario. Se considera que ésta tiene una serie de relaciones con la falla Coniri o que es la misma Coniri. Se presupone la prolongación al Norte de la falla San Vicente también dentro del área de la presente investigación, pero en las observaciones en el campo no se ha aclarado ni la probabilidad de su existencia subterránea. Entre las fallas aparentes o inferidas de esta área, las que separan el Ordovício y Cretácico tiene dirección aproximadamente NNO - SSE, lo cual no se contradicen con la geología estrctural general de la parte Sur de la Cordillera Andina. Las fallas que se observan acturalmente en el Ordovícico y Terciario se hubican en dirección entre el sistema NE - SO ó Este - Oeste, lo cual parece sugerir las relaciones entre cada estrato y el sistema de fisuras. Por lo tanto será esto también uno de los objetos del estudio en el futuro.

Hay diferencias estructurales entre el sistema Cretácico, también entre el Cretácico y el Terciario, además en el Terciario hay gran diferencia en el grado de plegamiento entre la formación Potoco y las formaciones superiores como las de San Vicente y Quehua. Juzgando por ello, se cosidera como lo siguiente el proceso de desarrollo de la geología estructual en el área investigada. Es decir, el sistema Ordovícico se pliega por el movimiento orogénico de Nevada en la segunda mitad del Jurásico y el movimiento orogénico de Variscano de fines del Paleozoico a primeros del Mesozoico. Después de haberse sedimentado el Cretácico ocurrió el plegamiento antes o

en el Mioceno, formando fallas del sistema Ordovícico y la falla que divide el Cretácico y el Ordovícico situadas en la presente área. Y el sistema Cretácico se hundió fosatectónicamente plegándose más. (Véanse Las fallas A, B y E del Pl. 7)

Luego la acción de pliegue ocurrió después de haberse sedimentado la formación Potoco, y se formó la geología estrucural casi igual a la actual. En esta área no hay transformación estructural notable después de la sedimentación de la formación San Vicente. Pero, en la región de San Vicente contigua al Sur del área investigada, la conocida falla San Vicente se forma, y se deduce que, a causa de su influencia, el Ordovícico y el Cretácico se desarrollan a la parte Oeste de la presente área. A partir de la sedimentación de la formación Quehua, no hay gran cambio, sino que se pliegan en forma ondulada con el buzumiento flojo. Después de haberse sedimentado la formación Quehua, la actividad volcánica ocurre en los alrededores de Animas, Siete Suyos y Gran Chocaya, sin embargo, es difícil encontrar relaciones entre dicha actividad volcánica y la geología estructural. Por consiguiente, se estima que no hay relaciones directas entre la geología estructural general y la formación de vetas en esta área que tiene relaciones íntimas con la actividad volcánica.

2-2 Pliegues (Véanse Pls. 1 y 7)

A base de los resultados de la presente investigación, seleccionamos zonas donde se observan estructuras comparativamente claras de pliegue, y las dividimos en los bloques A ~ I. Esta división se hace fundamentalmente a base de unidad de diferentes tiempo geológico y litofacies, pero referente al sistema Ordovícico hay unos bloques a los que no se aplica esta regla. Luego examinamos la dirección en la que se concentran ejes de plieque de cada bloque, a través de utilizar el hemisferio inferior de red "schmit", como se expresa en el Pl.7.

En el área investigada se observan plieques claros en los sistemas Ordovícico y Cretácico. En las formaciones Quehua y San Vicente del Terciario también se encuentran pliegues que presentan estructura monoclinal, aunque no son evidentes. No se observan estructuras claras en la formación Quehua del Terciario. Dentro del área investigada la distribución de las formaciones Potoco y San Vicente es estrecha y no existen ejes de pliegue, por lo cual las excluimos del ánalisis por red "schmit" considerando que sólo están afectadas por el levantamiento en forma de domo.

Conforme a la observación en el campo, consideramos que el plegamiento en el área investigada ocurrió tres o cuatro veces, pero no hemos podido aclarar si el último plegamiento se originó sólo en la formación San Vicente, o esta formación presenta buzamiento aparente como consecuencia de haberse sedimentado en forma "abat" sobre la formación Potoco. Por consiguiente, aunque se observa el plegamiento de diferente época en cada uno de los sistemas Ordovícico y Cretácico y la formatión Potoco del Terciario, en cuanto al último plegamiento, no hemos podido aclarar su presencia a base de esta investigación en el área limitada. Según se considera en general en Bolivia los pliegues del Ordovícico se formaron con el transcurso de tres movimientos orogénicos; el Tacónico de la etapa primaria del período

Silúrico, el Valiscano y el Alpino. Pero, en la facies de tiempo del movimiento orogénico de la Cordillera Andina, el plegamiento Tacónico del Paleozoico no afectó mucho; la zona Este de los Andes fue afectada fuertemente por el plegamiento Nevada en la época temprana del moviviento orogénico Alpino del Mesozoico, y además, posteriormente fue afectada otra vez por plegamiento de la face de movimiento orogénico Alpino.

En la presente informe, de acuerdo al discurso general se considera como lo sigue sobre el sistema de Ordovícico; la constitución de los pliegues del Ordovícico se formó en la fase Nevada y al mismo tiempo los ejes de pliegues tomaron las direcciones Norte-Sur ó NNO-SSE, y también ocurrieron semejantes movimientos después de sedimentación del Cretácico, luego en la parte Oeste del área investigada se variaron los ejes de pliegue del Ordovícico, en las direcciones de NO-SE a NE-SO. Desde entonces el sistema Ordovícico mantenía dirección de NNO-SSE debido a que la fuerza que mostró la dirección Este-Oeste era predominante, manteniendo sucesivamente desde terminación de sedimentación del Cretácico, y se formaron los ejes de pliegues del Ordovícico con misma dirección que la del Cretácico junto con el mismo.

Los bloques A, C, D, E, F, G e I en el plano Pl.7 corresponden a las zonas que el sistema Ordovícico se distribuye. Dentro de éstos, en los bloques C y D no estań distinguidos los miembros de Peña Azul y Peña Blanca.

Según cada diagrama de curvas de equidensidad, las direcciones de estratificación y los ejes de pliegue son diversas, sin embargo si tenemos una visión global de conjunto de las zonas accidentales de A, C, D, E y F, las direcciones enfocadas de ejes de pliegues se varían de NE a SE en el mismo sentido que el movimiento de manecillas de reloj y también los buzamientos de los ejes se cambian de NE a SE, por los cuales se presenta

la estructura levantada que tiene su centro al Oeste del área investigada. En cuanto a la ausencia del miembro de Peña Azul en el bloque C se puede explicarlo por el levantamiento de alrededor del bloque D y por la erosión de esta parte que ocurrió después de levantamiento. Además, las direcciones y los buzamientos en los que están concentrados los ejes de pliegue en los dos bloques G e I son S55°E, 5°S y N30°O, horizontal. Conforme a esto, podemos considerar que la estructura general del Paleozoico de los Andes ubicados al Este del área investigada está guardada comparativamente bien en el bloque I, mientras que el bloque G está afectado por levantamiento, y los ejes de pliegue se desvían un poco al Oeste.

Los ejes de pliegue cerca de Siete Suyos se cambian gradualmente al Oeste y se observa una tendencia de que los buzamientos de la formación también se disminuye.

Se reconocen típicamente los pliegues de interformaciones con una unidad de varios centímetros a varios metros de largo de onda, y estructura "boudin" a medida que se disminuyen los buzamientos.

La estructura general del sistema Ordovícico en el área investigada, se formó antes de sedimentación de la formación Quehua, pero en la presente investigación no se ha podido aclarar su período.

Los plegamientos del sistema Cretácico se observan en el bloque B de la parte Oeste en el área investigada y en el bloque H al Este. Los pliegues en ambos bloques presentan gran diferencia, lo cual sería debido a la diferencia de edad de su formación, pero no se pudo aclarar su diferencia. Los pliegues del Cretácico que se observan en el bloque H en la parte Este del área investigada se formaron después de hundimiento en forma de fosa originado por las fallas normales de ambos lados Este y Oeste.

Es decir, la estructura de pliegues de dicho bloque posiblemente habría formado cuando la estructura del sistema Ordovícico se transpasó

en su última forma, y luego ha seguido y sigue manteniendo conformidad estructural con el sistema Ordovícico.

Por otra parte, según la observación en el campo, en cuanto a rumbos, buzaminetos y ejes de pliegues del sistema Cretácico del bloque B en la parte Oeste, se reconoce que ocurrió el movimiento rodeando el bloque A, después se formó el corrimiento F que corta la formación Potoco en el extremo Este del bloque B, y consecuentemente se formaron las estructuras sinclinales y anticlinales que se desarrollan paralelamente a la falla F en la parte Oeste.

En cuanto al sistema Cretácico de ambas partes de Este y Oeste del área investigada, si inferimos proceso de desarrollo de sus estructuras, podemos citar el orden siguiente:

① Formación de las fallas A y B;

② Hundimiento del bloque H;

③ Plegamiento del bloque H;

④ Formación del borde levantado del bloque B;

⑤ Formación de una clase de falla por plano de estratificación en el plano de discordancia formada por levantamiento entre el sistema Ordovícico y el Cretácico, y

⑥ Empuje acendiente por la falla F, y formación de los ejes de anticlinal y sinclinal.

El último plegamiento ocurrió después de sedimentación de la formación Potoco.

2-3 Fallas (Véanse Pls. 1, 2 y 7)

En el área estudiada se reconocen varias fallas claramente existentes e inferidas y se las demuestran en el Pl. 1 y Pl. 7. Como no hay nombre de lugares adecuados alrededor de las falls, se nombran A, B, C,.... H por la conveniencia. En la presente área estudiada se observan desarrolladas las fallas del Norte-Sur, del Nordeste-Suroeste, o del Este-Oeste, las cuales se consideran fundamentalmente como fallas del Este-Oeste y del Norte-Sur.

Esta falla pertinente al sistema Norte-Sur, que está fuera del área estudiada, está relacionada íntimamente con la falla San Vicente cuya existencia se infiere cerca del borde Oeste del área investigada. La falla San Vicente pasa Altiplano longitudinalmente en el área San Vicente que se sitúa al Sur del área estudiada. Y es claro que la falla San Vicente se relaciona íntimamente con la falla Coniri que formó constitución básica de la falla San Vicente.

Las fallas A y B: Con estas fallas el bloque H linda con los bloques G e I de ambos lados. (Los bloques están en el mapa ilustrado de geología estructural.) Sólo entre la falla A y la B se difunde el Cretácico, y la parte prolongada de las fallas se cubre de la formación Quehua. Aunque ambas fallas se formaron después de la sedimentación Cretácica, serán las fallas normales hechas antes de que tuviera el Cretácico la estructura de pliegues. Se observaron varios lugares que tienen las formas verticales en el plano de la falla A. Pero por la falla B se observa notablemente un estrato fractuado del Cretácico y del Ordovícico y no se ve ningún plano de falla evidente. Pero suponiendo que exista una falla vertical o casi vertical, consideramos la falla B como falla normal igual que la A. Se considera que el Cretácico se hundió en forma de fosa tectónica por causa de la formación de las fallas A y B. Después del hundimiento, el

sistema Cretácico junto con el sistema Ordovícico que está alrededor fue afectado continuadamente por el movimiento de pliegue que tiene su eje de la dirección aproximada Norte-Sur.

Las fallas C y D: Ambas son fallas después de la sedimentación de rocas piroclásticas y dacitas de Animas del área estudiada, y las de la etapa más tardía en el área. La falla D, según el resultado de la observación en el campo, es falla normal de la etapa más tardía que la falla C. Se supone que la parte Norte de la falla se hundió relativamente más que la Sur. El plano de falla tiene inclinación de unos 60°. Se observó una zona fracturada, pero se supone que la dislocación por falla era poca. Si observamos las brechas volcánicas de Belén Loma difundidas en el lado Norte de esta falla, o si observamos las tobas lapilli de la parte inferior de Rancho Candelaria, llegamos a diferentes interpretaciones sobre el hundimiento y el levantamiento relativos de las fallas de ambos lados de este plano de la falla C. En esta investigación se supone que la parte Norte se solevantó y que brecha volcánica de Belén Loma se sedimentó parcialmente después de ese solevantamiento, pero lo cual es uno de los asuntos que se han de examinar en el futuro.

La falla E: Esta falla se puede perseguir hasta unos 5 km en el área estudiada. La época de la formación de esta falla es entre la época de formarse la base de la estructura plegada del Ordovícico y la época de cubrirse esta falla de la formación Quehua, pero no se ha podido aclarar la época concreta por la observación en el campo. Según la presente investigación, sin embargo, esta falla se formó en la misma época que las fallas A y B después de la sedimentación del sistema Cretácico o un poco más tarde, por lo cual se infiere que es más antigua que las otras fallas del área estudiada. Esta falla se observa solamente dentro del sistema Ordovícico sin limitar con fallas de otras épocas. La dirección de la

falla se semeja a la del grupo de vetas de las zonas mineralizadas de Animas, Siete Suyos, etc. Por consiguiente, esto es uno de los asuntos que se han de examinar de ahora en adelante. Los ejes sinclinales, observados en el estrato de Peña Azul difundido en el bloque D al Noroeste de la falla y en el mismo estrato en el bloque F al Sudeste de la falla, se encuentran casi continuados aunque se observen un poco desordenados. Basándose en este hecho se considera que la falla E es falla normal y que su parte Noreste se hundió. Según la presente distribución del estrato de Peña Azul, se supone que la dislocación vertical por esta falla alcanza a más de 800 m, de modo que es probable haber ocurrido la dislocación horizontal aunque no se haya podido comprobarla. Refiriéndose la dislocación, será un asunto que se ha de examiner junto con el carácter de la falla del Sur de Bolivia después del Cretácico y la época misma de la formación. Debido a que no está desarrollado el estrato de Peña Azul en el bloque C al Noroeste de esta falla, se considera que el estrato de Peña Azul se desapareció por causa de la erosión como resultado del levantamiento después de la formación de la falla E.

La falla F: La presente falla tiene la dirección del sistema NNE-SSO y es falla de empuje cuyo plano tiene una inclinación de unos 70° hacia el Este. Respecto a la época de la formación de esta falla, debido a que no se reconoce al Este de esta falla la distribución del sistema Cretácico y la formación Potoco del Terciario y que limita con el sistema Cretácico y la formación Potoco al Oeste, se considera que esta falla se formó después de la sedimentación de la formación Potoco. Y, están difundidas al Oeste de la falla F las formaciones San Vicente y Quehua después de la sedimentación de la formación Potoco, pero no se observa la prolongación de la presente falla dentro de la formación Quehua. Por lo tanto, se considera que esta falla ya se había formado al sedimentarse

la formación Quehua, pero no es claro si la formación San Vicente se sedimentó antes o después de la época de terminarse la formación de esta falla. Sin embargo, juzgando por la suposición de que la falla F tiene caracteres semejantes a la H, y, de que la forma de distribución de la formación San Vicente y la formación entre la falla F y la H, se infiere que la falla F tamién se formó antes de sedimentarse la formación San Vicente. Aunque se reconoce al Oeste de la falla F el eje sincilinal del sistema Cretácico paralelo a la dirección de la falla, se considera que este pliegue se formó con relación a la falla de empuje F.

La falla G: Esta falla será una especie de falla por plano observada entre el bloque A y el B en el mapa ilustrado de geología estructural. Se infiere que sea una falla normal que tiene plano de falla inclinada suavemente al Este, pero no son claros los detalles de la dislocación y su dirección por causa de la fractura de estrato alrededor de una falla inferida y sedimentos del Cuaternario. Cuando nació esta falla, se considera que el sistema Ordovícico se extendía más ampliamente que ahora y ya tenía una estructura que acompañaba al levantamiento. Se supone que el sistema Cretácico llegó a indicar la distribución y la estructura de hoy por las fallas F y H después de ese levantamiento.

La falla H : Se infiere que esta falla tiene dirección casi semejante a la F e influyó hasta el interior de la formación Potoco. Por demostrar la dirección casi igual que la de la forma de distribución del sistema Cretácico situado al Oeste de esta falla y la falla F, se supone que sea falla de empuje. Pero, a juzgar que el declive de la estratificación se hace abrupto alrededor de la falla y que las litofacies de areniscas rojas del sistema Cretácico y de areniscas del color rojo pardo son muy parecidas alrededor de la falla, el carácter de esta falla se hará de examinar en el futuro.

Resumiendo el orden de formación de fallas del área estudiada, se supone el orden como siguiente, pero las fallas con límites claros superior e inferior de la época de formación son pocas. Es decir que esta decisión se basa mayormente en la suposición y la analogía, por eso hay varios problemas sobre el orden de fallas que se harán de examinar en el futuro.

Etapa antigua	(1)	la falla A y la B
	(2)	la falla E
	(3)	la falla G
	(4)	la falla F y la H
Etapa nueva	(5)	la falla C
	(6)	la falla D

Y no se ha comprobado claramente por esta investigación la relación directa entre la época de la formación del sistema de fisuras de vetas y su mecanismo, y el sistema de falla.

CAPITULO 3 ROCAS IGNEAS

3-1 Resumen (Véanse Figs. 6 y 6-1 ~ 7, A-8, A-10 ~ A-12-3, Pls. 1 y 2)

La actividad volcánica en la región Suroeste de Bolivia que comprende el área investigada se concentró al tiempo después del Terciario Neógeno. Según las referencias, la actividad volcánica del área Sur Lípez empezó en el tiempo de efusión de la lava Potoco existente superiormente a la formación Potoco, y luego continuaba intermitentemente hasta el tiempo de sedimentación de la formación Quehua.

La actividad volcánica en el área investigada comenzó después de sedimentación de formación San Vicente de la época Miocena, pero no se reconoce la actividad volcánica en los períodos Ordovícico, Cretácico y Terciario, antes de la formación San Vicente.

Si consideramos regionalmente la actividad volcánica del área investigada, las rocas volcánicas se encuentran esparcidas en los alrededores de las minas Tatasí, Chorolque, Tazna y Ubina, y también se distribuyen ampliamente desde Sur Lípez que se sitúa en la parte Sureste del área investigada, hasta los alrededores de la frontera de Argentina, presentando topografía volcánica característica.

En el área investigada las rocas piroclásticas y volcánicas después de la formación Quehua se difunden ampliamente y cubren con discordancia formaciones inferiores tales como las formaciones San Vicente y Potoco del Terciario, el sistema Cretácico y el Ordovícico.

La actividad volcánica de dacita en una serie, relacionada íntimamente con la mineralización que caracteriza el área investigada, empezó en la última etapa del Mioceno. Es decir, a continuación de sedimentación de la formación Quehua, lavas de dacita y rocas piroclásticas se sedimentaron ampliamente con concordancia sobre esta formación, rodeando Animas. Su

Símbolos en carta triangular	Núm. de muestras	Localidades y rocas
● 1	T-1	Cerro Khumullani Chico, dacita
● 2	T-2	Animas, dacita
● 3	T-3	Animas, dacita
● 4	T-4	Animas, dique de dacita
● 5	T-5	Cerro Pabellón, dacita
○ 1	62	San Vicente, dique de andesita con biotita
○ 2	196	Tabla Cruz, andesita con biotita
○ 3	75	Cerro Evangelista, dacita con biotita
○ 4	59	San Vicente, dique de dacita con biotita
○ 5	171	Chicharrona Punta,(Interior Mina Tatasí) dacita con biotita
■ 1	L1	Por camino San Cristobal-Alota noroeste de Ecia. Culpina, 3800m 67°14'W, 21°15'S mugearita condivina, lavas Potoco.
■ 2	L2	Río San Antonio, norte de Quetena, 4150m, 67°13'W, 22°10'S cuarzo-latiandesita, lavas Bonete (?)
■ 3	L3	Lava vitriosa, norte de San Antonio de Lipez, 4300m 66°51'W, 21°48'S riodacita, formacion Quehua superior
■ 4	L4	Muro de caldera de Cerro Lipez, 5100m, 66°53'W, 21°54'S dacita, formación Estratovolcán
■ 5	L5	Cerro Lipez, 5000m, 66°53'W, 21°54'S riodacita, formación Estratovolcán
■ 6	L6	Volcán Soniquera, 5100m, 67°15'W, 22°02'S riodacita
■ 7	L7	Volcán Corina, 4250m, 67°57'W, 21°34'S riodacita
■ 8	L8	Volcán Quetena, 4350m, 67°23'W, 22°17'S riodacita
■ 9	L9	Volcán Galera por el camino Atocha-Tatasí, 3950m 65°58'W, 20°59'S, riodacita
■ 10	L10	Laguna Curutu, 4500m, 67°06'W, 22°26'S riodacita, formación Estratovolcán
■ 11	L11	Domo de lava de Khara Laguna, 4450m, 67°48'W 21°55'S riodacita
■ 12	L12	Lava entre Laguna Collpa y Laguna Busch, 4600m 67°18'W 22°35'S, dacita, formación Estratovolcán
■ 13	L13	Campamento Río Blanco, 4700m, 67°49'W, 22°40'S dacita, formación Estratovolcán
■ 14	L14	Volcán Cañapa, 4900m, 68°05'W, 21°29'S cuarzo-latiandesita
■ 15	L15	Volcán Cañapa, 4400m, 68°05W, 21°26'S cuarzo-latita
■ 16	L16	Cuesta norte de Volcán Licancabur, 4300m, 67°52'W, 22°48'S, dacita
■ 17	L17	Volcán Juriques, 4400m, 67°50'W, 22°51'S cuarzo-andesita, escoria
■ 18	L18	Domo de lava cerca de Escala, 3950m, 66°53'W, 21°36'S cuarzo-latiandesita
□ 1	I1	Cuesta norte de Cerro Lipez, 4900m, 66°53'W, 21°54'S riodacita, formación Quehua superior
□ 2	I2	Por camino Potosí-Challapata, 110km de Challapata, 4100m riodacita formación Los Frailes (la muestra comparativa)
□ 3	I3	Por camino Quetena-Laguna Colorada, 22km de Quetena 4700m, 67°32'W, 22°11'S. riodacita, formación Ignimbrita
□ 4	I4	Laguna Curutu, 4500m, 67°06'W, 22°26'S dacita, formación Ignimbrita
□ 5	I5	Por camino Laguna Verde-Laguna Curutu, 80km de Laguna Verde 4650m, 67°23'W, 22°29'S. riodacita, formación Ignimbrita
□ 6	I6	Laguna Khara, 4400m, 67°48'W, 21°55'S riodacita, formación Ignimbrita
□ 7	I7	Sur de Laguna Busch, 4650m, 67°15'W, 22°41S riolita, formación Ignimbrita
□ 8	I8	Cerro Corina, 4250m, 67°57'W, 21°34'S riodacita, formación Estratovolcán

Fig. 6 Diagrama Triangular de Rocas Volcánicas
(Tabla de los Símbolos Adaptados)

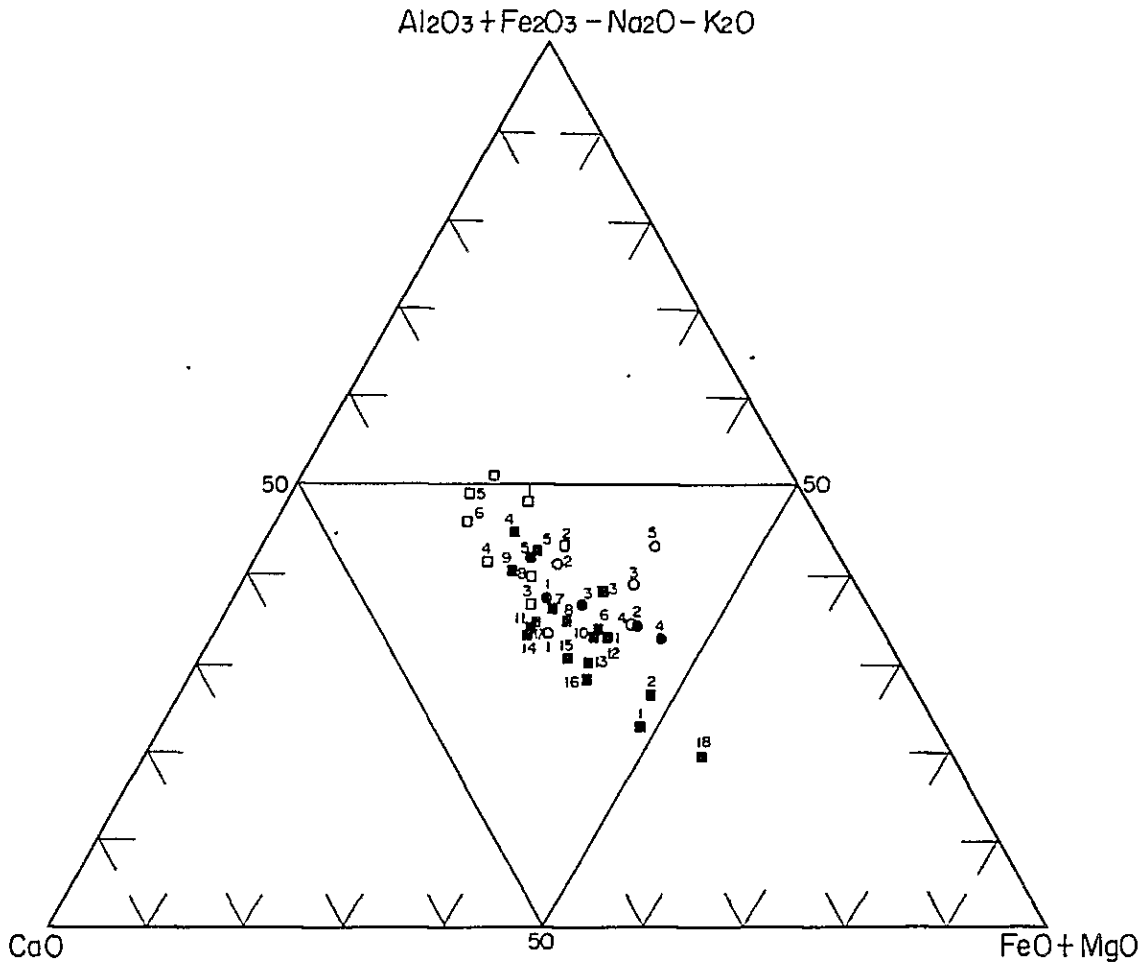


Fig. 6-1 Diagrama triangular de $Al_2O_3 + Fe_2O_3 - Na_2O - K_2O$, $FeO + MgO$ y CaO

(Mol. %)

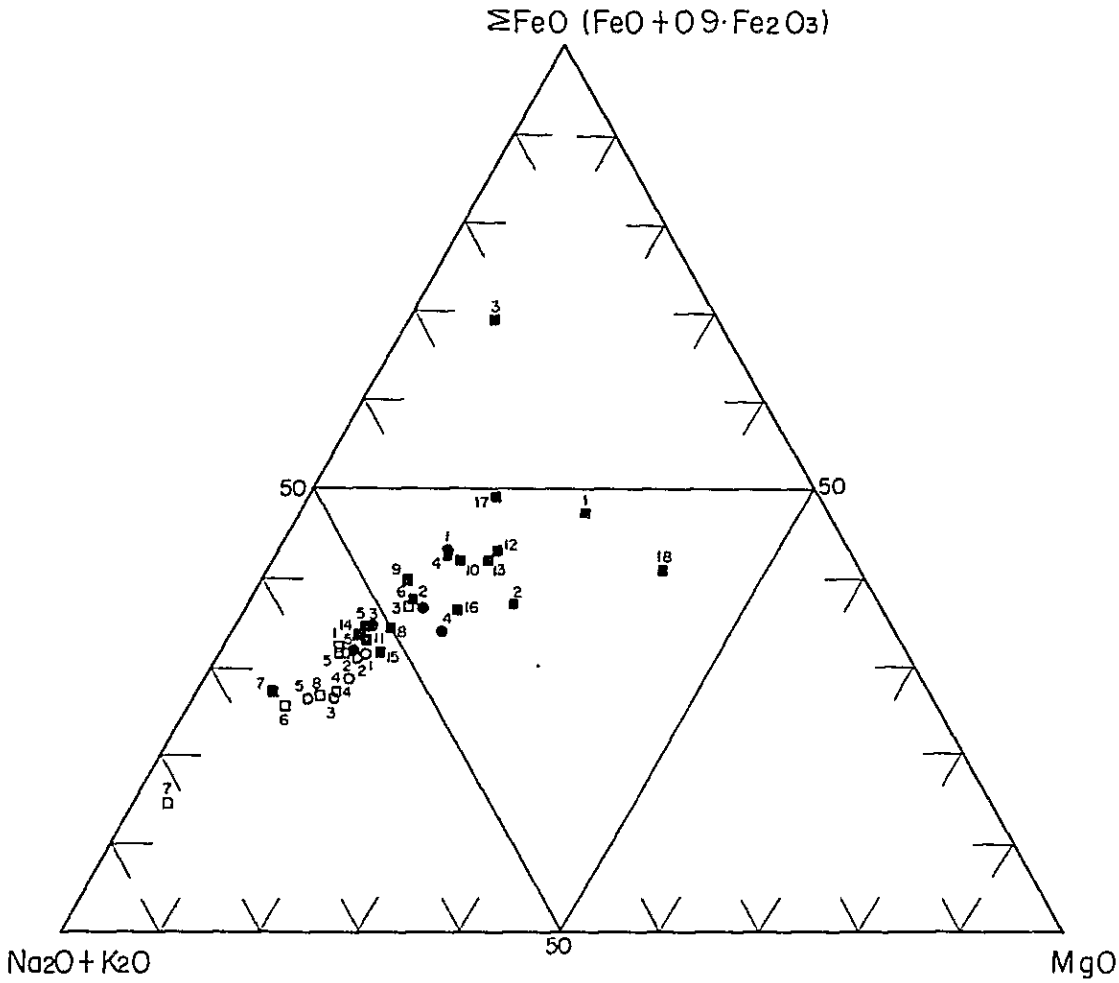


Fig. 6-2 Diagrama triangular de ΣFeO ($FeO + 0.9 \times Fe_2O_3$), MgO y $Na_2O + K_2O$

(Peso %)

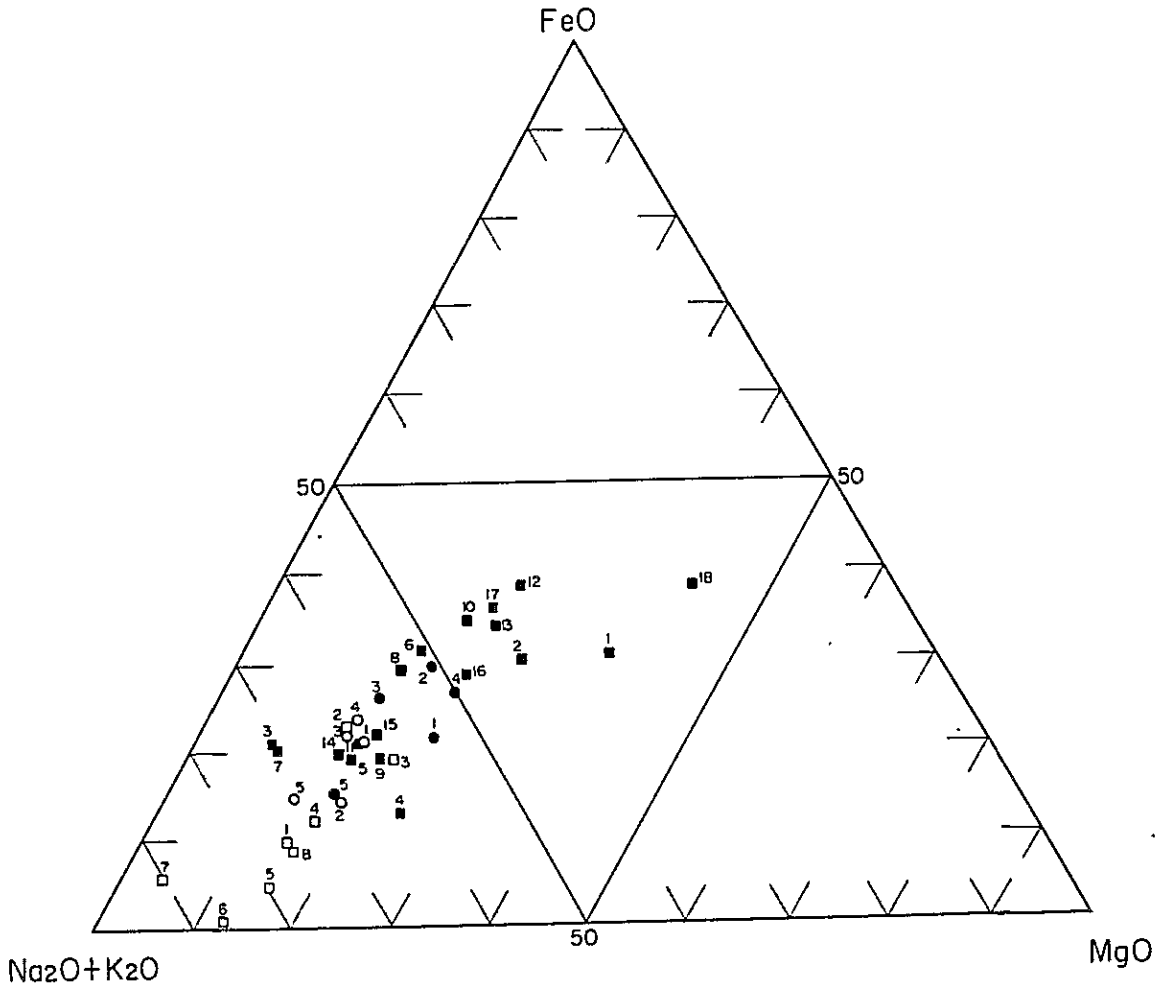


Fig. 6-3 Diagrama triangular de FeO, MgO y $Na_2O + K_2O$ (Peso %)

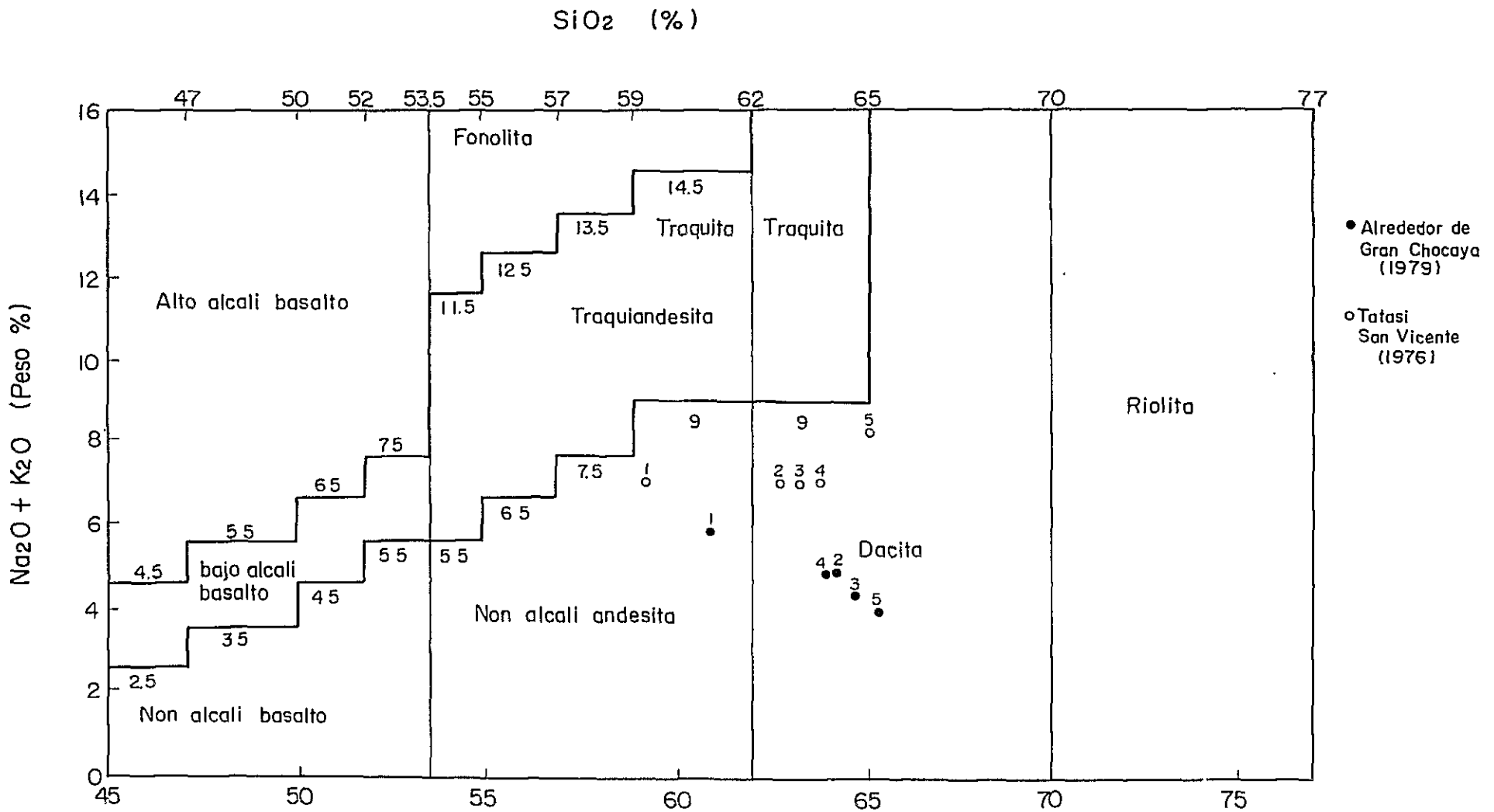


Fig. 6-4 Clasificación de rocas volcánicas por contenido de SiO_2 y $Na_2O + K_2O$

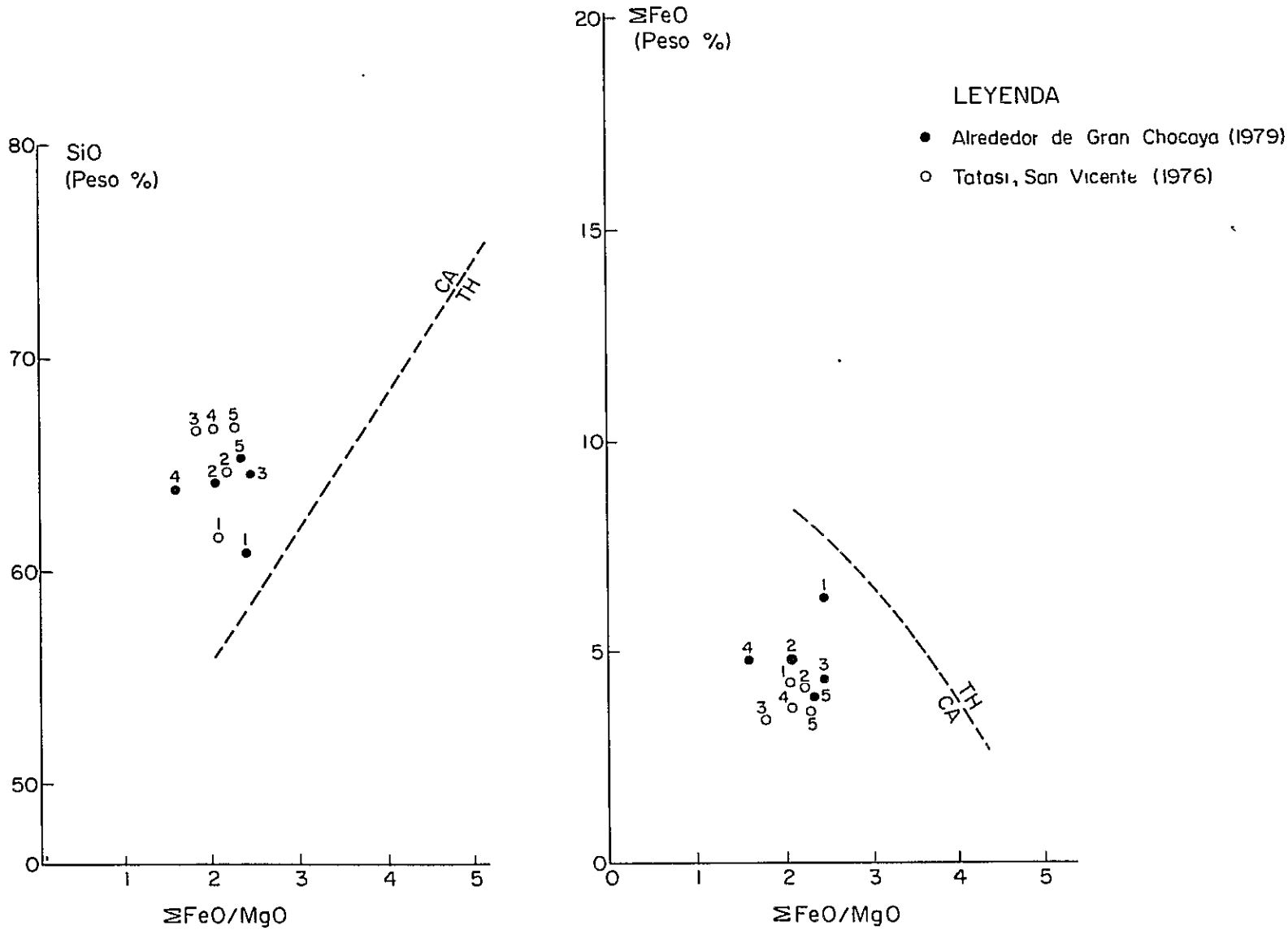


Fig. 6-5 Diagrama de variación de composiciones químicas asociadas con incremento de ΣFeO/MgO en serie tholeítica y serie alcalina cálcica

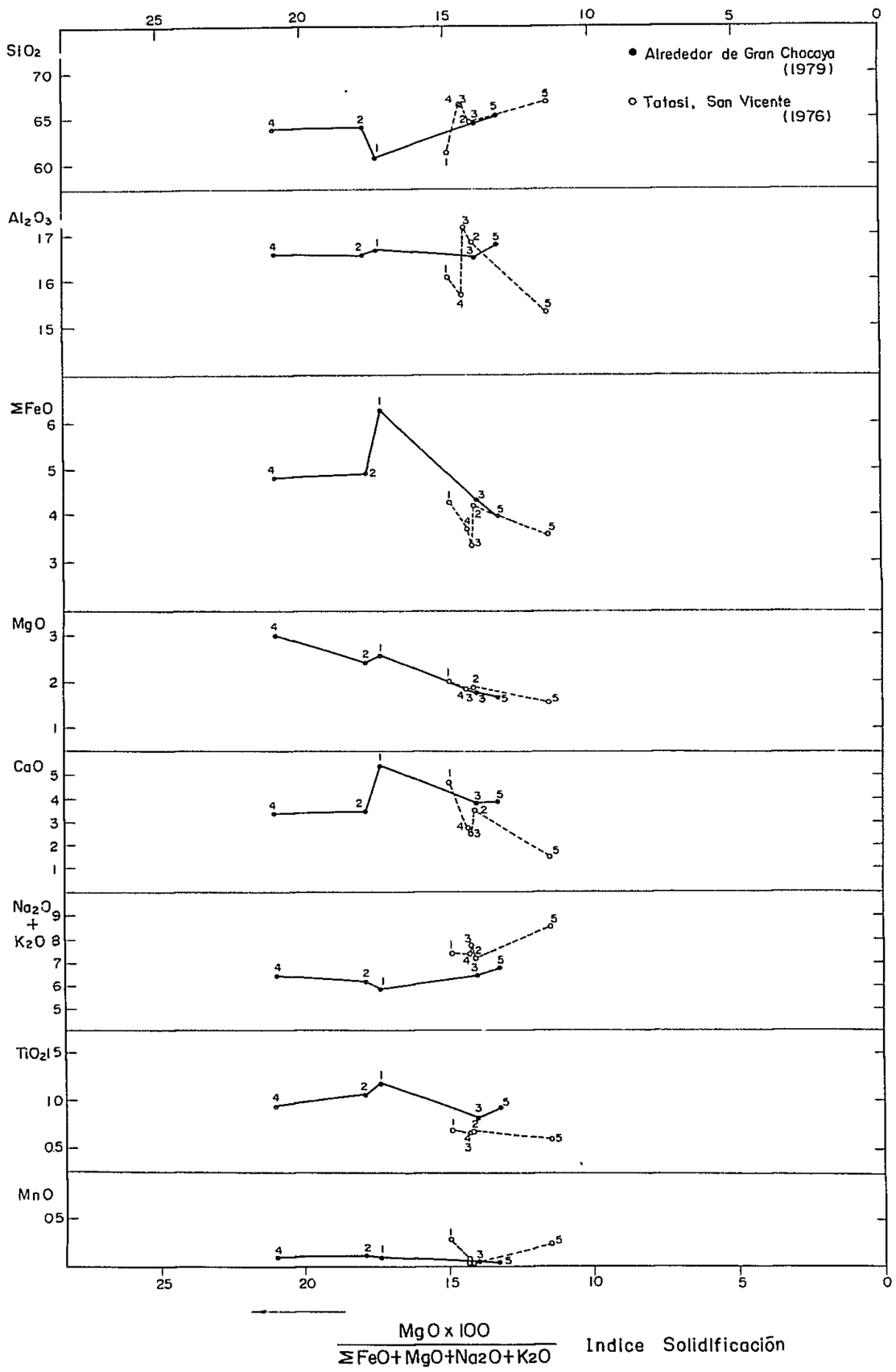


Fig. 6-6 Diagrama de variación de composiciones químicas

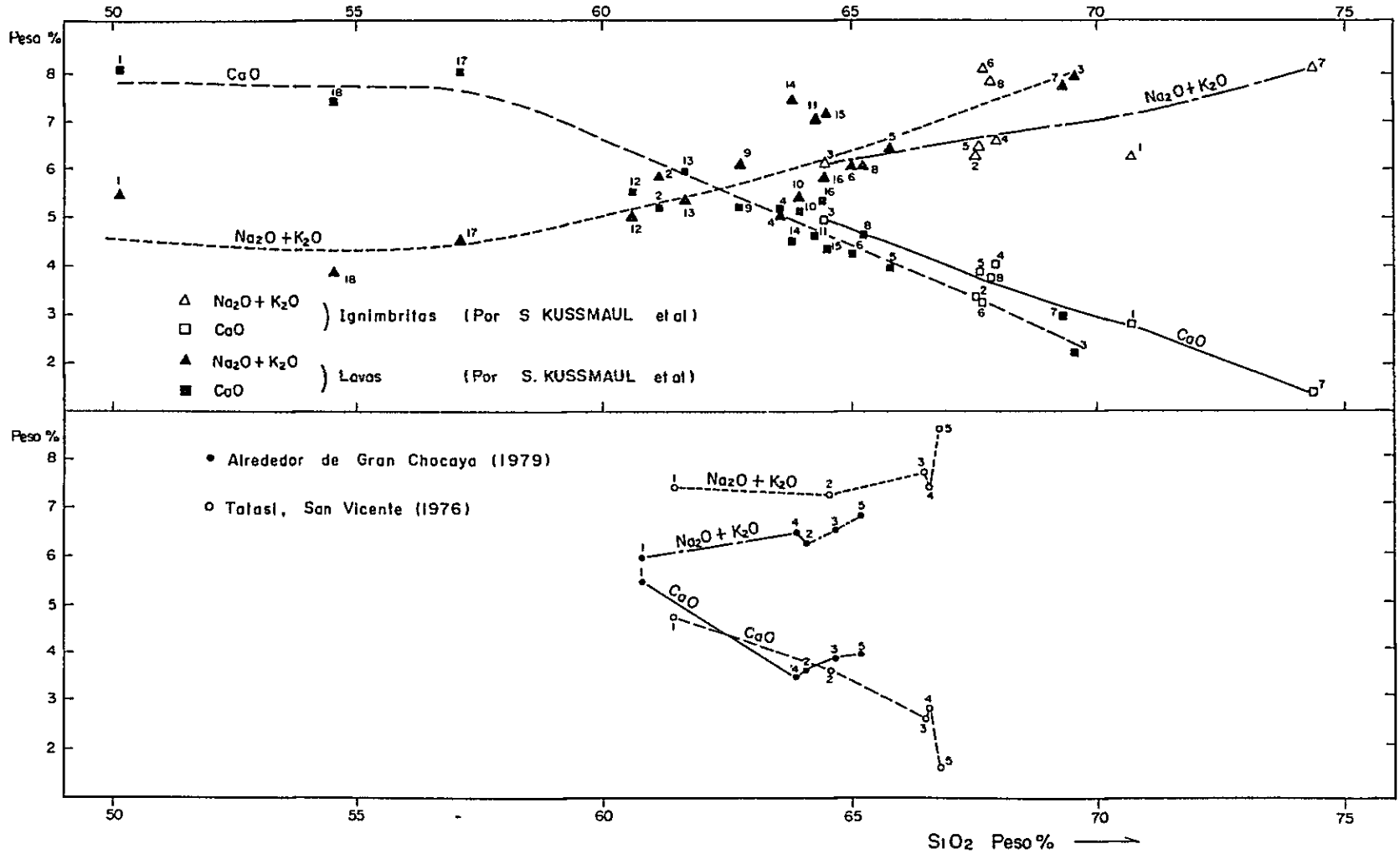


Fig. 6-7 Indice de álcali - calcio

extensión abarca más o menos un tercio del área investigada. Y las zonas mineralizadas y alteradas se encuentran restringidas sólo en el área donde las rocas mencionadas se distribuyen.

En esta área, las presencias de actividad volcánica se reflejan claramente en la topografía, y rodeando Animas se presentan topografías escarpadas y abruptas. Especialmente, los extremos de la extensión de lava de dacita de Cerro Khumullani y de unas rocas piroclásticas forman precipicios escarpados.

Al averiguar la actividad volcánica sucesiva a base de lavas y rocas piroclásticas, se estima la presencia de dos veces sucesivas de actividad. Las dos actividades volcánicas comenzaron en la efusión de rocas piroclásticas y terminaron en efusión de lavas. La actividad de la etapa anterior derramó lava de dacita de Animas; la posterior, lava de dacita de Cerro Khumullani. Las rocas piroclásticas asociadas con cada lava presentan tendencia de difundirse en forma zonal rodeando las lavas. Las rocas piroclásticas asociadas con lava de dacita de Animas presentan más amplia distribución que las asociadas con lava de dacita de Cerro Khumullani.

Las rocas piroclásticas de etapa anterior son: toba lapilli de Rancho Candelaria distribuida en el Este de Animas rodeando Cerro Torre Khasa; toba de Rancho Lupijara distribuida en forma zonal en el Norte de Rancho Lupijara en la parte Sureste de Animas; toba brecha de Inocentes distribuida en forma zonal en el borde Noroeste de lava de dacita de Animas al Noroeste de Animas, y toba brecha de Gran Chocaya. No obstante, en la parte Oeste de Cerro Negro Pozo también se encuentra la toba brecha de Inocentes que se distribuye en el borde Oeste de lava de dacita de Khumullani en forma zonal.

Las rocas piroclásticas de la etapa posterior son toba de Cerro Negro Pozo y toba lapilli distribuidas en el borde Este de lava de dacita de

Cerro Khumullani que forma las cumbres de Cerro Torre, Cerro Khumullani, Cerro Negro Pozo y Cerro Khumullani Chico situados al Noroeste de Animas. Entre estas rocas piroclásticas, la toba brecha de Inocentes linda con el sistema Ordovício por falla en interior mina de Gran Chocaya. Por otra parte, la brecha volcánica de Cerro Pabellón difundida en la cumbre de Cerro Pabellón al Sudeste de Animas, es producto de la última etapa de actividad, pero fuera de ello su detalle no es claro.

Para definir la edad de la actividad volcánica sucesiva, se efectuó la prueba de determinación de edad por método K-Ar de roca completa. Como consecuencia, la lava de dacita de Animas indica 11.7 ± 0.6 m.y.; lava de dacita de Cerro Khumullani, 12.1 ± 0.6 m.y., ambos pertinentes a la etapa última del Mioceno como tiempo geológico. Aunque la edad de lava de dacita de Animas muestra poco menor valor que la de lava de dacita de Cerro Khumullani, la diferencia entre ellas es muy poca, y además, está comprendida en el margen de tolerancia de medición.

Teniendo en cuenta los resultados de la investigación geológica antes mencionada, el origen metalogenético de la lava de dacita de Animas se puede atribuir a la actividad de la etapa anterior. Los resultados de dicha prueba aclaran que la actividad volcánica pertenece a la última etapa del Mioceno, y al mismo tiempo, que el plazo de la actividad era muy corto.

Para examinar litológicamente la dacita del área investigada, se efectuó el análisis de roca completa de cinco muestras, y consecuentemente, se formaron varios datos, tales como cálculo de "Norm" (A-11), diagrama de MFA (Fig. 6-3), diagrama de variación de composiciones químicas (Fig. 6-6), índice de álcali y calcio (Fig. 6-7), diagrama de variación de composiciones asociadas con incremento de ΣFeO/MgO (Fig. 6-5), etc. A base de sus resultados se aclara que las rocas volcánicas del área de investigación pertenecen a una clase de roca ácida pertinente a la serie

alcalina cálcica (Fig. 6-4).

En cada figura y tabla se notaron adicionalmente los resultados de análisis químico de rocas volcánicas del área Tatasí-San Vicente para su referencia. Al mismo tiempo, se demuestran también los resultados de análisis de rocas volcánicas de Sur Lipez de la región Suroeste de Bolivia por S. Kussmaul, et al. (1977) en las Figs. 6-7 y 6-1 ~ 3.

El resumen de la interpretación de dichos datos es lo siguiente:

En los diagramas de MFA (Figs. 6-1 y 6-2), los puntos punteados avanzan hacia el vértice de $Na_2o + K_2O$ a medida que el FeO ó el ΣFeO se disminuye. En comparación con los resultados de análisis de rocas volcánicas del área Sur Lípez, también las rocas volcánicas del área investigada se considera como las de la serie alcalina cálcica. Las rocas volcánicas del área Sur Lípez se clasifican, por combinación de minerales y K_2O/Na_2O, en dos series; una de alcalina cálcica, y otra de alcalina cálcica de alto contenido de potacio. Refiriendo a los valores de análisis químico de rocas del área investigada, la muestra T-1 está punteada en la categoría de andecita en la figura de clasificación de rocas volcánicas (Fig. 6-4), pero en el presente informe se trata como dacita en conjunto.

Conforme a la interpretación de los diagramas triangulares por minerales de "Norm" de cuarzo, albita y anortita (A-12 ~ A-12-3), se puede decir que la diferenciación de dacita de la presente área investigada está más atrasada que la del área San Vicente. Las rocas volcánicas de San Vicente abundan en $Na_2O + K_2O$, y en las figuras de índice de solidificación y de contenido de MgO (Fig. 6-6), se encuentran en la prolongación de los resultados de análisis de las rocas de Gran Chocaya. Por otra parte, en el diagrama triangular de Or:Ab:An (A-12-3), los resultados de cálculo de mineral de "Norm" de las rocas volcánicas de esta área, se concentran casi totalmente en la línea que corre entre el vértice de An y el punto medio

de otros vértices de Or y Ab. Mientras, unas rocas volcánicas del área San Vicente carecen de la composición An, y en general abundan en potacio comparativamente. Como consecuencia, se presume que la diferencia de composiciones químicas arriba mencionadas se debe a la desemejanza de lugares de actividad volcánica, rocas que giran chimeneas volcánicas y procesos de subida y contaminación del magma, aunque la dacita de ambas áreas esencialmente se habría derivado del mismo magma. Sin embargo, referente a la etapa de actividad volcánica de ambas áreas, según los resultados de prueba de determinación de edad por método K-Ar, las rocas volcánicas del área San Vicente indican valores de 16 m.y. ~ 19 m. y., lo cual señala que las rocas volcánicas de esta área investigada se deben a la actividad posterior.

Para interpretar la actividad volcánica de esta área, en la investigación en el campo esforzamos a comprobar concretamente la ubicación de chimeneas volcánicas y cráteres, que indican el centro de una serie de actividad volcánica. Pero, esto era imposible. Una razón de ello es que, aunque se conserva topografía volcánica en general, casi no se encuentran diques o sitios que indiquen facies intrusiva, que se observan generalmente en el centro de la actividad volcánica, debido al avance de la insecta por erosión. Otra razón es que, en cuanto a las rocas piroclásticas, casi no se observan afloramientos sucesivos con estructura graduada horizontal que contengan fragmentos, los cuales indiquen el centro de la actividad volcánica, aunque se encuentran afloramientos que presentan localmente variación en la dirección horizontal de tamaño de sus fragmentos comprendidos. De tal manera que en la presente investigación no pudimos comprobar concretamente el centro de la erupción. Sin embargo, conforme a la topografía y forma de difusión de lavas y rocas piroclásticas, referente al centro de la actividad volcánica y su forma, estimamos que la lava de

dacita de Animas es agrupación de varias corrientes derramadas por varios cráteres, juzgando por la escala de su difusión de más de 500 m de espesor y unos 7 km de diámetro de extensión horizontal. Además, en consideración también a la difusión de rocas piroclásticas acompañadas por dicha actividad, el centro de la erupción habría estado concentrado en torno a Animas.

Por otra parte, al Noroeste de Animas entre Cerro Torre y Cerro Atawani, se irguen cinco cerros a intervalos casi iguales en la dirección NE-SO. Sus cumbres están formadas, sin excepción, por la lava de dacita de Cerro Khumullani. Topográficamente se comprueba que la lava se derramó desde las partes de cumbre hacia el Noroeste formando los cerros. Las rocas piroclásticas acompañadas por dicha actividad se distribuyen al borde Oeste de dichos cerros, y su modo de erupción sería por grietas en la dirección NE-SO, o de una actividad volcánica por cráteres dispuestos en la misma dirección. La lava de dacita de Cerro Khumullani se distribuye separadamente en Lakoni Loma al Sur de Animas y en Cerro Pabellón al Sudeste del mismo. Y en ambos lugares no acompaña rocas piroclásticas, lo cual indica que la actividad de dacita de Cerro Khumullani ocurrió en dichos lugares sin relación mutua posteriormente a la de dacita de Animas. Además, en la cumbre de Cerro Pabellón se distribuye la brecha volcánica de Cerro Pabellón, que indica la actividad de la última etapa en esta área.

Como dichas actividades volcánicas relacionan íntimamente con la mineralización, el averiguar forma de la actividad de lava de dacita de Animas es sumamente importante para la exploración. Por consiguiente, deseamos aclararlo por la interpretación de ocurrencias de lavas y variaciones vertical y horizontal de litofacies, a través de la investigación geológica de interior mina.

3-2 Lavas (Véanse A-1, A-2, A-4 y A-8)

Dacita de Animas: Se difunde ampliamente rodeando Gran Chocaya y Animas hacia el Sudeste. En la parte Este de esta lava, se forman escarpaduras, por lo que es clara su distribución topográficamente. Es compacta y dura, pero se observan muy raramente diaclasa y poro notables. En el área de investigación datallada, averiguada direcciones de estructura de flujo y de sistema de diaclasa, resulta que ésta no está ordenada, sino dispersada. Referente a los tonos de color, presenta color gris azulejo verduzco o gris purpúreo. En las observaciones macro y microscópicas, se encuentra claramente estructura porfirítica. Como minerales fenocristales, se observan cuarzo de 0.1 ~ 1.0 mm, anortoclasa de 0.2 ~ 0.5 mm, plagioclasa de 0.2 ~ 2.0 mm, hornblenda común de 0.2 mm y biotita de 0.1 ~ 0.3 mm. La matriz presenta microscópicamente estructura de granos finos o de tipo intersertal. Como minerales accessorios, se observan clorita, epidoto, minerales de carbonato y apatita. Se compone de dacita que contiene hornblenda común y biotita. Estos dos minerales a veces tienen borde de opacio. Especialmente zoisita y clorita se forman en muchos casos como minerales metamórficos presentando seudomorfos de hornblenda. Se observan también carbonatación y sericitización en unas partes de plagioclasa. En la muestra de sección delgada T-6, que presenta estructura intersertal, los espacios entre corpúsculos minerales están llenados por vidrios volcánicos. Como minerales opacos, se observa magnetita idiomórfica o hipidomórfica. La presente dacita de Animas está alterada, y se encuentran muchas partes blanqueadas. Referente a este blanqueamiento, se observa macroscópicamente cuarzo en forma de escara debida a la pérdida de minerales máficos. Según las observaciones microscópicas; aunque se encuentran un poco bordes de opacio que rodean hornblenda y biotita, la dacita está caolinitizada; en muchos casos se pierden casi todos minerales máficos; se

observa también la formación de cuarzo segundario. En dichas partes blanqueadas, se observan también, aunque pocas, limonita y hematita, pero se considera que no son minerales primarios. El blanqueamiento se observa en la superficie de tierra generalmente en los alrededores de las minas abandonadas y en las zonas mineralizadas situadas al Sur de la planta de generación eléctrica de Siete Suyos donde se observan vetillas de plomo-cinc. En cuanto a los tonos de color de las presentes rocas, la transformación del gris verduzco al blanco es comparativamente clara. Se considera que este blanqueamiento se debe a la alteración hidrotermal derivada de la mineralización.

Referente a la dacita en los alrededores de la cancha de fútbol de Animas, la cristalización de su matriz está avanzada; se presenta textura de tipo pórfido cuarcífero; no se observa estructura de flujo; se encuentra en unas partes facies intrusiva, pero no se encuentra facies de enfriamiento rápido. Por otra parte, no se aclara el efecto térmico de las rocas contiguas debido al blanqueamiento posterior. Por lo tanto, no se puede probar que en esta área se halla la parte intrusiva de dacitas. Por consiguiente, en el presente informe las rocas de esta área se trata conjuntamente como las lavas de dacita de Animas.

En unas partes de la dacita, la matriz de lava autobrechosa que contienen fragmentos del mismo carácter indica tipo de polvos verdes. Se encuentran unas partes donde dichos fragmentos presentan tipo angular o subangular. Por consiguiente, juzgando por el hecho de que se presenta también la litofacies de flujo de lava brechada por enfriamiento acuático, aunque es de facies de formación continental, se puede suponer la existencia de agua parcialmente. Dicha lava brechada contiene poca cantidad de fragmentos accidentales. Estos fragmentos se componen de pizarra negra de tipo angular, considerada como pertinente al sistema Ordovícico. Además, éstos

tienen principalmente forma plana o columnar, 10 cm de largo a lo más y 3 ~ 5 cm de ancho aproximadamente. La presente lava tiene el límite claro con la parte inferior de toba brecha de Inocentes en la mina interior de Gran Chocaya. Pero en la superficie de tierra no se encuentran claramente afloramientos de límites directos entre dacita de Animas y otras rocas piroclásticas. Por consiguiente, no es clara la relación entre dicha dacita y toba brecha de Gran Chocaya y del Cerro Negro Pozo. Es posible que en unas partes éstas están en relación de transformación gradual en forma intercalada. Referente a los resultados de la definición de edad, la presente lava indica valores de 11.7 ± 0.6 m.y. como se describe en el párrafo de "Resumen". Sin embargo, en consideración también a los resultados de las observaciones en el campo, se determina que ésta se formó un poco anteriormente a la dacita del Cerro Khumullani, sobre la cual se describirá en adelante.

En los alrededores del Cerro Pabellón, la dacita de Animas que se halla en la parte inferior está alterada y presenta color blanco grisáceo o blanco. En cambio, la de la parte superior está fresca y presenta negro grisáceo rojizo oscuro.

Dacita del Cerro Khumullani: Esta lava forma una unidad aislada de cerros elevados en el área de investigación. Es decir, la dacita del Cerro Khumullani se difunde rodeando el área de difusión de la dacita de Animas. Entre el Cerro Khumullani y el Cerro Atawani se presentan unas difusiones comparativamente grandes, pero otras llevan escala de 3 km x 1.5 km o menos aproximadamente, y topográficamente ocupan en forma esparcida zonas elevadas de la presente área. En consideración también al hecho de que se esparce asimismo en Achaconita Loma y al Oeste de Markohahui Loma, se presume que la presente lava se difundía un poco más ampliamente que la dacita de Animas en el momento de su flujo. Se considera que ocupar topográficamente

zonas elevadas quiere decir haberse situado en la parte superior de la estratigrafía volcánica y haber resistido más fuertemente que las rocas piroclásticas contra la erosión eflorescente. Esta dacita del Cerro Khumullani se divide en las capas superior e inferior en el mapa geológico del área de investigación detallada. Estas capas se componen de matriz idéntica, pero se define como la capa inferior la parte donde se encuentran aparentemente fragmentos considerados como resultados de la acción autobrechosa debida a la eflorescencia, y además, donde se observa la diferencia de colores comparado con la matriz. La parte de fragmentos presenta color pardo grisáceo rojizo oscuro. En planos fracturados frescos, en unos casos, se presenta también color gris verduzco oscuro. La matriz presenta colores un poco más claros que la parte de fragmentos. La capa inferior ocupa los flancos del Cerro Khumullani Chico, Cerro Negro Pozo y Cerro Atawani, y se difunde a lo largo de la topografía de valle confinando directamente con la toba del Cerro Negro Pozo. Exceptuando la estructura autobrechosa, se considera que no hay diferencia de propiedades entre ésta y la capa superior. La dacita de la capa superior también es compacta y dura o medio dura. Referente a los tonos de color, se destaca color verde grisáceo oscuro, pero en superficies eflorescidas, en muchos casos, se presenta color rojo oscuro o pardo rojizo oscuro. La extructura de flujo no se observa en todo el cuerpo de rocas, sino se reconoce débil y parcialmente. Sus direcciones no se concentran en una definitiva, y sus buzamientos son suaves. La diaclasa laminada se encuentra en muchos casos en partes empinadas, por ejemplo, en los cerros. Sus direcciones son diversas y sus planos son principalmente escarpados o verticales. En cuanto a minerales componentes de la presente roca, se observan macro y microscópicamente plagioclasa de 0.05 ~ 5 mm, cuarzo de 0.05 ~ 3 mm, biotita de 0.1 ~ 0.2 mm y hornblenda común de 0.1 ~ 0.3 mm como minerales fenocristales. Referente a la razón

de cantidad de dichos minerales fenocristales, se observa tendencia de que la de plagioclasa es la mayor, y que se disminuye en el orden de cuarzo, biotita y hornblenda común. Cuarzo presenta forma euhédrica o medio euhédrica, y el límite con la matriz no es evidente. Aun en caso de que se observan cristales euhédricos de biotita, a veces su parte interior está ensuciada. Según las observaciones microscópicas de la matriz, hornblenda y biotita llevan bordes de opacio, y en unos casos se observa textura fibrosa con iluminación que se debe a magnetita y hematita. Lo que caracteriza la lava del Cerro Khumullani es contener augita común como mineral accessorio. Augita común tiene diámetro de 0.1 ~ 0.2 mm aproximadamente; presenta forma medio euhédrica o anhédrica; es medio redonda totalmente, y tiene borde indistinto de cristal. Como otros minerales accessorios, se observan minerales de carbonato, apatita, magnetita y hematita. A veces se contiene una poca cantidad de minerales opacos, pero la mayor parte de la matriz es agrupación de vidrios volcánicos y cristales finos de tipo "lath". En la matriz se encuentra estructura en forma granular o de tipo intersertal. Se observan también unas partes donde la estructura intersertal transforma en la hialopilítica debido al aumento de partes vítreas. Generalmente augita común se cristaliza en basalto, andesita, etc., pero no es rara su cristalización en dacita. Por lo tanto, en la Fig. 10, aunque la muestra T-1 se puntea también en categoría de andesita no alcalina, tratamos como dacita. Así como la lava de dacita de Animas, en muchos casos, la presente lava forma escarpaduras en sus partes extremadas. Referente a las muestras de la dacita tomadas en el flanco Este del Cerro Khumullani Chico, en la definición de edad por el método Potasio-Argón, todas las muestras indican valores de 12.1 ± 0.6 m.y. Aunque estos valores son un poco mayores que los de la lava de dacita de Animas, en consideración a su variación y los resultados de las observaciones en el campo, se define que la dacita del Cerro Khumullani tiene facies efusiva posterior.

3-3 Diques (Véanse Figs. 6-5 y 6-6, A-1, A-2 y A-4)

En el área de estudio del presente año, se observan diques muy raramente. Como resultado de investigaciones efectuadas en la región Sur de la República desde 1976 hasta 1978, se encuentran unos diques que intruyen en la última época de actividad volcánica. Comparado con ello, lo del presente año presenta mucha diferencia. Los diques que se encuentran dentro del área de estudio en el presente año son dos; uno queda en las orillas del lecho a una distancia de 1 km aproximadamente al Suroeste del cuadro central de Animas, y el otro queda alrededor de la parte donde el valle se estrecha más (4215 m s.n.m. aprox.) en el corriente superior de la cañada que se extiende hacia Sursudoeste pasando por Siete Suyos. El primero (la muestra T-4) tiene 5 ~ 6 m de ancho y buzamiento muy escarpado. En cambio, el segundo tiene 0.2 ~ 0.3 m de ancho y presenta buzamiento suave. Juzgando por su litofacies, se define que el segundo es dique vítreo. A continuación se describirá detalladamente sobre dichos dos diques.

Dique de dacita: Este dique es de dacita con hornblenda y biotita que intruye en la dacita de Animas. Tiene rumbo de N40°O, buzamiento de 75°NE ~ 90° y 5 ~ 6 m de ancho. El rumbo del presente dique cruza la dirección del lecho formando casi rectángulo, y se forma una topografía empinada a lo largo de la de dicho rumbo. Macroscópicamente presenta color verde oscuro o verde grisáceo oscuro generalmente, pero en los dos extremos se encuentra facies de enfriamiento rápido con ancho de 30 cm o menos aproximadamente. En estos bordes de enfriamiento rápido, los minerales fenocristales de plagioclasa y cuarzo que se encuentran en la parte central se transforman en microcristales y presentan, más oscuramente, color verde grisáceo oscuro. Microscópicamente se observa textura porfirítica, y la matriz se compone de cuarzo fino, plagioclasa y clorita. Hornblenda común se transforma en clorita y epidoto. Se considera que presentar colores

notablemente verduzcos se debe a dichos minerales. En el límite entre este dique y la dacita de Animas, no se observa efecto térmico notable, excepto endurecimiento un poco más fuerte que otras partes. Referente a las composiciones químicas, como se aclara en el "Diagrama de variación de composiciones químicas" (Fig. 6-6), este dique indica el valor de 21.02 como índice de solidificación. Este valor es más alto que los de otras dacitas, lo cual significa que el presente se formó anteriormente a lava de dacita en el proceso de separación de magma. Por otra parte, en la Fig. 6-5 la razón entre Σ FeO y MgO es baja, y en la Fig. 6-6 la muestra T-4 indica diferente acción de otras muestras. Pero ambos fenómenos resultan compatibles con los resultados de observaciones en el campo. Se considera que la época de intrusión de este dique es posterior al comienzo de sedimentación de las brechas volcánicas de Belén Loma.

Dique pequeño vítreo: Este dique, por su estrechez, no se encuentra en los mapas geológicos ni a escala de 1/20,000, ni de 1/5,000. En cuanto al presente, se observan dos afloramientos a lo largo de la corriente superior de la cañada que se extiende hacia el Sursudoeste pasando por Siete Suyos. En estos dos afloramientos, se observan rumbo y buzamineto casi iguales, y las propiedades también son idénticas, por lo que éstos son del mismo dique. Este tiene rumbo de N25^{o} ~ 40°O y buzamiento de 15° ~ 30°SO. Sus rocas componentes son vítreas, negras, compactas y duras. Presentan fracturas vítreas, y en secciones delgadas se hallan medio transparentes. El presente dique intruye en forma de línea recta en la dacita de Animas. Pero no se observa notablemente efecto térmico en las rocas que lo rodean, ya que éstas conservan color gris azulejo verduzco, y solamente la cantidad de fenocristales es un poco menor. Este dique es estrecho con buzamiento suave, por lo que su existencia no se refleja en la topografía. La época de su intrusión es posterior a la efusión de la dacita de Animas,

pero sus límites superior e inferior no se han aclarado todavía.

Aparte de dichos dos diques, se observan otros dos o tres diques pequeños de brecha alrededor de Animas y Agua de Castilla. Todos éstos contienen fragmentos accidentales angulares o subangulares de arenisca, pizarra, etc., y llena sus espacios la matriz en forma de polvos blancos grisáceos. Pero sus afloramientos son pequeños con 0.1 ~ 0.3 m de ancho, por lo cual no se aclara su continuidad en dirección vertical o en direcciones de rumbo y buzamiento. Estos diques de brecha imponen a las rocas contiguas el efecto térmico de descolorarlas un poco. No se observan minerales metálicos asociados con dichos diques.

3-4 Rocas Piroclásticas (Véanse A-1, A-2 y A-4)

En la presente área investigada se observan rocas piroclásticas dentro de la formación Quehua y en los alrededores de Gran Chcaya, Animas y Siete Suyos. Sobre las rocas piroclásticas dentro de la formación Quehua ya hemos descrito detalladamente en el capítulo de "Geología Histórica", por lo tanto, describimos en este artículo sobre las rocas piroclásticas solamente que se difunden en los alrededores de las áreas mineralizadas después de la sedimentación de formación Quehua. En esta área la actividad volcánica de alrededores de Gran Chocaya comenzó por la efusión de la toba brecha de Inocentes y la actividad volcánica de cercanía de Siete Suyos comenzó por la efusión de toba lapilli de Rancho Candelaria. Ambos se caracterizan por el contenido de los fragmentos accidentales originados del sistema Ordovícico. Las rocas piroclásticas se difunden solamente en los alrededores donde están difundidas dacita de Animas y dacita de Cerro Khumullani, aparte de toba brecha que está difundida por una zona estrecha en la parte Sur de planta de generador eléctrico de Siete Suyos. Se considera que dichos fenómenos son interesantes al examinar el estilo de actividades volcánicas incluso la estratigrafía volcánica y la distribución de rocas piroclásticas y lavas de esta área investigada. Se describirá a continuación sobre cada roca piroclástica conforme a la columna geológica.

Toba Brecha de Inocentes: Esta roca está difundida por la falda de la parte Sur de Cerro Atawani y por el Este de Avendaño de parte más alta de Río Villa Villa.

Se parece que ambas partes cubre directamente la formación Quehua de posición inferior, pero no se lo observa claramente, porque están reducidos sus afloramientos. El espesor de esta roca se considera como unos 30 m. Dentro de la mina Gran Chocaya, esta roca directamente linda con el sistema Ordovícico en condiciones por falla y discordancia y carece de la formación

Quehua. Esta toba brecha de Inocentes en esta parte se transforma en toba lapilli, pero la facies de toba brecha está dominante. La matriz de roca presenta del color gris rojizo a gris oscuro purpúreo. Las clases de fragmentos que se incluye en la toba brecha son compuestas de dacita, pizarra y arenisca del sistema Ordovícico y del Cretácico. Los tamaños de fragmentos son de 3 a 30 cm aproximadamente. La estratificación de cada unidad es demasiado clara.

Toba Lapilli de Rancho Candelaria: Esta roca está difundida, haciendo la localidad típica en los alrededores de Rancho Candelaria y de Cerro Silla Khasa a lo largo de andarivel desde Siete Suyos hasta Telamayu. Esta roca es una forma maciza sin estratificación y el espesor es unos 400 m. Los miembros de estas rocas contienen fragmentos accidentales del Ordovícico y los fragmentos dacíticos accesorios, cuyos formas son de tipo angular o de tipo subangular. Sus tamaños son 1 cm aproximadamente. La matriz de roca es dacítica y presenta el color gris verdoso y se han observado el cuarzo, la plagioclasa y la biotita por el microscopio. No se observó el contacto directo entre este miembro y la formación inferior.

Toba Brecha de Gran Chocaya: Esta roca se distribuye, haciendo la localidad típica en los alrededores del pueblo Gran Chocaya, desde el flanco Este de Cerro Atawni a su pie, mostrando en algunas partes pequeño alfloramiento a lo largo de carretera del flanco Sur de Cerro Khumullani. Algunas partes presentan los aspectos de toba lapilli, pero en general son unas formas macizas sin estratificación. El espesor es 200 m en máximo aproximadamente y contiene fragmentos dacíticos principalmente y fragmentos de pequeña cantidad de pizarras negras, cuyos tamaños de fragmentos son menos de 10 cm en general. La matriz presenta de color blanco grisáceo a gris pardo claro y los alrededores en donde están esparcidas las minas abandonadas presentan el color blanco alterándose.

Esta toba brecha de Gran Chocaya afectada por la alteración tiene la facies parecida a partes blanqueadas de la dacita de Animas, por lo que el contacto entre los fragmentos y la matriz se convierte indistinto. Sin embargo, como la matriz es un poco tosca, se han clasificado ambas partes en torno al pueblo Gran Chocaya.

De acuerdo a que la toba brecha de Gran Chocaya está alterada y las minas antiguas se observan en la superficie, la zona que se distribuye esta toba brecha queda en la zona de alteración.

Toba de Rancho Lupijara: Esta roca está difundida en los alrededores de Norte de Rancho Lupijara del borde Sur de zona investigada. Esta roca se observa sólo en la parte limitada donde está difundida la lava de dacita de Animas y se compone principalmente de tobas dacíticas que muestra el color de amarillo claro. Una parte contiene dacita. En total esta roca parece a la forma maciza sin estratificación pero en los alrededores del Este de Cerro Pabellón, vuelve a presentar estratificación mostrando su rambo N20^{o}O y suave buzamiento con 15° a 20°. Se considera que esta roca tiene fuerte cambio lateral de la facies, por eso se considera como un depósito de desenso.

Toba de Cerro Negro Pozo: Es la dacita que tiene su localidad típica alrededor del pie Este de Cerro Negro Pozo localmente a toba lapilli. La toba presenta posiblemente máximo 200 m del espesor y localmente intercala brecha volcánica de Belén Loma que citará en el acápite más adelante.

La litofacies de la toba presenta color de verde claro a gris verdoso claro, y es blanda y tosca. Alguna parte de la toba contiene brecha de dacita y generalmente la toba presenta una forma maciza sin estratificación.

Brecha Volcánica de Belén Loma: Presenta la más amplia distribución desde Cerro Torre hasta alrededor de Belén Loma y alguna parte de esta roca

se distribuye alrededor de la cumbre de Cerro Torre Punta al Suroeste de Rancho Vinto. Principalmente la roca está compuesta por brecha volcánica dacítica y el espesor es de 50 m a 200 m, pero su litofacies lateralmente se varía mucho.

La dacita de brecha contiene los fenocristales de cuarzo que tiene el tamaño del 1 mm, plagioclasa y biotita, y su matiz que contiene biotita distintativamente es dura y compacta. El color es de rojo purpúreo a verde grisáceo. Los rodados de dacita que se encuentran en abundante cerca de Cerro Torre y al pie de Cerro Khumhllani son los de brechas derivadas de la brecha volcánica por erosión. Estos rodados presentan el color rojo purpúreo, pero las partes fracturadas presentan el color de gris verdoso a verde oscuro. La parte superior de esta roca se limita por el precipicio formado de dacita de Khumullani y su alcance de la distribución se refleja en la topografía. El tamaño de la brecha volcánica alcanza a varios metoros en máximo.

Brecha Volcánica de Cerro Pabellón: Esta roca distribuye sólo alrededor de la cumbre de Cerro Pabellón, y ambas de litología y facies litológica son mismas que la brecha volcánica de Belén Loma. Sin embargo, por la razón de que cada área de los dos están bastante alejadas, la brecha volcánica de Cerro Pabellón está dividida de la brecha volcánica de Belén Loma. Esta roca se distribuye encima de la dacita de Cerro Khumullani, lo cual presenta ser un producto final de actividad volcánica sucesiva del área investigada.

CAPITULO 4 GEOLOGIA HISTORICA

Como la presente investigación se ha realizado en una área limitada, no se ha llegado a aclarar la geología histórica. A continuación, se va a dar una idea general de ella aprovechando datos ya publicados y resultados de investigación.

Esta área en la era Paleozoica pertenecía al geosinclinal de los Andes del Este ubicado entre el Escudo Brasileño y la Cordillera de los Andes del Oeste y tiene sedimentos de la era Paleozioca. La regresión del mar avanzó sobre todo en el Ordovícico y se convirtió en el sitio del mar de gran profundidad. Se dice que su espesor alcanza hasta 10,000 m, y el sistema Ordovícico difundido en esta área era una parte suya. Este geosinclinal no tiene actividades ígneas y demuestra caracteres del miosinclinal. Entre el sistema Ordovícico y el Silúrico se demuestra la relación de discordancia por infuluencia del movimiento orogénico Tacónico. Se imagina que se desarrolla el sistema Silúrico por Uyuni ubicado al Norte de la presente área, el cual se extiende hasta esta área, pero no es seguro. En la parte central de Bolivia hubo transgresión y regresión del mar en el Devónico, y en el Pérmico transgresión de escala pequeña, pero no alcanzó hasta esta área. Probablemente no se sedimentó después del Devónico. En caso de haberse sedimentado, se infiere que tal estrato era muy delgado y formaba una parte Oeste del mar abierto al Este. Desde el final del Triásico hasta el primer período del Cretácico, la mayoría de Bolivia se convirtió en tierra. Durante este período las rocas pertinentes a la era Paleozoica recibieron notablemente el plegamiento, y por erosión se traspasó en peneplanicie. Se considera que este plegamiento notable coincide con el movimiento orogénico Variscano tardío o la facies de tiempo Nevada del Alpino primario. En el período mediano del Cretácico se formaron

geosinclinales pequeños de Perú al Sur de Bolivia, y se formaron sedimentos del mar poco profundo o litoral. La formación El Molino en el área investigada es un sedimento de la etapa tardía del período Cretácico que gradualmente se cambia a un sedimento continental del Paleógeno del período Terciario siendo su límite no claro. En el período Cretácico ocurrió la actividad volcánica de basalto, pero en esta área no se la observa. El sistema Cretácico es la última formación marina en Bolivia, y desde entonces no ha ocurrido sedimentación de estrato marino.

Llegando al período Terciario Paleógeno, los Andes oriental y occidental se levantaron formando la cuenca sedimentaria de Altiplano rodeada por éstos. Esta cuenca sedimentó el sistema Terciario, cuyo espesor llega a ser 10,000 m por solevantamiento sucesivo de los Andes de ambos lados y hundimiento continuo de ésta misma. El hundimiento y la sedimentación de la cuenca han continuado y continúan sin cesarse. En el área investigada y su alrededor, la formación marina del sistema Cretácico se cambia gradualmente o con discordancia paralela en la formación continental de la formación Potoco del Terciario Paleógeno. En el área Sur Lípez situada al Suroeste del área estudiada, en la parte superior de la formación Potoco se encuentra la efusión de basalto o andesita. Pero ésta no alcanza al área estudiada. En esta área ocurrieron actividades volcánicas fuertes, cuando se sedimentó la formación Quehua, cubriendo ésta ampliamente con rocas piroclásticas. En esta área y su alrededor, ocurrieron efusión e intrusión de roca de la serie alcalina cálcica, tales como dacita, pórfido cuarcífero, entre la época Oligocena y Miocena. Acompañadas por dichas actividades volcánicas, ocurrieron diversas mineralizaciones, tales como de estaño, oro, plata, plomo, cinc, antimonio, bismuto y cobre. Dentro de la presente área, relacionada con dichas actividades volcánicas, ocurrió rodeando Animas efusión de rocas piroclásticas y lavas de varias clases.

Se considera que, las mineralizaciones de las áreas Animas, Siete Suyos, Gran Chocaya, etc. ocurrieron acompañadas por dichas actividades volcánicas. Es decir, estratigráficamente las rocas volcánicas y piroclásticas difundidas alrededor de Animas y la formación Quehua están en relación concordante. Según la determinación de edad por el método K-Ar por roca total, lavas de Animas y Cerro Khumullani indican valores entre 11 m.y. y 12 m.y. pertinentes a la última etapa del Mioceno, o sea, edad un poco posterior a las rocas volcánicas situadas en torno a San Vicente y Tatasí.

Se dice que los movimientos de pliegue asociados con el movimiento orogénico Alpino, después de haber entrado en el período Terciario, ocurrieron en la etapa temprana del Eoceno, las temprana y tardía del Mioceno y la tardía del Plioceno. La fromación Potoco está plegada fuertemente por los movimientos de pliegue hasta la etapa temprana del Mioceno y durante este período se formaron las principales fallas del área estudiada. Por consiguiente, la formación Potoco está en relación de discordancia inclinada con la formación San Vicente pertinente a la época tardía Miocena. Esta formación y rocas formadas posteriormente a ésta tienen pliegues suaves. Es decir, los plegamientos después de la etapa tardía del Mioceno no influyen mucho en esta área estudiada.