

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

1954

1954

1954

1954



5192

INFORME DE INVESTIGACION GEOLOGICA  
EN  
REGION SUR, REPUBLICA DE BOLIVIA

27.27,  
14.12.

VOL. IV  
(SUMARIO)

FEBRERO DE 1979

METAL MINING AGENCY  
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY  
GOBIERNO DEL JAPON

JICA LIBRARY



1054313(0)

No. 14330

702

66.1

MPN

国際協力事業団	
受入 月日 84. 9. 27	702
登録No. 09133	66.1
	MPN

## PROLOGO

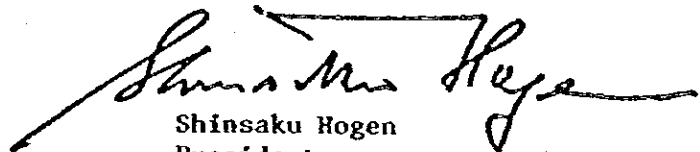
El gobierno del Japón, de acuerdo con la solicitud de la República de Bolivia, decidió efectuar estudios relativos a la exploración minera tales como investigaciones geológicas, etc., para comprobar la existencia de recursos minerales en la región Sur de dicho país, y encargó la ejecución de los estudios a la Japan International Cooperation Agency (JICA). La JICA pidió a la Metal Mining Agency (MMAJ) llevar a cabo estos estudios, puesto que son de materias especiales pertenecientes a investigaciones sobre la geología y los recursos minerales.

Estos estudios se han realizado por espacio de tres años desde octubre de 1976 hasta febrero de 1979, y se han concluido tal como estaban planeados, gracias a las cooperaciones por las autoridades gubernamentales de la República de Bolivia, en especial, el Ministerio de Minería y Metalurgia, y la Corporación Minera de Bolivia.

Se han resumido en este informe los resultados de las investigaciones de los tres años.

Al terminar, quisiéramos manifestar nuestro profundo agradecimiento a todas aquellas personas tanto de las autoridades gubernamentales bolivianas en relación, como de los Ministerios de Comercio Internacional e Industria, de Relaciones Exteriores, la Embajada del Japón en Bolivia y todas las empresas privadas relativas.

Febrero de 1979

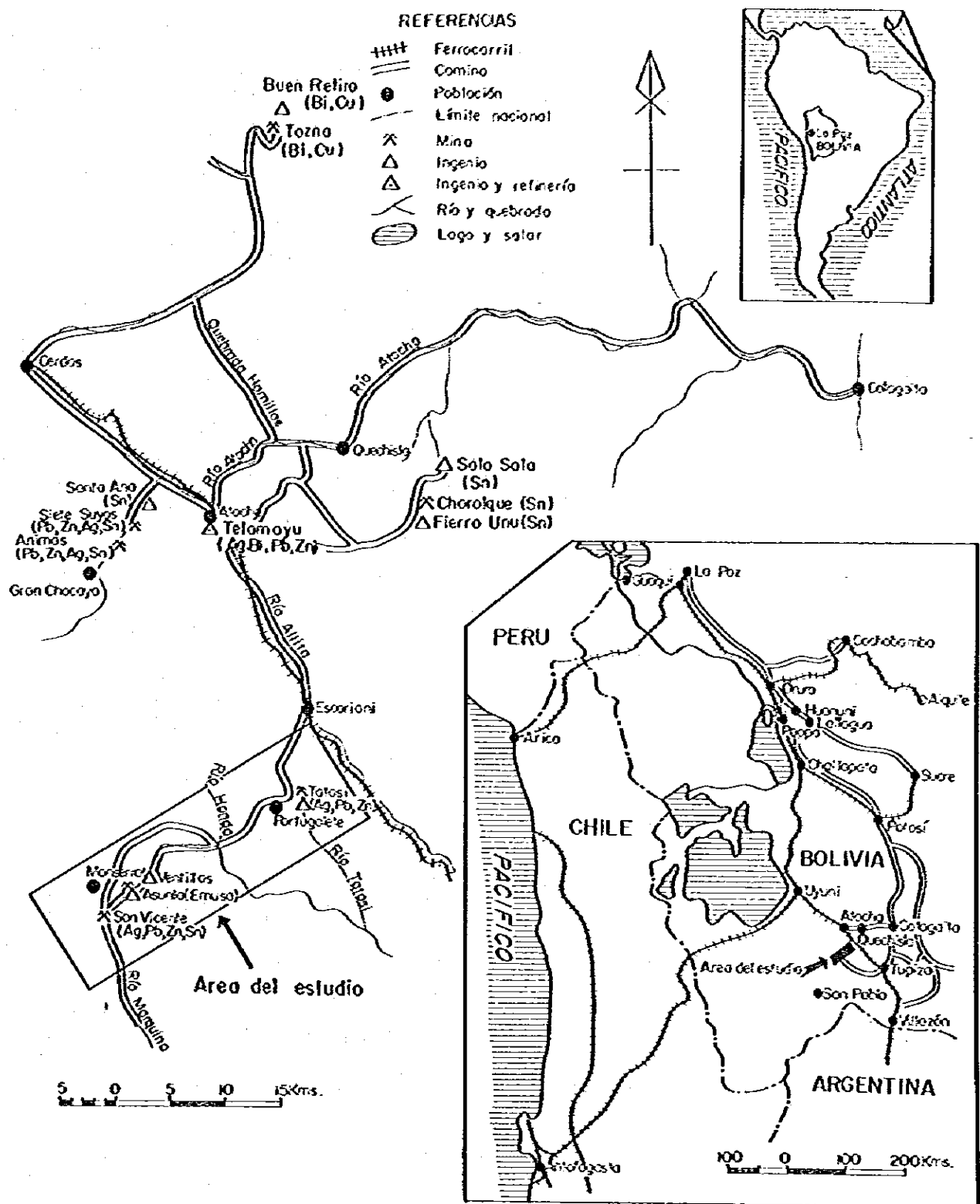


Shinsaku Hogen  
Presidente  
Japan International Cooperation Agency



Masayuki Nishie  
Presidente  
Metal Mining Agency





**Fig. 1** Plano del área de investigación





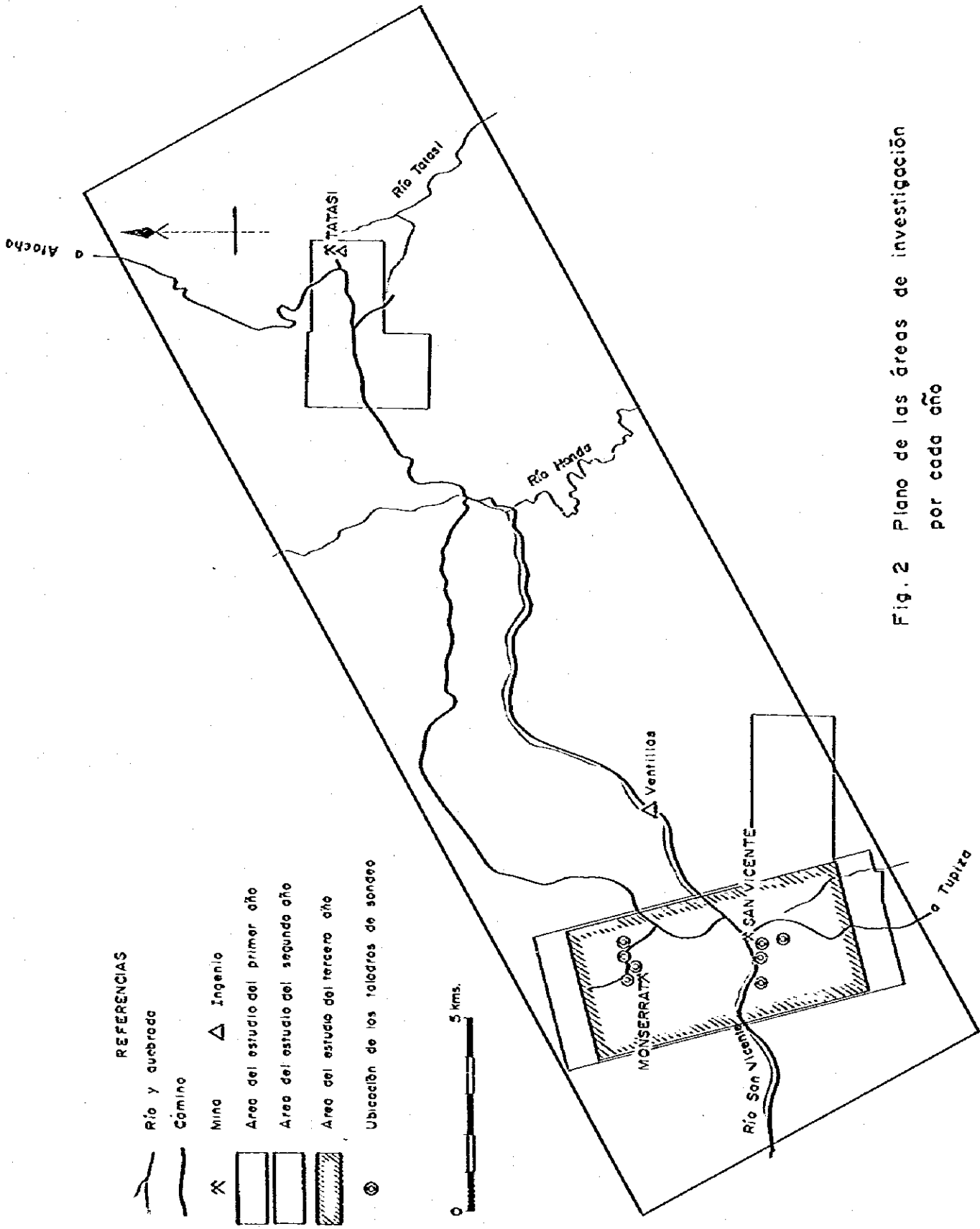


Fig. 2 Plano de las áreas de investigación por cada año



## RESUMEN

La presente investigación fue realizada en la región Sur de la República de Bolivia con el objeto de desarrollar recursos minerales representados por los minerales de cinc, durante tres años desde octubre del año 1976 hasta febrero del año 1979.

Para la ejecución de la investigación, la Corporación Minera de Bolivia nos ha mostrado grandes colaboraciones.

(1) Para la investigación fue adoptado el sistema de seleccionar, paso por paso, unas áreas donde con mucha posibilidad existirían yacimientos dentro del área proyectada con 300 kms<sup>2</sup>. de superficie, y conforme al objeto se emplearon los métodos siguientes respectivamente: la investigación geológica, la geológica detallada superficial, la geológica detallada de interior mina, la prospección geofísica por el método IP y la investigación por sondeos.

(2) El área de investigación se halla ubicada en la faja de Altiplano de la parte Sur de Bolivia, cuya altura llega a 4,000 mts. sobre el nivel del mar. En esta área predomina un clima muy especial que se debe a la baja precipitación anual y a la existencia de gran diferencia de temperatura entre día y noche causada por la altura.

(3) En cuanto a la geología del área, la parte Suroeste está compuesta por las capas de conglomerado del sistema Terciario Neógeno; la parte central, por areniscas, pizarras y disposición alternante del sistema Ordovícico, que es de la formación inferior y forma el basamento del área. Al contrario, la parte Nordeste está compuesta por el Terciario y el Cretácico que cubren el sistema Ordovícico en discordancia inclinada. La geología estructural se presenta por el desarrollo de anticlinales y sinclinales que tienen ejes en dirección NNO-SSE, y en las partes fracturadas se observan intrusión o efusión de dacitas en el Mioceno Superior.

(4) En cuanto a la estructura geológica del área de estudio, se comprueban los pliegues de dirección NNO-SSE notablemente en el Ordovícico que forma la base y el Cretácico que cubre el anterior en discordancia inclinada. Las direcciones de pliegues corresponden a los de movimientos estructurales de los Andes. Además, el sistema Ordovícico está limitado del Terciario que se difunde a su lado Suroeste por la falla inversa de San Vicente, cuya dirección es de NNO-SSE.

Como la dirección de falla inversa de San Vicente coincide a la de los pliegues mencionados arriba, se considera que esta falla inversa se formó por la compresión de dirección Este-Oeste, es decir, una fuerza de movimiento orogénico de los Andes. Al contrario, aunque los pliegues del Terciario Neógeno no son tan claros, esas direcciones de ejes de los pliegues son de Este-Oeste y claramente presentan una discordancia estructural.

(5) Los grupos de yacimientos principales de la zona del estudio son: los grupos de yacimientos de San Vicente, de Monserrat, de Tatasi y de Asunta que se sitúan al Este de la falla San Vicente.

Estos yacimientos tienen una relación íntima con las dacitas del Mioceno Tardío que están, debido a las efusiones e intrusiones, en las partes fracturadas por los movimientos mencionados arriba.

(6) Se considera que las fisuras de los grupos de yacimientos de San Vicente, Monserrat y Tatasi, cualquiera de éstas fue formada por la compresión lateral en la dirección Este-Oeste. Por lo tanto, se considera que las vetas también se formaron llenándose las fisuras a lo largo de los planos de cizalla y tensión primarias y secundarias.

(7) El grupo de yacimientos de San Vicente está compuesto mayormente por tetraedrita argentífera; se observan esfalerita, galena, calcopirita y pirita como principales minerales metálicos; y, aparte de éstos, se acompañan

estannina, casiterita y marcasita. Los minerales de ganga están compuestos principalmente de cuarzo y baritina.

En el grupo de yacimientos de Monserrat, se encuentran tetraedrita argentífera, pirargirita y un mineral de plata-plomo-bismuto-antimonio-azufre (no identificado) como minerales de plata; estannina y casiterita, como minerales de estaño. Los minerales metálicos constan principalmente de esfalerita, calcopirita, galena y pirita; los minerales de ganga, principalmente sericita y cuarzo. En el grupo de yacimientos de Tatasi se observan pirargirita, proustita, polibasita, tetraedrita argentífera, argentita y electrum como minerales argentíferos, y el grupo se caracteriza por su abundancia de las clases de minerales. Y se observan estannina y casiterita como minerales asociados con calcopirita, arsenopirita, jamesonita, bournonita y marcasita; como los minerales de ganga, cuarzo, siderita y otros minerales arcillosos.

(8) En cuanto al paragénesis de dichos minerales metálicos, se considera que primero pirita, casiterita y esfalerita se cristalizaron en la fase comparativamente temprana; luego lo hicieron pirita, esfalerita, calcopirita, arsenopirita, estannina, galena, argentita, electrum y los polisulfuros tales como tetraedrita argentífera, pirargirita, polibasita y un mineral de plata-plomo-bismuto-antimonio-azufre; la cristalización de pirita duraba hasta la fase tardía; y últimamente, se cristalizó marcasita.

Según los resultados de análisis químico de muestras obtenidas de las vetas, en el grupo de yacimientos de San Vicente la correlación entre los elementos de plata y cobre, y entre estaño y cobre señala una íntima relación. Se considera que esto se debe a tetraedrita argentífera y estannina. En cuanto al grupo de yacimientos de Tatasi, la correlación

entre plata y plomo, y entre plata y antimonio es muy íntima, lo cual se debe a que galena contiene plata coexistiendo íntimamente con minerales argentíferos, entre los cuales hay muchos que contienen antimonio.

(9) La íntimidad de correlación de los elementos y de paragénesis de los minerales metálicos ha aclarado que los elementos de plata, plomo, cobre, estaño y antimonio se concuerdan en el movimiento; el elemento de cinc, por su largo plazo de cristalización de esfalerita, presenta diferente movimiento que los otros elementos. Observando esta relación y punteando todos los valores de análisis de muestras en el diagrama triangular de plata-plomo-cinc, se ha diseñado el mapa de zonamiento de plata-plomo y cinc.

(10) Según el mapa del grupo de yacimientos de San Vicente, este grupo presenta un modo de distribución en que la mineralización rodea la falla San Vicente y se extiende a su lado Noroeste; se ha llegado a inferir un área mineralizada simétrica que abarca la veta San Francisco en el lado Sudeste de la falla San Vicente. En el mapa del grupo de yacimientos de San Vicente, no hay mucha diferencia entre galería Niv. 0 mt. y la del Niv. -30 mts. siendo muy poca la variación de propiedad de minerales hacia abajo, por lo cual se espera la prolongación de la parte inferior del grupo de yacimientos de San Vicente.

(11) Respecto al zonamiento de plata-plomo y cinc de los yacimientos de Tatasi, en la sección Guadalupe no hay tantas diferencias entre galerías Nivs. 0 mt., -70 mts. y -110 mts., pero las leyes medias de cinc de la veta Santo Domingo y el raso Santo Domingo son altas en galerías Niv. -110 mts., por lo cual, a pesar de que el desarrollo se está profundizando más y más, no se puede presuponer un cambio repentino de empeoramiento de mineralización. Además, la ley media de plata todavía es alta en galerías Niv. -110 mts., por lo cual se espera también la prolongación del grupo de yacimientos de Tatasi hacia la parte inferior.

(12) Fijándose en el hecho de que las vetas cortadas por el recorte Niv. 0 mt. y los taladros No.52-1 y No.52-2 presentan alta ley de estaño, se ha averiguado el zonamiento de plata-plomo y estaño en la sección que contiene dicho recorte y el taladro No.52-1, lo cual muestra una tendencia clara de que se mejora la ley de estaño en comparación con las de plata y estaño, y se ha alcarado que la exploración del grupo de yacimientos de Monserrat debe poner su objeto en busca de estaño.

(13) La mineralización es débil en el sondeo No. 53-3 efectuado en la parte occidental y su parte inferior de la veta Seis de Agosto y en el sondeo No.53-2 efectuado en la parte inferior un poco alejada al Oeste del centro. Pero es fuerte en galerías de la parte central y la parte un poco alejada al Este, por lo que es prometiente su parte inferior. Por otra parte, en el lado Sur de dicha veta, o sea, entre ésta y la veta Guernica, se desarrollan las vetas Jesús María, Adela y Perelys que corresponden a las fisuras de cizalla o tensión secundaria, cuyas leyes son comparativamente altas. Por consiguiente, se supone que la zona central de la mineralización se sitúa entre los alrededores de la parte central y oriental de la veta Seis de Agosto y la parte donde se desarrollan dichas fisuras, por lo tanto es necesaria la exploración de la parte inferior de dicha zona.

(14) En el sondeo No.53-1 efectuado para la veta San Francisco, se encuentran unas vetas delgadas y una zona fracturada, alterada en arcilla y silicificada que corresponde a esta veta. Y es necesario comprobar si existe parte inferior mineralizada que continúa a dicha zona alterada. Mientras, juzgando por la anomalía de IP que se difunde ampliamente en los alrededores de dicho taladro hacia la parte Oeste, se presume la existencia de veta del mismo tipo que la veta San Francisco. Por lo tanto, en la orilla occidental de la Quebrada San Francisco, se necesitará la exploración

subsidiaria de la parte inferior después de haberse seleccionado unos puntos adecuados.

(15) Referente al grupo de yacimientos de Monserrat, se encuentran muchas vetas delgadas en los sondeos No.52-1 y No.52-2 del segundo año y No.53-4 y No.53-5 del tercer año. Puestas en el centro vetas de posiciones claras, se las clasifican en los grupos siguientes, desde la parte inferior:

① el grupo de vetas subyacentes de Salvadora; ② el de vetas Salvadora; ③ el de vetas sobreyacentes de Salvadora; ④ el de vetas "A"; ⑤ el de vetas "B"; ⑥ el de vetas San Martín, y ⑦ el de vetas sobreyacentes de San Martín. Entre éstos, en los grupos de vetas Salvadora y San Martín, la mineralización es la más fuerte.

La zona de anomalía de IP también se observa sobre el grupo de vetas Salvadora, e inclina a profundizarse en la parte occidental. Además, como lo arriba mencionado, la veta Salvadora se encuentra en mucha profundidad en el taladro No.52-1 situado en la parte occidental. Por lo tanto, son prometientes el lado occidental de este taladro y su parte inferior, y es necesario explorar continuamente el borde occidental de la zona de anomalía de IP, cuyo resultado es muy interesante. Referente a la veta San Martín, las leyes de las partes mineralizadas son comparativamente altas, por lo que es necesario confirmar su extensión mediante la exploración en la dirección horizontal y en su parte inferior.

(16) Los minerales metálicos del grupo de yacimientos de Monserrat presentan composición semejante al grupo de yacimientos de San Vicente. Sobre todo, se observan en abundancia estannina, casiterita, tetraedrita y otros minerales de polisulfuros de plata, y las leyes de estaño y plata que se derivan de éstos son altas. Referente a la correlación entre cada elemento, la combinación de cobre-estaño indica la correlación más



íntima en forma de línea directa, y a ésta sigue la de plata-cobre, por lo que la correlación de estaño-plata es también alta. Por regla general, zonas de alto contenido de estaño existen en la parte profunda, pero en la veta San Martín y unas otras vetas se observan unas partes de alta ley de estaño aun en poca profundidad. Como se ha mencionado, los minerales principales son de plata y estaño. Por lo tanto, el plan de exploración en adelante se debe proyectar en consideración al recogimiento de estos minerales.

(17) La forma de vetas del grupo de yacimientos Monserrat es complicada, y éstas se dividen, como se indica en (15), en los siete grupos. Pero esta clasificación se hace por conveniencia, por lo que en adelante es necesario la evaluación exacta de los yacimientos por medio de aclarar el sistema de fisuras y la correlación de vetas que se encuentran en el sondeo del futuro mediante la investigación por zanjas de afloramientos y la perforación continua del recorte Niv. 0 mt.

(18) Las zonas de anomalía por la prospección geofísica del método IP se observan sobre la veta Seis de Agosto alrededor de la Quebrada San Francisco en el grupo de yacimientos de San Vicente; sobre la veta Salvadora en el grupo de yacimientos de Monserrat; sobre la veta San Gregorio al Oeste de Portugaleta en el grupo de yacimientos de Tatasi. Todas dichas zonas son objetos de la exploración también en relación con el resultado de la investigación geológica. Aunque hay unas zonas que se han comprobado ya parcialmente por el sondeo como la zona de anomalía de IP sobre la veta Salvadora, es necesaria la confirmación de la mineralización por medio de explorar más en adelante las zonas de anomalía de IP.

En cuanto a la adaptabilidad de la prospección geofísica por el método IP, como resultado de su ejecución para con la veta Seis de Agosto,

se aclara que se puede reconocer satisfactoriamente la existencia de vetas en el caso de tomar tanto la distancia de electrodos como la de traslación de éstos en 50 mts. y cambiar de 1 a 4 la constante de la distancia de separación entre los electrodos. Por lo tanto, se reconoce que es eficaz la prospección por el método IP (de disposición de electodos de dipolo-dipolo) para con yacimientos del tipo semejante a los que se hallan en las presentes zonas de investigación. Se espera su aplicación no sólo para con los yacimientos de la presente área investigada, sino también para con yacimientos semejantes de otras zonas.

## CONTENIDO

PROLOGO		
PLANO DEL AREA DE INVESTIGACION		
RESUMEN .....		1
CAPITULO 1	INTRODUCCION .....	6
1-1	Reseña histórica y objeto de la investigación .....	6
1-2	Reseña de los trabajos de la investigación .....	9
CAPITULO 2	RESEÑA GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO .....	13
2-1	Localidad y accesibilidad .....	13
2-2	Geomorfología y clima .....	13
2-3	Minería .....	14
CAPITULO 3	RESEÑA DE GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO .....	18
3-1	Reseña de la geología .....	18
3-2	Geología estructural .....	28
3-3	Geología histórica .....	31
3-4	Yacimientos .....	35
CAPITULO 4	INVESTIGACION DEL PRIMER AÑO .....	50
4-1	Método de investigación .....	50
4-2	Resultado de la investigación del primer año .....	51

<b>CAPITULO 5</b>	<b>INVESTIGACION DEL SEGUNDO AÑO .....</b>	<b>56</b>
5-1	Método de investigación .....	56
5-2	Resultado de la investigación del segundo año .....	59
<b>CAPITULO 6</b>	<b>INVESTIGACION DEL TERCER AÑO .....</b>	<b>64</b>
6-1	Método de investigación .....	64
6-2	Resultado de la investigación del tercer año .....	65
<b>CAPITULO 7</b>	<b>CONCLUSION Y VISTA EXTENDIDA PARA EL FUTURO .....</b>	<b>78</b>
7-1	Método de investigación .....	78
7-2	Conclusión .....	80
7-3	Opinión para el futuro .....	84
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		<b>86</b>

**APENDICES**

## LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1 Plano del área de investigación
- Fig. 2 Plano de las áreas de investigación por cada año
- Fig. 3 Columna geológica
- Fig. 4 Perfil idealizado
- Fig. 5 Ilustración explicativa de modelo de vetas de la mina San Vicente
- Fig. 6 Modelo de vetas de la mina San Vicente
- Fig. 7 Diagrama triangular de plata, plomo y cinc de todas las muestras obtenidas en interior mina de San Vicente
- Fig. 8 Zonamiento de plata, plomo y cinc de la mina San Vicente, Niv. 0mt.
- Fig. 9 Zonamiento de plata, plomo y cinc de la mina San Vicente, Niv.-30mts.
- Fig. 10 Perfil demostrativo de zonamiento de plata, plomo y estaño de los yacimientos de Monserrat
- Fig. 11 Modelo de vetas de la mina Tatasi
- Fig. 12 Diagrama triangular de plata, plomo y cinc de todas las muestras obtenidas en interior mina de Tatasi
- Fig. 13 Zonamiento de plata, plomo y cinc de la mina Tatasi, Guadalupe Niv. 0mt., Alcira Niv.-70mts. y San Francisco Niv. 35mts.
- Fig. 14 Zonamiento de plata, plomo y cinc de la mina Tatasi, Guadalupe Niv.-70mts. y Alcira Niv.-140mts.
- Fig. 15 Zonamiento de plata, plomo y cinc de la mina Tatasi, Guadalupe Niv.-110mts.
- Fig. 16 Plano de sección longitudinal de la veta Seis de Agosto
- Fig. 17 Diagramas triangulares de Ag-Pb-Sn, Ag-Sn-Cu y Ag-Sn-Zn por cada grupo de vetas de la zona Monserrat
- Fig. 18 Diagramas triangulares de Ag-Pb-Sn, Ag-Sn-Cu y Ag-Sn-Zn por las alturas de la zona Monserrat
- Fig. 19 Plano diagramático de perfiles de la zona Monserrat

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1 Flujograma de las investigaciones por cada año
- Tabla 2 Lista de investigadores
- Tabla 3 Lista de administración y producción de las minas de la Empresa Minera Quechisla (1978)
- Tabla 4 Vetas, minerales y sus leyes por cada veta de la mina San Vicente
- Tabla 5 Vetas, minerales y sus leyes por cada veta de la mina Tatasi

## LISTA DE PLANOS

Pl.1	Mapa geológico y perfiles geológicos	1:25,000
Pl.2-1	Mapa de interpretación sumaria, Zona de la mina San Vicente	1:10,000
Pl.2-2	Mapa de interpretación sumaria, Zona Monserrat	1:10,000
Pl.3	Mapa de interpretación sumaria, zona oeste de Tatasi	1:10,000

## CAPITULO 1 INTRODUCCION

### 1-1. Reseña histórica y objeto de la investigación

En el año 1974, el gobierno boliviano solicitó al gobierno del Japón su cooperación técnica para construir fundición de cinc. El gobierno japonés, correspondiendo a dicha solicitud, envió misiones de investigación en febrero de 1975 y en marzo de 1976, que efectuaron estudios al respecto, incluyendo estudios sobre la infraestructura relativa. Mientras, el gobierno boliviano, sincronizando con el plan de construcción de dicha fundición, ha venido esforzándose en obtener sus materias primas. Y como resultado de ello, seleccionó unas áreas que se deben explorar y solicitó al gobierno japonés la cooperación para su exploración y desarrollo, a saber: una zona mineralizada de cinc y plomo en el Sur de Cochabamba; otra zona mineralizada de cinc y plomo de Huara Huara - San Lucas en el Este de Potosí, y otra zona mineralizada de varios minerales del área Tupiza.

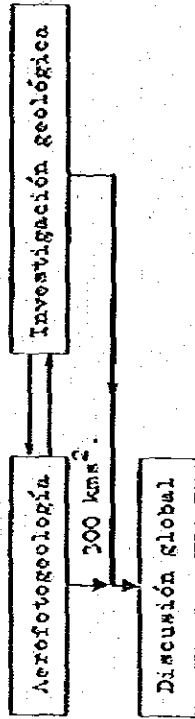
A efecto de llevar a cabo la investigación cooperativa, el gobierno japonés envió, en junio de 1976, una misión investigadora para ver tanto la posibilidad de la existencia de yacimientos, como la viabilidad de la investigación básica sobre la cooperación para el desarrollo de recursos minerales. Como la conclusión de estudios de dicha misión, se suponía que, con mucha posibilidad, se extenderían yacimientos en la región Sur,\* incluyendo la mina San Vicente que es una parte del área Tupiza, y que podría proveer, en poco tiempo, de materias primas a la fundición de cinc. Por lo tanto, los representantes de ambos países se pusieron de acuerdo en

\* En el informe del primer año, del año 1977, esta región se donominó "el área San Vicente".



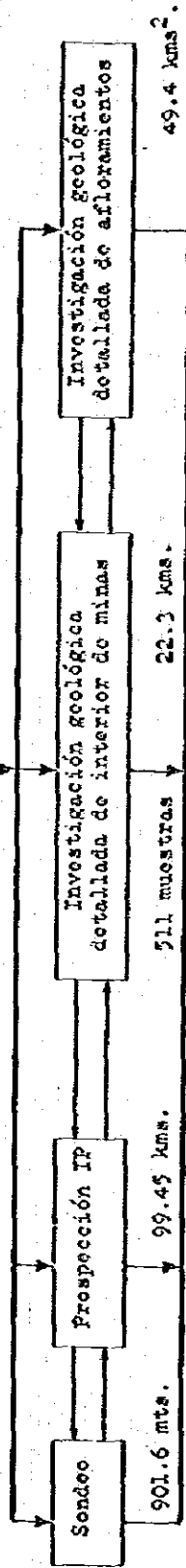
**Tabla 1 Flujiograma de las investigaciones por cada año**

(el año 1976)



Selección de las áreas de San Vicente y Tatasi

(el año 1977)



49.4 kms<sup>2</sup>.

Selección de las zonas de la mina San Vicente y de Monserrat

(el año 1978)

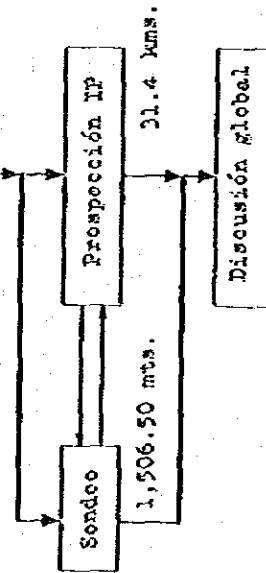


Tabla 2 Lista de investigadores

Años	Investigadores del año 1976	Investigadores del año 1977	Investigadores del año 1978
Cargos	Bolivianos	Bolivianos	Bolivianos
Jefe de la misión	Japoneses	Japoneses	Japoneses
Administración general y relaciones públicas	Atsushi Horita	Yoji Terazu	Hiroji Kuronuma
Grupo de investigación geológica	M. Jiménez C. C. Gamboa S. Mendoza M. Aramayo T. Pozo C. Sandy A.	M. Jiménez C. C. Sandy A. J. Ceres A. N. Flores Z. C. Ortiz J.	M. Guerra A. Kazuhiro Chimura Toyo Miyauchi Kenji Nakamura
Grupos de prospección geofísica	Hiroji Kuronuma Tsuyoshi Yamada Masao Hori Shigeru Yamanaka Tsutomu Otsubo	Hiroji Kuronuma Yoshiro Takahashi Tadao Mizuguchi Toshinobu Yano Kiyoshi Nakamura	M. Delgado R. R. Rico A. Manabu Kaku
Grupo de investigación de sondos		Takashi Oya Masashi Kurosawa Yuji Saeki Eiji Tanaka Toshie Tsubakita Manabu Kaku	Takashi Oya Yasuo Endo Manabu Kaku
		Tatsuya Ito Tsukasa Ozaki Masakiyo Sato Jishichi Sato Tomomi Nakagiri	Nobuhiko Yamamoto Yukichi Tagami Hisashi Suzuki Jishichi Sato Shigeru Inoue Yoshinori Seki Kikuo Sato

seleccionar dicha región Sur como el área de estudio.

El objeto de estas investigaciones fue obtener las estructuras geológicas y los datos detallados de geología del área de estudio, así como seleccionar zonas encajonantes de yacimientos de alta potencialidad aplicando métodos efectivos para la exploración por método de aclarar las distribuciones de lugares mineralizados y los ambientes geológicos donde se esperan existencias de yacimientos de minerales metálicos.

#### 1-2. Reseña de los trabajos de la investigación

La investigación geológica en la región Sur de la República de Bolivia que duró tres años desde el año 1976 hasta el año 1978 se ha realizado en una extensión de 300 kms<sup>2</sup>. que está situada a unos 30 kms. al Sur de Atocha como se presenta en la Fig. 1. En cuanto a los métodos de la investigación, obteniendo las cooperaciones de COMIBOL, se realizaron la investigación geológica, la prospección geofísica por el método IP y la investigación por sondeos.

Referente al proceso de la investigación, como se presenta en la Tabla 1, se han seleccionado unas zonas encajonantes de yacimientos prometedores en las áreas primeramente estudiadas, por medio de analizar sintéticamente los resultados de cada método de exploraciones.

Los investigadores que participaron en estas investigaciones se presentan en la Tabla 2.

#### 1-2-1. Investigación del primer año

La investigación del primer año fue realizada en una extensión de 300 kms<sup>2</sup>. que abarca todo el área proyectada de investigación.

Referente a las investigaciones geológicas, se realizaron investigaciones semidetalladas en toda el área e investigaciones detalladas

en dos áreas; el área San Vicente y la parte Oeste del área Tatasi.

Se hizo el mapa geológico de escala 1:10,000 por las investigaciones semidetalladas; el de escala 1:5,000 con distribuciones de afloramientos, por las investigaciones detalladas.

#### 1-2-2. Investigación del segundo año

La investigación del segundo año se efectuó en las dos áreas seleccionadas; el área San Vicente (40 kms<sup>2</sup>.) y el área Tatasi (9.4 kms<sup>2</sup>.), abarcando en total 49.4 kms<sup>2</sup>. Se realizaron investigaciones geológicas detalladas de superficie y de interior mina, prospección geofísica por el método IP e investigación de sondeos.

Se efectuó la investigación geológica detallada de superficie en la zona Sureste de San Vicente, que ocupa la parte Sureste del área San Vicente, con el objeto principal de aclarar la relatividad entre la actividad ígnea y la faja mineralizada, con la cual se hizo el mapa geológico de escala 1:5,000. Por otra parte, se realizó la investigación sobre afloramientos en la zona de la mina San Vicente cuyo centro es la sección San Vicente, en la zona Monserrat cuyo centro es la sección Monserrat, y en la zona Tatasi, por la cual se dibujó el mapa de investigación detallada de los afloramientos de escala 1:2,000, a efecto de analizar la relación entre los resultados de esta investigación y los de la investigación geológica detallada de interior mina.

La investigación geológica detallada de interior mina se realizó en las secciones San Vicente y Monserrat de la mina San Vicente y en la mina Tatasi, con el largo total de 22.3 kms. de galerías y recortes. Es decir, se dibujaron croquis geológicos de galerías y recortes a escala de 1:500 y, compilando sus resultados, se hizo un mapa geológico de interior mina a escala de 1:2,000, mientras que se lograron en total 511 muestras

tomadas en cada 40 mts. a lo largo de las vetas, cortadas perpendicularmente.

La prospección geofísica por el método IP fue efectuada en el área San Vicente y en la zona Oeste del área Tatasi. En el área primera, realizando primeramente la investigación semidetallada por el método IP de disposición gradiente de electrodos en toda el área, se efectuó la investigación detallada por disposición dipolo-dipolo de electrodos en la zona de la mina San Vicente y en la de Monserrat donde se observaron los indicios destacados de IP. En la segunda, se efectuó el método IP de disposición dipolo-dipolo de electrodos por la razón de que el área de investigación está reducida. El trabajo total de las líneas de medición de prospección geofísica por el método IP alcanza a 99.45 kms.

Referente a la investigación por sondeos, en el área San Vicente se perforaron tres taladros con un avance total de 901.6 mts. de profundidad. Entre éstos, en la zona Monserrat se efectuaron dos taladros con un avance total de 601.1 mts. en la parte extendida e inferior de la veta Salvadora donde existe una corrida. El otro de 300.5 mts. se perforó en la zona de la mina San Vicente, en la parte extendida e inferior de la veta Seis de Agosto que fue explorada por una corrida.

#### 1-2-3. Investigación del tercer año

La investigación del tercer año se realizó en la zona de la mina San Vicente y en la zona Monserrat del área San Vicente seleccionadas basándose en los resultados de la investigación del segundo año. Referente a los métodos de investigación, se efectuaron la prospección geofísica del método IP, la investigación por sondeos y la investigación geológica relativa.

En cuanto a la prospección geofísica por el método IP, se tomó el método IP de disposición dipolo-dipolo de electrodos. En la zona Monserrat

se efectuó sobre seis líneas de medición instalando los electrodos a intervalos de 50 mts. (el largo total, 13.9 kms.) y sobre una línea con electrodos a intervalos de 100 mts. (el largo, 2.5 kms.). En la zona de la mina San Vicente, se efectuó sobre cuatro líneas con electrodos a intervalos de 50 mts. (el largo total, 12 kms.) y sobre una línea con electrodos a intervalos de 100 mts. Como se ha mencionado, en el tercer año, el largo total de la línea de medición de la prospección IP es de 31.4 kms.

Referente a la investigación de sondeos, se perforaron cinco taladros con un avance total de 1,506.50 mts. en los sitios que se demuestran en el Pl. 1 y la Fig. 2. Entre éstos, en la zona de la mina San Vicente se efectuaron tres taladros con un avance total de 903.60 mts.; en la zona Monserrat, otros dos de 602.90 mts. en total.

## CAPITULO 2 RESEÑA GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO

### 2-1. Localidad y accesibilidad (Véase Fig. 1)

El área de estudio se sitúa a unos 30 kms. al Sur de Atocha en la región Sur de la República de Bolivia, y su extensión es de 300 kms<sup>2</sup>. (10 kms. x 30 kms.) aproximadamente.

Los medios de transporte entre La Paz y el área de estudio son ferrocarriles y automóviles. En el caso de utilizar los ferrocarriles, se puede viajar hasta Atocha, que es el centro del área estudiada, por la línea La Paz - Villazón (un pueblo en la frontera con Argentina), e ir al sitio de exploración en auto. Casi todos los días hay un servicio regular de tren entre La Paz y Atocha, cuyo recorrido es de 12 horas aproximadamente.

En el caso de emplear sólo los automóviles, el viaje se hace vía Potosí. Pero en cuanto al tramo Cotagaita - Atocha, el camino es precisamente el lecho del Río Atocha, por lo que no es transitable en la temporada de lluvia y hay que hacer el viaje vía Tupiza.

El tiempo necesario del viaje en jeep entre La Paz y el área de estudio es como lo siguiente:

La Paz	$\frac{10 \text{ horas}}{574 \text{ kms.}}$	Potosí	$\frac{4 \text{ horas}}{185 \text{ kms.}}$	Cotagaita	$\frac{3 \text{ horas}}{70 \text{ kms.}}$	Quechisla
		Atocha	$\frac{1 \text{ hora}}{32 \text{ kms.}}$	Tatasi	$\frac{1 \text{ hora}}{36 \text{ kms.}}$	San Vicente

### 2-2. Geomorfología y clima

El área de estudio se sitúa en la altiplanicie, de 4,000 mts. a 4,700 mts. de altura s.n.m., y el lugar más alto del área es de 4,787 mts. en el Cerro Pupusani al Este de San Vicente. La parte Oeste del área

estudiada presenta, en general, topografías de forma de altiplanicie con altibajos moderados, y sus serranías tienen forma de lomas. En la parte central se desarrollan valles estructurales debidos a las geologías estructurales de la dirección Norte-Sur. La parte Este presenta topografías volcánicas, y sobre todo, las cumbres formadas por rocas volcánicas al modo de domos, que se consideran como el centro de las actividades volcánicas, se ubican entre 4,400 mts. y 4,500 mts. de altura s.n.m. En sus alrededores, se constituyen faldeos de suave declive formados por materiales piroclásticos o lavas.

El término medio de la precipitación anual es muy poco, siendo alrededor de 400 mms. Además, llueve concentradamente en los meses de diciembre a marzo. Con respecto a la temperatura, se supone que el término medio del año es entre 5 y 6 centígrados, y la temperatura mínima de noche en invierno baja a 25 centígrados bajo cero. Aun en verano la temperatura nocturna se registra bajo cero.

Como lo arriba mencionado, en esta área, la precipitación anual es muy poca, y además el cambio de la temperatura en un día es grande debido a su altura muy elevada, por lo que el área presenta forma de serranías semidesiertas con muy poca vegetación.

### 2-3. Minería (Véase Fig. 1)

En el área de estudio existen unas minas que actualmente están en explotación, entre las cuales las importantes pertenecen a COMIBOL bajo la administración de la Empresa Minera Quechisla, que se sitúa a 13 kms. al Nordeste de la estación Atocha. Es decir, esta empresa tiene en sus alrededores seis minas, siete ingenios y una fundición, a saber: la mina Tazna y el ingenio Buen Retiro al Norte; las minas Animas y Siete Suyos,



los ingenios Santa Ana y Telamayu, y la fundición de bismuto del último al Oeste; la mina Chorolque y los ingenios Sala Sala y Pierro Unu al Este; la mina Tatasi, el ingenio de la misma, la mina San Vicente y el ingenio Ventillas.

En el área de estudio, entre las minas pertenecientes a empresas privadas, la principal es la mina Asunta administrada por la Empresa Minera Unificada S.A., que se sitúa en el medio de la mina Tatasi y la de San Vicente. En esta mina actualmente se están desarrollando los yacimientos de tipo filón compuestos principalmente de minerales estanníferos y argentíferos. Ya se terminó de construir un ingenio que tiene capacidad diaria de 140 tons., pero actualmente éste todavía no funciona normalmente.

Todos los yacimientos del área estudiada son de tipo filón, formados en relación con rocas ígneas ácidas, y encajonan minerales de estaño, plata, plomo, cinc y bismuto. La mayor parte de los minerales extraídos y concentrados de estos yacimientos se exportan debido a que no se consumen en el país. Sin embargo, los minerales de estaño, bismuto y antimonio se exportan en la forma de metales finos, fundidos en la refinería recién construida.

En la Empresa Minera Quechisla, el número total de los trabajadores es 4,473 personas en noviembre de 1978, y la cantidad anual de metales finos producidos en el año 1977 son 1,550 tons. de estaño, 130 tons. de plata, 6,700 tons. de plomo y 11,200 tons. de cinc, todas aproximadamente. Estas cantidades ocupan importantes partes en todas las producciones del país. Es decir, la producción de estaño aproximadamente ocupa 5.5%, plata 18%, plomo 44% y cinc 20% de la producción nacional respectivamente. Por lo tanto, el área de estudio contribuye con mucha importancia a las finanzas del país.

**Tabla 3 Lista de administración y producción de las minas de la Empresa Minera Quechisla (1978)**

Minas u oficina	Rocas encajonantes	Minerales principales	Mineral de cabeza y leyes	Ingenios y fundición	Mineral concentrado, leyes	Número de trabajadores
Oficina Quechisla						185
Mina Tazna	Pórfido cuarcífero, Pizarra de Ordovícico	Bismutita, Pirrotina, Volfranita, Esfalerita, Arsenopirita	Bi-Cu 9,609 t/m (proyectada) Bi 0.48% Cu 0.56%	Ingenio Bata Retiro	Bi-Cu 329 t/m Bi 12.59% Cu 14.18%	694
				Fundición Telazaju de bismuto	Bi-metal fino 150t (en el primer trimestre del año)	713
Mina Animas	Dacita, Toba brecha, Paleozoico	Casiterita, Galena argentífera, Esfalerita, Pirita, Marcasita	Ag-Pb-Zn 6,934 t/m Ag 390 g/t Pb 3.24 % Zn 4.72 %	Ingenio Telazaju	Ag-Pb 653 t/m Ag 0.419 % Pb 35.50 % Zn-Ag 704 t/m Zn 46.45 % Ag 0.137%	
			Ag-Pb-Zn 4,236 t/m Ag 340 g/t Pb 1.89 % Zn 3.67 %			
Mina Siete Suyos			Sn-Ag-Cu 5,029 t/m Sn 0.30 % Ag 130 g/t Cu 0.20 %	Ingenio Santa Ana	Sn complejo 131t/m Sn 4.10 % Ag 0.305% Cu 4.58 % Sn (gravimetría) 13.36 t/m Sn 30.93 %	2,321
Mina Chorolque	Dacita, Toba dacítica	Casiterita, Pirita	Sn 9,565 t/m Sn 1.39%	Ingenio Sals Sals	Sn 217 t/m Sn 44.70 %	738
			Sn 8,086 t/m Sn 0.54 %	Ingenio Pizarro Uta	Sn 57 t/m Sn 39.88 %	
Mina Yatasi	Dacita, Toba brecha	Galena argentífera, Pirargirita, Polibasita, Tetraedrita, Argentita, Estannina, Casiterita, Esfalerita, Pirita, Calcopirita, Marcasita	Pb-Ag-Zn 9,747 t/m Ag 440 g/t Pb 3.84 % Zn 3.4 %	Ingenio Yatasi	Ag-Pb 529 t/m Ag 0.7 % Pb 62.43 % Ag-Zn 283 t/m Ag 0.083 % Zn 44.13 %	426
Mina San Vicente	Conglomerado de Terciario Neógeno	Tetraedrita argentífera, Galena, Esfalerita, Calcopirita, Estannina, Casiterita, Pirita, Marcasita	Ag-Zn 8,820 t/m Zn 6.14 % Ag 420 g/t	Ingenio Ventillas	Ag-Zn 1,131 t/m Zn 42.69 % Ag 0.283 %	284

El gobierno boliviano planea construir fundición de cinc, y para tal efecto, se fija en los recursos minerales cinquíferos del área considerándola como un lugar importante para el abastecimiento de materias primas una vez construida la fundición. Con tal motivo, COMIBOL proyecta aumentar la producción, tanto explorando nuevos yacimientos de la mina San Vicente, como mejorando las instalaciones de las minas ya explotadas.

Las descripciones resumidas de las minas y los ingenios pertenecientes a la Empresa Mínera Quechisla se mencionan en la Tabla 3.

### CAPITULO 3 RESEÑA DE GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

#### 3-1. Reseña de la geología (Véanse Pl. 1, Fig. 3 y Fig. 4)

En cuanto a la geología de Bolivia, generalmente su distribución, que corre del Sur al Norte, presenta paralela a la dirección del movimiento orogénico del sistema Andino, y desde la parte oriental hacia la occidental se distribuyen en el orden siguiente: el sistema Precámbrico del Escudo Brasileño; el Terciario y el Cretácico que ocupan los francos orientales del sistema Andino oriental; el sistema Paleozoico que ocupa la mayor parte de los Andes orientales; el sistema Terciario que ocupa la planicie de Altiplano, y las rocas volcánicas del Terciario y Cuaternario las cuales forman los Andes occidentales.

En el área donde se distribuye el Paleozoico, desde la parte central hasta la occidental, y en el área donde se distribuye el sistema Terciario del Altiplano, están esparcidas en la dirección del Sur al Norte las rocas intrusivas y ácidas, acompañadas por una actividad volcánica posterior al Terciario.

De estos sistemas, está ubicada el área estudiada sobre el límite entre el sistema Terciario que ocupa el Altiplano y el Paleozoico que ocupa la mayor parte de los Andes orientales. Y en ésta se observan rocas volcánicas ácidas que parecen haber sido formadas por la intrusión en el Terciario. Es decir, en la parte Suroeste del área de estudio, se difunde la formación San Vicente del Terciario Neógeno; en la parte central, areniscas y pizarras Ordovícicas que forman la base del área como la parte inferior y disposición de su alternancia; en la parte Nordeste, la formación El Molino del Cretácico Superior que reposa en discordancia inclinada sobre el Ordovícico, y la formación Quehua del Terciario Neógeno. Y en la zona



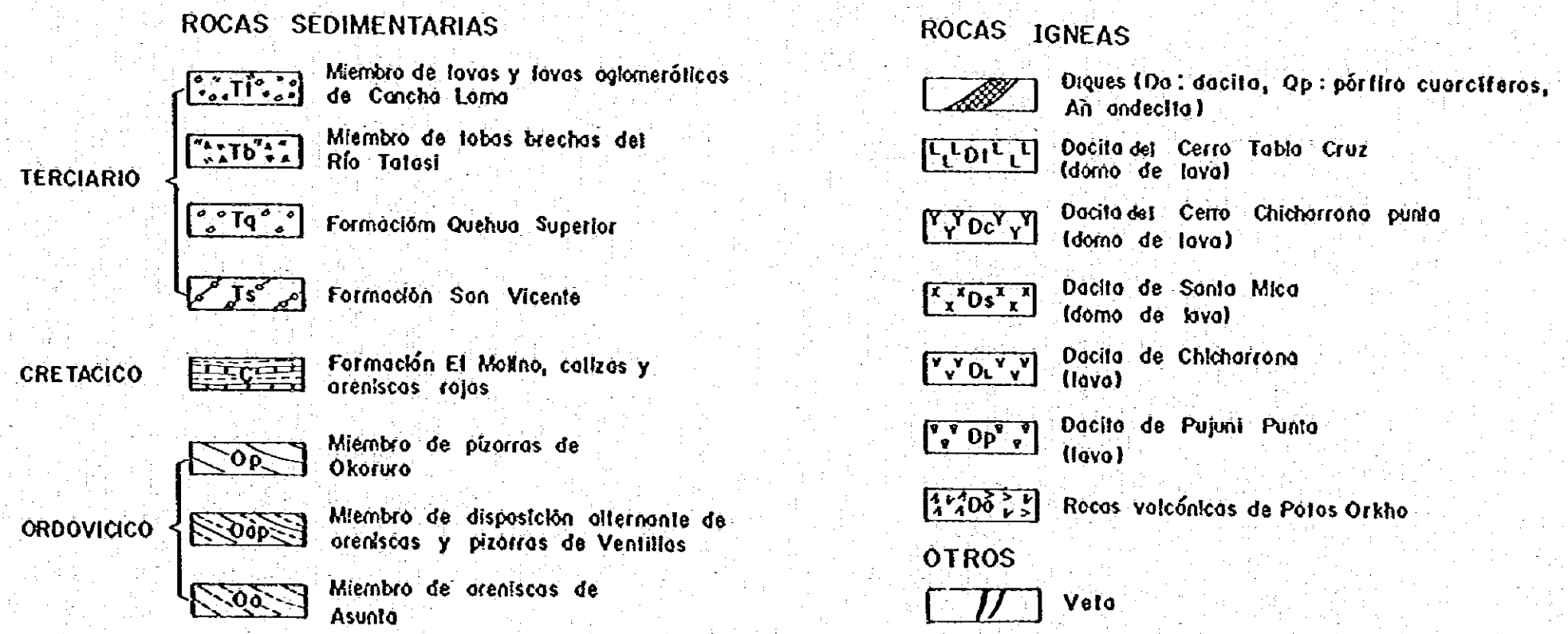
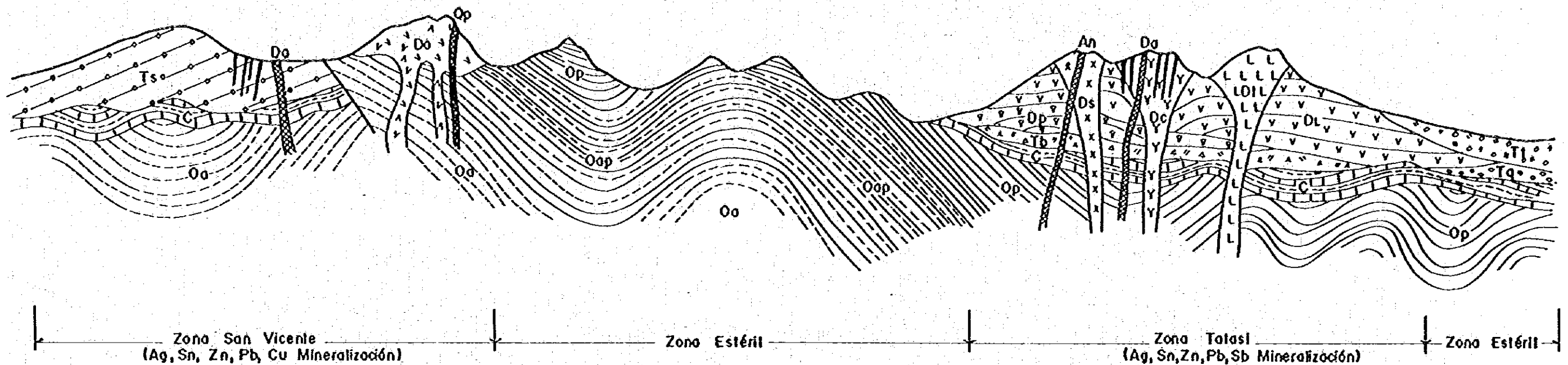


Fig. 4 Perfil Idealizado

Tatasi y la zona San Vicente, atravesando dichas formaciones se observan efusión e intrusión de rocas volcánicas que consisten principalmente en dacita del Mioceno Tardío.

### 3-1-1. Sistema Ordovícico

El sistema Ordovícico se sitúa en la parte más profunda formándose la base de este área. Su espesor es bastante grueso siendo más de 3,400 mts. Se compone de pizarras, areniscas y disposición de su alternancia y no incluye rocas ígneas. Se considera que pertenece al tipo sedimentario "flysh" muy monótono. Este sistema se ha tratado como el Ordovícico no diferenciado por la razón de que no han sido descubiertos fósiles. Sin embargo, por la diferencia evidente de facies de los sedimentos de la parte inferior a la superior que descubrimos en nuestra investigación, se divide en tres miembros siguientes desde la parte inferior hacia la superior: de areniscas de Asunta; de la disposición alternante de areniscas y pizarras de Ventillas; de pizarras de Okoruro. En general se observa muy poco la acción metamórfica, o más bien, se nota la de diagénesis avanzada, por lo cual la calidad de rocas resulta firme.

### 3-1-2. Sistema Cretácico

El sistema Cretácico del área estudiada se difunde rodeando la mina Tatasi desde el lado Oeste de ella. Su espesor es más de 400 mts. pero se varía notablemente debido a la forma de la base en el tiempo de sedimentación y a la condición de la erosión. En lo que se refiere a la relación estratigráfica, este sistema está en contacto con el sistema Ordovícico por discordancia inclinada o falla; en la parte básica existe el conglomerado básico mencionado arriba del color rojo oscuro. Este sistema se compone de una capa de conglomerado en la parte inferior y de El Molino en la parte superior. Entre éstos, la capa de conglomerado se compone de los fragmentos

Ordovícicos de tamaños intermediarios o finos, que son de los tipos subangulares pobremente clasificados, de las arcillas, y de areniscas. La formación El Molino se compone de las siguientes desde la parte inferior: arenisca roja, caliza fosilífera, caliza oolítica, marga que muestra colores de gris oscuro o rojo purpúreo, y arenisca roja de concreción relativamente baja.

En la presente investigación obtuvimos algunas muestras de fósiles vertebrados y pólenes del presente sistema y realizamos un estudio de determinación. Y conseguimos el resultado siguiente: en cuanto a la época, se deduce, por los fósiles vertebrados, que era del Cretácico Superior al Eoceno; mientras, según el resultado del análisis de polen, se supone que pertenece a alrededor del Terciario Superior. En Bolivia, sin embargo, la estratigrafía por el análisis de polen todavía no está establecida, por lo tanto, se ha de poner importancia en los fósiles vertebrados, por lo que se ha concluido que este sistema pertenece al Cretácico Superior.

Además, deduciendo por estos fósiles vertebrados, se considera que el ambiente sedimentario era del área de agua salobre o dulce, y se supone un lago intercontinental o un mar cerrado con muy poca profundidad, que a veces quedaba sin agua exponiéndose la tierra en la época seca. Y también se presume que el paleoclima de entonces era del clima tropical o subtropical.

### 3-1-3. Sistema Terciario Neógeno

El sistema Terciario Neógeno del área estudiada se divide en la formación San Vicente y la formación Quehua Superior. Sin embargo, por la razón de que ambas formaciones se difunden en diferentes zonas alejadas, su relación mutua no es clara, ni se parecen sus facies litológicas.

La formación San Vicente se difunde ampliamente en la parte Suroeste del



área estudiada, en el que esta formación se limita del área Ordovícico con la falla San Vicente. Por eso no es claro su espesor, aunque se presume más de 500 mts. La facies litológica se compone sólo de conglomerado rojo, y presenta estrato sedimentario notablemente peculiar. Es decir, los fragmentos en el conglomerado están formados por areniscas cuarzosas y pizarras del sistema Ordovícico, y en alguna parte por pocas areniscas rojas, arcillas del sistema Cretácico y cuarzos lechosos derivados de vetas del cuarzo. Estos, principalmente compuestos de los fragmentos angulares o subangulares, presentan pequeño grado de redondeza. La matriz se llena de arena fina o lodo, y presenta color rojo por su contenido de hierro óxido. Y además, los fragmentos del conglomerado, en los que no se halla acción selectiva, tienen muy pocas estructuras gradadas con disposición irregular de los fragmentos de varios tamaños. Pero sus fragmentos presentan parcialmente una estructura imbricada. Y también se observan estructuras sedimentarias por corriente de agua, tal como lámina, formadas por arena fina y limo que constituyen la matriz.

En la presente investigación no se pudo obtener ningún fósil vertebrado de la formación San Vicente. Por lo tanto, se ofrecieron conglomerados para el análisis de polen y se identificaron muchas especies. Como sus características, los pólenes del grupo de las plantas herváceas ocupan más de 70 % de todos, lo cual significa que ellos pertenecen a la época bastante posterior. Por la presencia de *Alnus*, perteneciente al grupo de los árboles de hojas anchas, es más probable que esta formación pertenezca entre Pleistoceno y Plioceno. En Bolivia, empero, todavía no está establecida la estratigrafía de análisis por pólenes, por lo que se presume que ésta pertenece al Mioceno Superior teniendo en cuenta los resultados de la determinación de la edad absoluta de los diques intruídos

en esta formación. El paleoclima presumido por este análisis por pólenes, al igual que el del sistema Cretácico, es templado o subtropical, y al mismo tiempo se imagina un aspecto al modo de sabana por lo muchos de los pólenes del grupo de las plantas herbáceas.

La formación Quehua Superior se difunde muy localmente en el extremo Nordeste del área estudiada. El miembro de esta zona tiene más de 100 mts. de espesor y se compone de areniscas y arcillas suaves de color rojo grisáceo claro o rojo pardo claro, y de toba brecha dacítica de color blanco.

Y respecto a la relación estratigráfica, este miembro cubre con discordancia el sistema Cretácico y el sistema Ordovícico en el extremo Nordeste del área estudiada. Y en la parte superior, linda con rocas volcánicas de Tatasi con discordancia. Por esas razones, no se pudo comprobar la relación con el otro sistema Terciario en el área estudiada.

#### 3-1-4. Sistema Cuaternario

Respecto al sistema Cuaternario que difunde en el área investigada, se hallan turbas del Pleistoceno en el área de drenaje del Río Honda, las cuales forman terrazas fluviales de bajo nivel, cuyos espesores llegan a unos 3 mts. Los sedimentos de terrazas fluviales se componen generalmente de arcillas del color gris oscuro, arenas y guijarros. En el Río Honda se observan planos de terrazas de dos niveles, pero sus alcances son muy estrechos y reducidos.

Los estratos aluviales se desarrollan en los ríos principales y en las partes planas, y se forman de guijarros no concretados de subangular y de arenas que llenan los anteriores. Sin embargo, la diferencia entre la estación seca y la de lluvia es clara y las lluvias se concentran en este corto tiempo, y además la vegetación es muy poca, de modo que los estratos aluviales se erosionan cada vez más y no presentan espesor muy grande.

### 3-1-5. Rocas volcánicas del área San Vicente

Las rocas volcánicas del área San Vicente se difunden a unos 5 kms. al Este de la mina misma, alrededor del Cerro Potos Orkho. El área de esta difusión tiene 5 kms. de diámetro, y en el área estudiada se aflora la parte Norte de su difusión. Las rocas volcánicas del área se componen tanto de las rocas volcánicas de Potos Orkho que difunden ampliamente en forma de lavas o rocas volcánicas de facies intrusiva, como de los diques que se intruyen en dichas rocas de Potos Orkho y en la formación San Vicente del Terciario Neógeno situada cerca de las rocas anteriores.

Referente a la edad de intrusión y efusión de los diques y rocas volcánicas de Potos Orkho, según la determinación de edad absoluta por el método Potasio-Argón que se ha probado en la presente investigación, se ha marcado un valor de 13.4 my a 18.5 my, y pertenece al Mioceno Medio o Tardío. Pero los diques, por la razón de que se intruyen seguramente en la formación San Vicente, se han determinado de la actividad del Mioceno Tardío. Los componentes químicos de las rocas volcánicas y los diques de Potos Orkho son de dacita, que pertenecen a la serie alcalina cálcica abundante en álcali, pero entre los diques hay algunos que deben llamarse andesitas por falta del componente silíceo.

La facies de las rocas volcánicas de Potos Orkho presenta muchos colores; gris blanco, gris oscuro verdoso y gris rosado. Se presentan texturas porfiríticas con fenocristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato alcalino y biotita, las cuales tienen propiedades duras y compactas. Alrededor del extremo Este de las rocas volcánicas, existen algunas lavas que muestran una estructura autobrechosa; tobas brechas a lavas demuestran sus disposiciones alternantes. Alrededor del Cerro Evangelista, en el extremo Oeste de las rocas volcánicas, se observan lavas caracterizadas por

una textura de flujo, las cuales indican facies efusiva cubriendo, con una inclinación moderada, un plano llano de la parte superior del Ordovícico onduladamente plegado. El Cerro Potos Orkho, situado en la parte central del área donde se difunden las rocas volcánicas, muestra un espino típico volcánico, y sus rocas intruyen en las lavas presentando una facies petrográfica de pórfido cuarífero. Y en la parte central los fenocristales llegan a 1 cm. de tamaño, y los minerales que forman sus matrices son grandes, por lo cual se conserva facies intrusiva. Por eso, podemos presumir que la parte central de la actividad volcánica existe aproximadamente en el centro del área de difusión de las rocas volcánicas.

Los diques intruyen en la dirección Este-Oeste desde la parte occidental del área donde se difunden las rocas volcánicas de Potos Orkho hasta la zona de la mina San Vicente. Los diques en las rocas volcánicas de Potos Orkho presentan colores gris verdoso, rojo pardo y gris oscuro, y pertenecen a las clases de dacita o de pórfido cuarífero. Y el dique observado en la formación San Vicente de la zona de la mina San Vicente muestra color gris blanco y pertenece a una clase de dacita. (En adelante, se llamará "el dique San Vicente".) Estos diques se observan también en el interior de la mina San Vicente, cortados por la veta Seis de Agosto y afectados fuertemente por alteración arcillosa, por lo tanto, los diques son evidentemente de intrusiones anteriores a la mineralización. Sin embargo, se puede pensar que entre la formación de los diques y la mineralización no habría mucha diferencia del tiempo.

### 3-1-6. Rocas volcánicas y rocas piroclásticas del área Tatasi

Las rocas volcánicas y rocas piroclásticas del área Tatasi se difunden ampliamente alrededor de la mina Tatasi, en unos 8 kms. de radio. Se considera el orden de actividad volcánica por su estratigrafía como sigue:

- (1) Erupción de rocas piroclásticas del Río Tatasi;
- (2) Efusión de lavas de Pujuní Punta;
- (3) Efusión de lavas de Chicharrona;
- (4) Efusión de lavas aglomeráticas de Cancha Loma;
- (5) Formación de domos de lavas de Santa Mica,  
Chicharrona Punta y Tabla Cruz, y
- (6) Intrusión de diques y mineralización

Respecto a los períodos de intrusión y efusión de las rocas volcánicas y los diques, según la medición de edad absoluta realizada por el método Potasio-Argón, sus números marcan unos valores de 17.1 my a 22.8 my, que pertenecen al Mioceno Inferior o Medio. Sin embargo, teniendo en cuenta la estratigrafía de rocas sedimentarias al igual que otras rocas determinadas de edad absoluta, lo hemos concluido como el Mioceno Superior.

Los componentes químicos de estas rocas volcánicas se difunden en el área de dacita, que pertenece a la serie alcalina cálcica, pero abundan comparativamente en álcali, especialmente en las rocas de domos de lavas de Chicharrona Punta. Como el resultado de la investigación por microscopio, los diques son mayormente dacíticos, pero en unos lugares se observan los andésiticos.

Mencionaremos a continuación sobre dichas rocas volcánicas y piroclásticas conforme al orden de las actividades volcánicas.

El miembro de tobas brechas del Río Tatasi se difunde ampliamente en la parte central del área Tatasi. Cerca del Río Tatasi contiene pizarras y brechas del sistema Ordovícico, pero sus fragmentos están poco seleccionados con el pequeño grado de redondeza, siendo acción de selección muy mala.

Sin embargo, en los alrededores de la Quebrada Trapiche en Tatasi,

este miembro tiene fragmentos de pizarra, pórfido cuarcífero, riólita y pumita de redondeza avanzada. Y mostrando el tamaño de grano uniforme, su selección está avanzada. Como se ha mencionado, se observan una acción gradada hacia el contorno y una tendencia de que se reducen los tamaños de sus fragmentos. Por lo tanto, se presume que el centro de efusión estaría entre alrededor de la parte Sudeste del Cerro Chicharrona Punta y el Cerro Santo Tullu.

Las lavas de Pujuni Punta se hallan difundidas ampliamente desde el Cerro Pujuni Punta hasta el Cerro Chakha Punta y sus alrededores, presentando una geomorfía de flanco volcánico con una inclinación suave. Los minerales fenocristales son biotita, cuarzo, plagioclasa y feldespato alcalino, y además las matrices presentan una textura característicamente traquítica. En estas lavas se desarrolla estructura de flujo, pero no se encuentra brechiación por enfriamiento rápido tal como flujo de lava brechada por enfriamiento acuático. Por lo tanto, se considera claramente que esas lavas son de flujo terrestre.

Las lavas de Chicharrona se difunden ampliamente en el área Tatasi, siendo las principales de este área. Sus minerales fenocristales se componen de biotita, hornblenda, plagioclasa y cuarzo. Debido a la presencia característica de hornblenda, se puede distinguir las lavas de Pujuni Punta. Pero las lavas desarrolladas en la parte Este ocasionalmente carecen de hornblenda. En algunas partes de estas rocas sacadas en los alrededores de Portugaleta se observan la avanzada cristalinidad de matrices presentándose composición mineralógica y textura de pórfido cuarcífero, y facies intrusiva. Sin embargo, la textura de matrices de las lavas, en su mayoría, presenta estructura de flujo con matriz hipocrystal. Según los resultados observados por microscopio, se encuentran riólita con hornblenda-biotita y pórfido

cuarcífero, pero resumiendo estas denominaciones, se ha nombrado dacita.

El miembro de tobas y lavas aglomeráticas de Cancha Loma se difunden ampliamente en el Norte del área Tatasi. Su facies litológica, comparando con los otros miembros, tiene un aspecto particular. Se componen de fragmentos angulares o subangulares de dacita. En muchas ocasiones se ven llenadas los fragmentos de pizarras y areniscas del sistema Ordovícico en las brechas de dacita. La parte infrayacente intercala toba lapilli, que es tobácea y de color gris claro. Las brechas de dacita, probablemente dispersándose y capturando otros fragmentos accidentales, llegaron a cambiarse en lavas de autoclasto que intercalan éstos. Y se interpreta que de esta manera llegaron a tener esta facies litológica característica. En cuanto a la estratigrafía, este miembro cubre claramente lavas de Chicharróna y está evidentemente en contacto con la formación Quehua Superior del Terciario Neógeno y el sistema Ordovícico con discordancia. Juzgando por el hecho tanto de que, entre las rocas volcánicas del área Tatasi, solamente este miembro tiene la relación evidente con el sistema Terciario Neógeno, como de que cubre la formación Quehua Superior con discordancia, se ha determinado que la efusión de las rocas volcánicas del área Tatasi ocurrió después de la sedimentación de la formación Quehua Superior.

Referente a los domos de lavas, se difunden desde Este, los del Cerro Tabla Cruz, los del Cerro Chicharróna Punta y los de Santa Mica. Cada domo se extiende en la dirección NO-SE y la posición geográfica de las áreas difundidas de dichos domos es de la forma de domo con su escarpa aguda en los extremos. Todos los domos poseen texturas porfiríticas y además son compactas y duras. En torno a los domos se observan estructuras de flujo que forman la facies efusiva. Respecto a los minerales cristalizados

se observan biotita, cuarzo, plagioclasa, hornblenda, y además en los domos de Santa Mica y en los del Cerro Chicharrona Punta se observa feldespató alcalino. Referente a la matriz se encuentran, además de cuarzo y plagioclasa, los materiales vítreos en los domos arriba mencionados. Desde el punto de vista de la composición química, dichos domos de lavas se clasifican en los de dacita por su comparativa abundancia de composición alcalina.

Los diques se desarrollan notablemente en las cercanías de la mina Tatasi. Con respecto al período de intrusión, juzgando por el hecho de que los diques penetran en todas las lavas, se presume que corresponde al período final de las actividades volcánicas. Los diques son generalmente de la misma facies litológica de colores oscuro, gris oscuro y verde grisáceo oscuro, presentando duras, compactas y distintivas estructuras porfiríticas. Sobre todo, los granos de fenocristal de plagioclasa y de cuarzo son distintivos por su grandeza cuyo diámetro de largo llega a más de 1 cm. formándose fenocristal glomeroporfidico. Con respecto al fenocristal de los minerales colorados, se considera que los diques son un poco más básicos que las lavas arriba mencionadas por el hecho de que se observan frecuentemente biotitas y hornblendas. Referente a la dirección, en general se forman en la dirección Este-Oeste, pero hay unos en las direcciones NE-SO y NO-SE. Se juzga que la formación de los diques y la mineralización ocurrieron casi en el mismo período.

### 3-2. Geología estructural (Véanse Fig. 3, Fig. 4 y Pl. 1)

Todas las estructuras geológicas del territorio boliviano, debido al movimiento tectónico de los Andes, presentan direcciones entre Norte-Sur y NNO-SSE, y alcanzan desde la frontera peruana en la parte del Norte hasta



Argentina en la parte del Sur. Su centro es el Paleozoico que forma la base de los Andes orientales y en sus lados Este y Oeste se disponen las formaciones posteriores en el orden sistemático repitiéndose pliegues ondulados.

Sin embargo, en el flanco Oeste del área donde se difunde el Paleozoico, se ve un cambio relativamente fuerte de la estructura, y sobre todo, se supone la línea tectónica en el límite entre el Terciario y el Paleozoico, los cuales se difunden en el Altiplano. En la parte Norte del Altiplano se difunden fallas continuas como la falla Coniri, la falla Corocoro, etc. con una extensión de más de 100 kms. en la dirección Norte-Sur. En el área investigada que pertenece a la parte Sur de Altiplano, existe la falla San Vicente siendo el límite entre el Paleozoico y el Terciario. Se supone que estas fallas son líneas tectónicas paralelas a las estructuras de los Andes.

Las estructuras geológicas del área investigada se concuerdan con las del área amplia de los Andes, y el Ordovícico y el Cretácico tienen pliegues cuyo eje es de NNO-SSE. En cambio, aunque no es evidente el eje de pliegue del Terciario por vaguedad del plano de estratificación, hay muchas estructuras que toman, a diferencia de lo arriba dicho, el sistema Este-Oeste, lo cual parece manifestar diferencia del período de plegamiento.

En las áreas donde había actividades ígneas como la zona Sudeste de San Vicente, el área Tatasi, etc., generalmente las estructuras están fracturadas; se desarrollan pliegues y fallas pequeñas; y además, la inclinación de los pliegues es fuerte; lo cual indica que las actividades ígneas están aparentemente controladas por las estructuras de pliegues y fallas. En suma, los domos de lavas de la zona Tatasi presentan disposiciones extendidas en la dirección NO-SE; los diques de la zona San Vicente están

intruídos con la dirección Este-Oeste, y los de Tatasi con las direcciones Este-Oeste, NE-SO y NO-SE; lo cual indica que está restringido el movimiento volcánico por fallas y fracturas, a lo largo de los planos de tensión y de cizalla formados por la compresión lateral de la dirección Este-Oeste.

### 3-2-1. Pliegues

En cuanto a la época de formación de pliegues del área investigada, según las observaciones del campo, juzgando por el grado de plegamiento, evidentemente había tres veces o más de acciones de pliegue. Es decir, entre el Ordovícico y el Cretácico de este área, hay mucha diferencia del grado de plegamiento. El buzamiento del Ordovícico indica una inclinación entre  $30^\circ$  y  $60^\circ$ , y parcialmente indica  $70^\circ$  o  $80^\circ$ ; mientras, el buzamiento del Cretácico es de  $30^\circ$  como máximo excepto unas partes especiales que, por ejemplo, se aproximan a las fallas. Así se ve la diferencia claramente entre los dos. La dirección de pliegues del Ordovícico y la del Cretácico es casi la misma excepto alrededor de los yacimientos, y en toda el área del Altiplano no hay mucha diferencia de dirección de pliegues entre el Precretácico y otras formaciones posteriores, indicando una dirección entre Norte-Sur y NNO-SSO. Por lo tanto se presume que sufrieron acciones de pliegue unas veces por la fuerza de una determinada dirección.

Los pliegues del Terciario son muy moderados en el área investigada, y en general, es muy difícil determinar la dirección del eje de pliegues. Sobre todo, la formación San Vicente no tiene estratificación, y según el resultado de la medición del rumbo y buzamiento de plano que se parece a la estratificación tiene pliegues del sistema casi Este-Oeste, o sea, indica una dirección completamente distinta de la dirección general del eje de pliegues del área.

### 3-2-2. Fallas

En el área investigada, generalmente se difunden largas fallas por rumbo paralelo al eje de pliegues. Sobre todo, la falla San Vicente que sirve del límite entre el Paleozoico y el Terciario es la falla inversa que continúa en la dirección entre Sur-Norte y NNO-SSE. Esta falla es la más importante en el área estudiada. Sin embargo, referente al Paleozoico las facies litológicas de ambos lados de las fallas son casi lo mismo, por lo que casi no hay datos que puedan aclarar dislocación y otros hechos. Pero parece que hay muchas fallas inversas, y en muchos casos sus alrededores están fracturados presentando buzamientos escarpados.

Las fallas del Cretácico se desarrollan alrededor del límite con el Paleozoico en la parte Oeste del área Tatasi, pero no se encuentran muchas en otras partes, por lo cual se diferencian las del Cretácico y las del Paleozoico en la facies de tiempo estructural, juzgando también por su densidad.

Las direcciones de todas estas fallas son del sistema Norte-Sur, y se inclinan un poco al Oeste e indican la dirección NNO-SSE. Hay pocas fallas del sistema Este-Oeste que atraviesan dichas fallas y sólo les dan alguna dislocación de formación. Las fallas que desarrollan en fajas metalogenéticas tienen significación importante relacionándose con la formación de yacimientos.

### 3-3. Geología histórica (Véanse Fig. 3, Fig. 4 y Pl. 1)

Lo que dió la influencia más grande a la historia geológica boliviana es la existencia del Escudo Brasileño, que influyó sobre la formación de la cuenca sedimentaria desde el Paleozoico hasta el Cenozoico. Es decir, en la era Paleozoica, los Andes occidentales actuales llegaron a ser tierra;

se formó el geosinclinal andino oriental entre éstos y el Escudo Brasileño que se extendía más al Oeste que el actual; y se sedimentaron formaciones marinos inmensos desde el período Cámbrico hasta el Devónico. Especialmente en el período Ordovícico se avanzó la transgresión y casi toda la tierra boliviana se situaba en el fondo del mar profundo, por lo tanto, se dice que el espesor total del Ordovícico llegaría a unos 10,000 mts. y su distribución ocupa dos terceras partes de la faja de la actual cordillera andina oriental.

A fines del período Devónico empezó la regresión del mar. En el período Carbonífero se sedimentaron formaciones continentales caracterizadas por depósitos glaciales. Y en el período Pérmico empezó de nuevo la transgresión en una forma característica de bahía desde la parte Sur de Perú en dirección NO-SE. Y en la parte Norte de Bolivia se sedimentaron formaciones marinas que constan principalmente de calizas fosilíferas e intercalan areniscas. Mediante estas acciones, a principios del Pérmico la mayor parte del territorio boliviano se transformó en tierra, cuyo estado se conservaba hasta el Mesozoico, y después, con el avance de la regresión del mar, se hizo cada vez más intensa la tendencia de su terrenidad excepto en el Cretácico. Referente al sistema Triásico, se formó una cuenca sedimentaria muy limitada en la parte Sur de Bolivia y se sedimentaron calizas de facies de transformación muy fuerte y parcialmente arcillas y areniscas. Pero después de eso, no se ven sedimentos del período Jurásico. Por lo tanto, se considera que casi todo el territorio boliviano se transformó en tierra entre los fines del período Triásico y el período Cretácico Inferior.

En dicho término las rocas antiguas pertenecientes al Paleozoico fueron plegadas fuertemente, y luego por la acción de erosión se cambiaron

casi completamente en planicie. En el área investigada también, el sistema Cretácico, teniendo buzamiento moderado, cubre el sistema Paleozoico con notable discordancia inclinada. Parece que la facies de tiempo que causó estos pliegues correspondería a la facies de tiempo Nevada del movimiento orogénico primitivo de los Alpes, mientras se considera también una posibilidad de que corresponda a la del movimiento orogénico tardío de Variscan. De todos modos, el geosinclinal seguido desde la era Paleozoica cambió en un lugar fuertemente comprimido y llegó a tener estructuras plegadas, semejantes al estado actual, cuyo eje corre en la dirección NNO-SSE o Norte-Sur.

En el período Cretácico se formó un geosinclinal estrecho y se sedimentó el sistema Cretácico desde Perú hasta la parte Sur de Bolivia. Este se compone de sedimentos marinos poco profundo o del mar litoral que constan de areniscas rojas y calizas fosilíferas acompañando lavas de basalto. Se transforma transicionalmente en el sistema Terciario Paleógeno de sedimentos continentales cuyo contacto no es claro. El sistema Cretácico es la última sedimentación marina y posteriormente ya no se observa ninguna formación marina en Bolivia.

En el período Terciario Paleógeno, se levantaron ambas cordilleras oriental y occidental de los Andes, y se formaron la cuenca sedimentaria de Altiplano entre dichas cordilleras y otra cuenca de la frontera andina en la parte Este de la cordillera andina oriental. La cuenca sedimentaria de Altiplano actualmente tiene sedimentos de un espesor de 12,000 mts. debido al solevantamiento de dichas cordilleras y hundimiento seguido de sí misma, y además, ahora todavía sigue la sedimentación sin cesar recibiendo materiales de ambas cordilleras andinas. Durante la era Terciaria, en el período Eoceno Superior empezó una actividad ígnea acompañada del

movimiento orogénico andino y ocurrieron efusiones de basaltos o andesitas en el área Sur de Altiplano y como consecuencia, están intercaladas dichas lavas gruesas en el sistema Paleoceno. Desde el período Oligoceno Superior hasta el Mioceno, todavía continuaba el hundimiento de la cuenca sedimentaria de Altiplano seguido desde los fines del Cretácico, mientras que los Andes seguían levantándose y su actividad volcánica se ponía cada vez más fuerte haciendo intrusiones y efusiones de riolitas, dacitas y pórfidos cuarcíferos de la serie alcalina cálcica. Relacionándose con estas actividades ígneas, ocurrían diversas mineralizaciones de estaño, oro, plata, plomo, cinc, antimonio, bismuto, cobre, tungsteno, etc., y se formó una faja metalogénica muy grande atravesando el territorio boliviano del Norte al Sur.

Los resultados de prueba de determinación de edad absoluta de las rocas volcánicas del área estudiada salen entre 22.8 my y 13.4 my, que indican edades pertenecientes entre el Mioceno Inferior y el Superior. Sin embargo, contando con los resultados de análisis de polen y de estratigrafía, se ha considerado que la efusión y erosión de estas rocas volcánicas eran del período Mioceno Inferior. Además, se considera que en este período ocurrían acciones de pliegue ampliamente, formando fallas y pliegues en el sistema Cretácico y el Terciario Neógeno.

Posteriormente, a lo largo de todo el período Plioceno, había efusiones de toba ácida blanca, ignimbrita y lavas de dacita que se difunden ampliamente ocupando lugares extensos en Sur Lipez de la parte Sur de Altiplano, alrededor de Atocha de la parte Este del área estudiada, Alrededor de Potosí y de Machacamarca, y se formaron mesetas planas.

En el período Pleistoceno, no había actividades volcánicas en Altiplano ni en la cordillera oriental de los Andes, pero las había en la cordillera occidental, y se formaron unos estratovolcanes de andesita, principalmente en las cercanías de la frontera con Chile.

### 3-4. Yacimientos

Los grupos principales de yacimientos en el área de estudio son los tres siguientes: el grupo de yacimientos de San Vicente; el de Monserrat, ambos pertenecientes a la mina San Vicente; el de Tatasi, perteneciente a la mina Tatasi. Aparte de éstos, en la mina Asunta hay yacimientos con vetas de estaño, plata, plomo y cinc. Pero como pertenecen a la empresa privada EMUSA, no se pudo investigarlos por no poderse entrar en las galerías. Por lo tanto, a continuación se describen sólo de los grupos de yacimientos de San Vicente, Monserrat y Tatasi.

#### 3-4-1. Grupo de yacimientos de San Vicente

El grupo de yacimientos de San Vicente se divide en los tres grupos de vetas: el grupo de vetas de Tajos que se desarrolla en el Cerro Tajos y su alrededor; el grupo de vetas de San Vicente que se explora actualmente y está en el proceso de desarrollo en la mina San Vicente; el grupo de vetas de San Francisco que está situado al Sur del anterior. Estos grupos son de yacimientos de fisuras rellenas cuya roca madre es la formación San Vicente. Entre éstos, el grupo de vetas de San Vicente se explora en las corridas de nivel 30 mts, nivel 0 mt. y -30 mts. y está actualmente en el proceso de desarrollo. En la Tabla 4 se señalan los rumbos, buzamientos, prolongaciones horizontales, anchos promedios, leyes promedios y minerales metálicos de sus principales vetas.

En la sección San Vicente, se efectuó la investigación geológica detallada en las galerías de los Nivs. 0 mt. y -30 mts. Basándose tanto en la observación de esta investigación como en los mapas geológicos de interior mina, se analizó el sistema de fisuras del grupo de vetas de San Vicente. Es decir:

- ① Se considera que la fuerza que recibió por primera vez después de

**Tabla 4 Vetas, minerales y sus leyes por cada veta de la mina San Vicente**

Nombre de veta	Nivel	Clasificación	Dumbo	Dinamómetro	Longitud		Número de muestreos	Ley					Mineral principal	Mineral accesorio
					mts.	cms.		Sn(%)	Ag(%)	Cu(%)	Pb(%)	Zn(%)		
Veta Inca	0	S <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	N60°W N50°E	60°S 75°S	350 200	60	8	0.01	0.028	0.17	0.87	4.75	Sp, Py, Gs	Id, Cep
Veta Guernica II	0	S <sub>2</sub>	N70°W	80°N	400	30	7	0.13	0.328	0.85	5.86	18.19	Sp, Gs, Id Cep, Py	Stn, Gb?
Veta Guernica I	0	S <sub>2</sub>	N70°W	80°S	150	15	3	0.07	0.047	0.19	0.15	20.01	Sp, Id, Py	Cep, Stn, Gs, Str?
Veta Azula	0	S <sub>1</sub>	N55°W	65°S	500	110	18	0.42	0.065	0.52	0.82	4.02	Sp, Id Cep, Gs, Py	
Veta Jesús María	0	S <sub>2</sub>	N80°W	85°N	250	120	13	0.10	0.105	0.66	0.18	1.91	Id, Sp, Cep, Py	Gs
Veta Disputada	0	S <sub>2</sub>	N80°W	65°N	250	45	8	1.38	0.083	0.56	0.19	7.66	Sp, Py, Id Cep, Cs	Mc, Gs
Veta San José	0	S <sub>1</sub>	N50°W	65°N	500	35	9	0.14	0.558	0.85	0.16	5.79	Sp, Id, Cep, Py	Gs, Mc, Str?
Veta Ferelys	0	S <sub>1</sub>	N50°E	60°N	150	15	3	0.86	0.039	0.25	0.15	6.74	Sp, Id, Py	Cep, Gs
Veta Cantera	0	S <sub>1</sub>	N55°W	60°N	350	30	10	0.05	0.074	0.31	0.23	20.25	Sp, Id, Py	Cep, Gs
Veta Ariola	0	T <sub>2</sub>	N65°E	70°S	200	10	4	0.05	0.143	0.39	0.23	22.07	Sp, Id, Py	Gs, Cep
Eazo 6 de Agosto	0	T <sub>2</sub>	N65°E	60°N	150	75	4	0.10	0.057	0.15	0.11	17.65	Sp, Id, Py	Cep, Gs
Veta 6 de Agosto	0	T <sub>1</sub> =S <sub>2</sub>	N80°W	65°N	1,300	175	63	0.08	0.049	0.45	0.10	6.18	Sp, Id, Py	Cep, Gs
Veta Litoral	0	T <sub>2</sub>	N65°E	70°S	250	120	16	0.05	0.047	0.54	0.09	14.34	Sp, Id, Cep, Py	Ce, Cr, Gs
Veta San Lorenzo	0	T <sub>1</sub>	EW	70°S	200	45	5	0.02	0.040	0.80	0.82	5.42	Sp, Gs, Cep, Py	Id
Veta Peritas	0	T <sub>2</sub>	N75°E	70°S	250	40	6	0.05	0.055	0.71	0.19	18.80	Sp, Id, Cep, Py	Gs
Veta Deseada	0	T <sub>1</sub> =S <sub>2</sub>	N75°W	65°N	950	60	29	0.02	0.059	0.57	0.12	12.27	Sp, Id, Cep, Py	Gs, Mc
Veta Esperanza	0	S <sub>2</sub>	N70°W	60°S	150	20	3	0.02	0.005	0.11	0.20	4.47	Sp, Py	Gs, Cep
Veta Porvenir	0	T <sub>2</sub>	N75°E	70°S	250	90	5	0.06	0.095	0.49	0.11	5.49	Sp, Id, Py	Gs, Cep
Eazo Arloro	0	T <sub>2</sub>	N75°E	80°N	150	20	2	0.19	0.052	0.47	0.20	27.10	Sp, Id, Py	Gs, Cep
Veta Arloro	0	S <sub>1</sub>	N60°W	65°N	600	115	23	0.09	0.041	0.59	0.16	10.84	Sp, Cep, Py	Stn, Id, Cr, Cr, Mc
Veta Azula	-30	S <sub>1</sub>	N55°W	65°S	450	155	24	0.18	0.058	0.56	0.27	2.01	Sp, Cep, Id, Py	Gs
Veta Jesús María	-30	S <sub>2</sub>	N30°W	90°	250	35	6	0.04	0.251	0.99	0.21	2.19	Sp, Id, Cep, Py	Gs
Veta San José	-30	S <sub>1</sub>	N50°W	70°N	500	40	10	0.03	0.113	0.48	0.29	7.71	Sp, Cep, Id, Py	Gs, Cr, Cr
Veta Ariola	-30	T <sub>2</sub>	N65°E	70°S	200	35	5	0.03	0.052	0.48	0.48	41.61	Sp, Cep, Id, Py	Gs
Eazo 6 de Agosto	-30	T <sub>2</sub>	N65°E	60°N	150	60	4	0.02	0.103	0.32	1.72	18.90	Sp, Id, Gs, Py	Cep
Veta 6 de Agosto	-30	T <sub>1</sub> =S <sub>2</sub>	N80°W	60°N	1,300	170	50	0.03	0.065	0.29	0.80	13.32	Sp, Id, Py	Cep, Gs

Sp : Esfalerita      Id : Ictezdrita      Stn : Estannina      Ce : Calcocina  
 Gs : Galena      Cep : Calcojirita      Gb : Galenobismutita      Mc : Marcasita  
 Py : Pirita      Cs : Casiterita      Str : Estromeyerita      Cr : Covellina

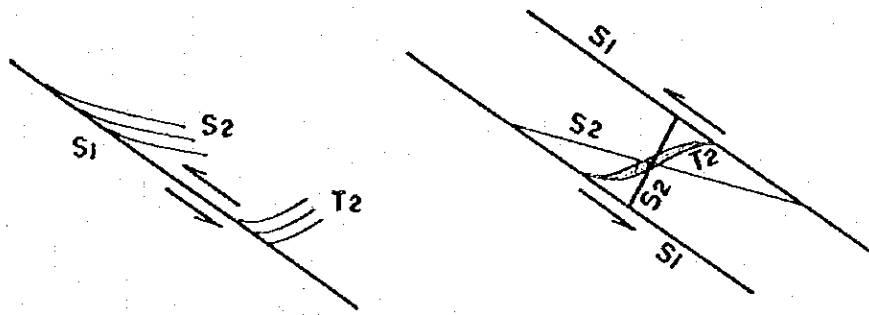
S<sub>1</sub> : Fractura prima por cisalla (Veta de los sistemas N50°E y N55°W)  
 S<sub>2</sub> : Fractura segunda por cisalla (Veta del sistema N75°W)  
 T<sub>1</sub> : Fractura prima por tensión (Veta del sistema N85°W)  
 T<sub>2</sub> : Fractura segunda por tensión (Veta del sistema N65°E)



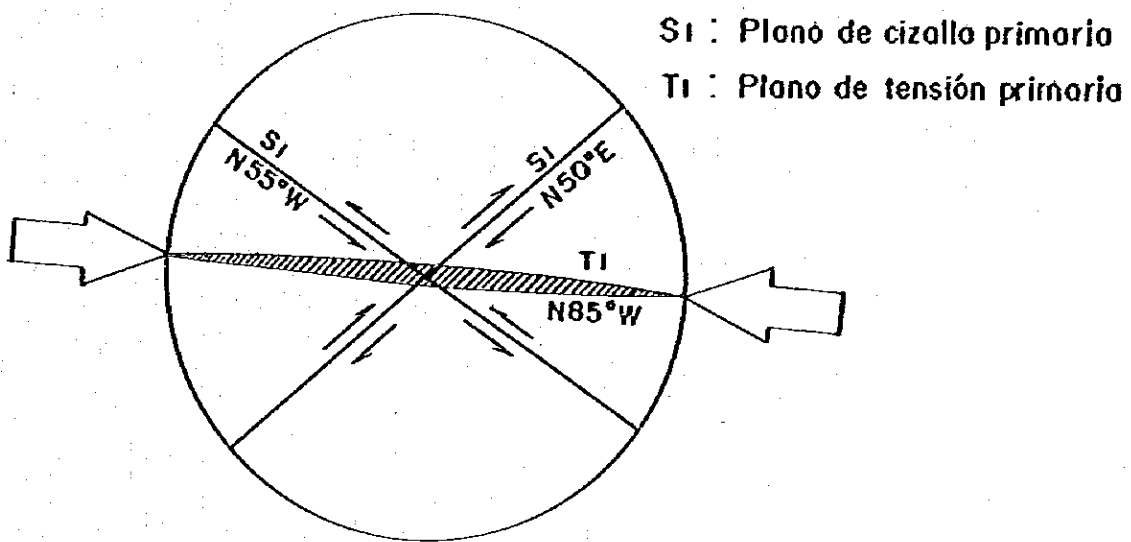
sedimentarse la formación San Vicente, que es roca madre del grupo de vetas de San Vicente, es la compresión de la dirección Este-Oeste que formó la falla inversa de San Vicente. Es decir, por la compresión lateral en la dirección Este-Oeste de los movimientos orogénicos continuos de los Andes, fueron formadas las estructuras plegadas en la dirección Norte-Sur en los sistemas Ordovícico y Cretácico; la falla inversa de San Vicente fue formada como plano de esfuerzo cortante derivado de movimiento del pliegue en el período final de los movimientos, o sea, después de la sedimentación de la formación San Vicente; y, por consecuencia, las fisuras que formaron el grupo de las vetas de San Vicente fue formada también por compresión lateral al mismo tiempo que los movimientos arriba mencionados.

② Conforme a los resultados de la observación por la investigación geológica detallada de interior mina, se han determinado los movimientos de cada fisura del grupo de las vetas de San Vicente. En caso de que, como se muestra en la figura de la esquina superior de la Fig. 5, se observan una veta y una fisura ramificada asociada con ésta, se puede identificar la dirección del movimiento desplazado a lo largo del plano de cizalla primaria. Con tal manera, se decidió la dirección de movimiento desplazado de las vetas por el modelo que linda su fisura ramificada con las vetas.

Basando en ① y ② mencionados arriba, como se demuestra en las figuras del medio y de la esquina inferior de la Fig. 5, primero se consideró la veta de la dirección Este-Oeste del sistema  $N85^{\circ}O$  como el plano de tensión primaria ( $T_1$ ); las vetas de los sistemas  $N50^{\circ}E$  y  $N55^{\circ}O$ , que cruzan la del sistema  $N85^{\circ}O$  con el ángulo de unos  $40^{\circ}$ , como el plano de cizalla primaria ( $S_1$ ). Luego, conforme al movimiento a lo largo del plano de cizalla primaria, se determinaron el plano de cizalla secundaria ( $S_2$ ) y el de tensión secundaria ( $T_2$ ), y se los hizo corresponder a las vetas de



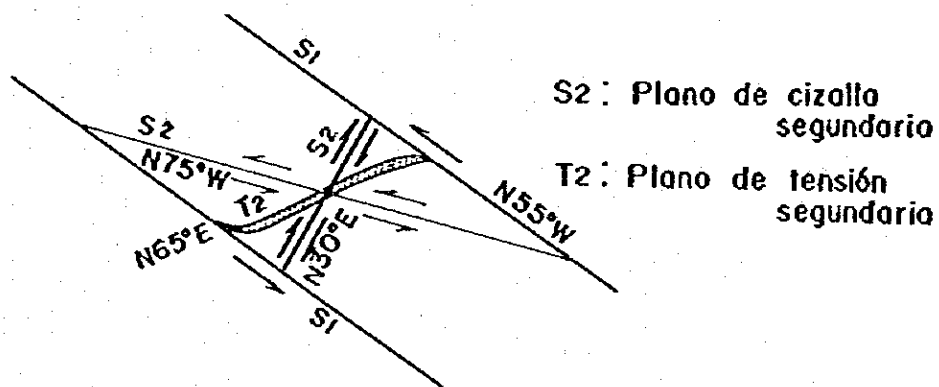
Relación entre el modelo de fisuras ramificadas y la dirección de desplazamiento lateral



S1 : Plano de cizallo primario

T1 : Plano de tensión primaria

Planos de cizallo y tensión primarias



S2 : Plano de cizallo secundario

T2 : Plano de tensión secundario

Planos de cizallo y tensión secundarias

Fig. 5 Ilustración explicativo de modelo de vetas de lo mino Son Vicente.

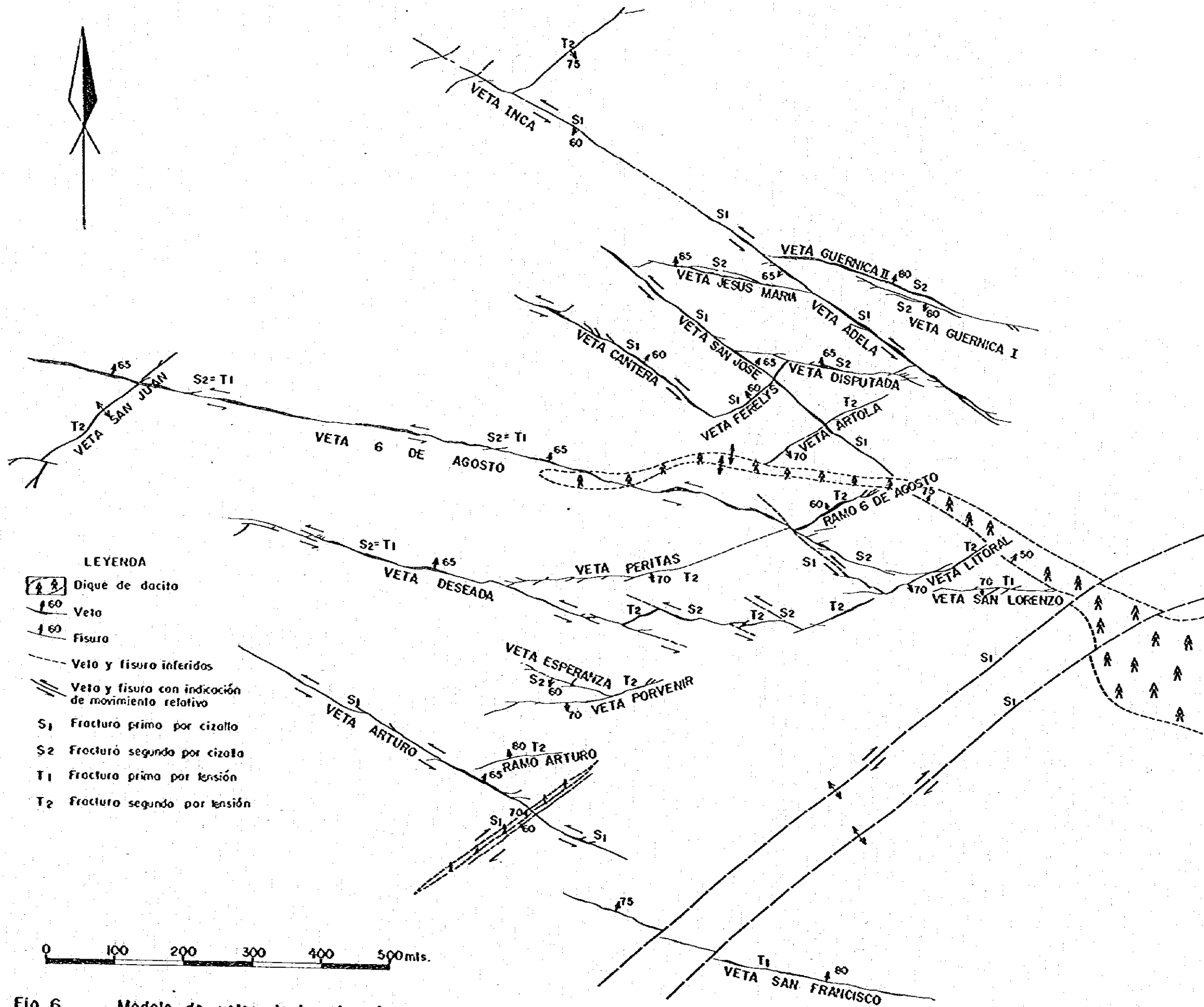


Fig. 6 Modelo de vetas de la mina San Vicente

los sistemas  $N75^{\circ}O$  y  $N65^{\circ}E$  respectivamente. Aplicando los modelos arriba mencionados al grupo de vetas de San Vicente, se muestran los caracteres y los movimientos de cada veta en la Fig. 6.

Se considera que las vetas Seis de Agosto y Deseada que pertenecen al sistema  $N85^{\circ}O$  se formaron primeramente como el plano de tensión primaria ( $T_1$ ); después, por cambiarse la dirección de la compresión lateral, llegaron a tener el carácter añadido del plano de cizalla secundaria ( $S_2$ ); y, por consecuencia, se observa el movimiento de desplazarse en las paredes subyacente e infrayacente.

En el fondo Sudeste de la galería Niv. 0 mt. de la sección San Vicente, se hallan muchas fisuras de la dirección NE-SO, y se observan intensa silicificación y alteración arcillosa. Juzgando por ello, se presume una zona alterada y fracturada (la falla San Francisco) a lo largo de la fisura de la dirección  $N55^{\circ}E$  a lo largo de la Quebrada San Francisco que se sitúa en la parte Sur de dicha galería. Se considera que esta falla San Francisco pertenece al plano de cizalla primaria ( $S_1$ ).

En el grupo de vetas de San Vicente, los minerales de ganga consisten mayormente en cuarzo y baritina, y se encuentran parcialmente minerales de carbonato. Estos, así como los minerales metálicos, presentan estructura brechada o bandeada. Referente a la formación San Vicente que es la roca madre, las paredes sube infrayacente están afectadas mayormente por silicificación y además por sericitización, cloritización, carbonatación, alteración arcillosa y piritización. En las partes extremas de vetas, las alteraciones arcillosas, tales como de sericitización, cloritización y carbonatación, afectan más fuertemente que silicificación. La anchura de la faja alterada de las paredes sub e infrayacente se limita de unos metros a diez y tantos metros.

Los principales minerales metálicos del grupo de vetas de San Vicente son pirita ( $\text{FeS}_2$ ), esfalerita ( $\text{ZnS}$ ), tetraedrita  $\{(\text{CuFeZnAg})_{12}(\text{SbS}_3)_4\text{S}_{0-1}\}$ , galena ( $\text{PbS}$ ) y calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ); y además, se observan estannina ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ ), minerales estanníferos de casiterita y minerales formados en baja temperatura de marcasita ( $\text{FeS}_2$ ), calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) y covellina ( $\text{CuS}$ ). Se observan también unos minerales que son considerados estromeyerita ( $\text{CuAgS}$ ) y galenobismutita ( $\text{PbBi}_2\text{S}_4$ ), aunque no se pueden definirlos debido a que su cristal de minerales son demasiado pequeños. Por microanalizador de rayos-X, se reconoce que cinc y plata están incluidos en tetraedrita. Por consecuencia, tetraedrita es el más importante como mineral argentífero.

El orden de formación de dichos minerales metálicos y de ganga se presume como lo siguiente:

- ① Casiterita - Cuarzo, ② Pirita quebrada - Esfalerita,
- ③ Pirita, ④ Esfalerita, ⑤ Esfalerita - Estannina - Tetraedrita - Estromeyerita - Calcopirita - Galenobismutita - Galena, ⑥ Pirita - Baritina, ⑦ Marcasita - Calcosina - Covellina.

Es decir, se presume que la cristalización de pirita duró más que los otros, y esfalerita es el que siguió. Estannina, tetraedrita, estromeyerita, galenobismutita, calcopirita y galena se cristalizaron casi al mismo tiempo en un término comparativamente breve.

Como lo arriba mencionado, en el grupo de vetas de San Vicente, entre los minerales metálicos, coexisten tetraedrita y marcasita, que se consideran de sedimentación de la etapa de hidrotermal de temperatura comparativamente baja, con casiterita considerada como sedimentación de la temperatura comparativamente alta. Además, se observan la alteración por solución hidrotermal de alta temperatura como sericitización, y minerales de ganga

por solución hidrotermal de baja temperatura tales como baritinas. Juzgando por ello, las vetas que pertenecen al grupo de vetas de San Vicente se formaron cerca de la superficie y son del tipo epitermal de alta temperatura que contiene minerales de facies de temperaturas alta y baja, es decir, pertenecen a los yacimientos llamados xenotermales.

Se efectuó análisis químico de los cinco elementos de Sn, Ag, Cu, Pb, Zn sobre 368 muestras obtenidas por cada unos 40 mts. de distancia a lo largo de vetas en la investigación geológica detallada de interior mina. Se examinaron las correlaciones por cada juego de los elementos sobre los resultados de análisis químico de estos cinco elementos, cuyos resultados presentaron correlaciones íntimas con la significancia del nivel de 1 % sobre plata y cobre, y con la del nivel de 5 % sobre estaño y cobre. No se observan las correlaciones en combinaciones de otros elementos. Interpretando los resultados de examinación por los resultados de observación de minerales metálicos, se ha considerado que la correlación de plata y cobre se debe al hecho de que tetraedrita  $\{(CuFeZnAg)_{12}(SbS_3)_4S_{0-1}\}$  ocupa mayor parte de minerales argentíferos y coexiste estrechamente con calcopirita; y en cambio la correlación de estaño y cobre, aunque no es clara, se debe a que estannina  $(Cu_2FeSnS_4)$  tiene la gran proporción de cantidad en minerales estanníferos y coexiste estrechamente con calcopirita y tetraedrita.

Por otra parte, fijándose en el hecho de que cinc muestra distintos movimientos de plata, plomo, cobre y estaño debido a que la cristalización de esfalerita dura más que estannina, tetraedrita, estromeyerita, galenobismutita y galena, se plotearon los resultados de análisis de 368 muestras de vetas en el diagrama triangular de plata-plomo-cinc como se muestra en la Fig. 7. Se dividieron la zona de alto contenido de plata-

plomo y la de cinc basándose en la línea que señala el contraste de plata-plomo contra cinc 60:40. Y luego se dibujaron los mapas de zonamiento de Figs. 8 y 9, ploteando dichas zonas a los planos del grupo de vetas de San Vicente (Nivs. 0 mt. y -30 mts.),

Conforme a dichos mapas, se presume lo siguiente:

(1) La zona de alto contenido de cinc presenta una forma elíptica cuyo centro queda en las cercanías de donde se cruzan el recorte del nivel 0 mt. y las vetas Seis de Agosto y Deseada. El extremo del dique San Vicente también se halla en el centro de esta zona.

El margen oriental de esta zona de alto contenido de cinc está adyacente a la zona alterada y fracturada de la falla San Vicente, lo cual señala una posibilidad de que la solución se difunda rodeando dicha zona alterada y fracturada.

(2) El domo de la zona de alto contenido de cinc presenta casi la misma tendencia aun en el nivel -30 mts., pero su contacto con la zona de alto contenido de plata-plomo señala una tendencia de extenderse hacia fuera con inclinación precipitosa. Por lo tanto, se puede suponer que el grupo de vetas de alto contenido de plata-plomo se transformara gradualmente en la zona de alto contenido de cinc en la parte inferior.

El grupo de vetas de Tajos, que se sitúa al Norte del grupo de vetas de San Vicente, tiene faja alterada principalmente por silicificación con la anchura de unos metros a 10 mts. Las vetas, cuya anchura varía entre 20 cms. y 70 cms., son principalmente de pequeña escala. En los afloramientos no se observan minerales metálicos, sino sólo cuarzo, baritina y siderita, y generalmente se encuentran pocas minerales metálicos. Por lo tanto, se presume que es el borde de la mineralización de vetas de San Vicente.

Referente al grupo de vetas de San Francisco que se difunde al Sur

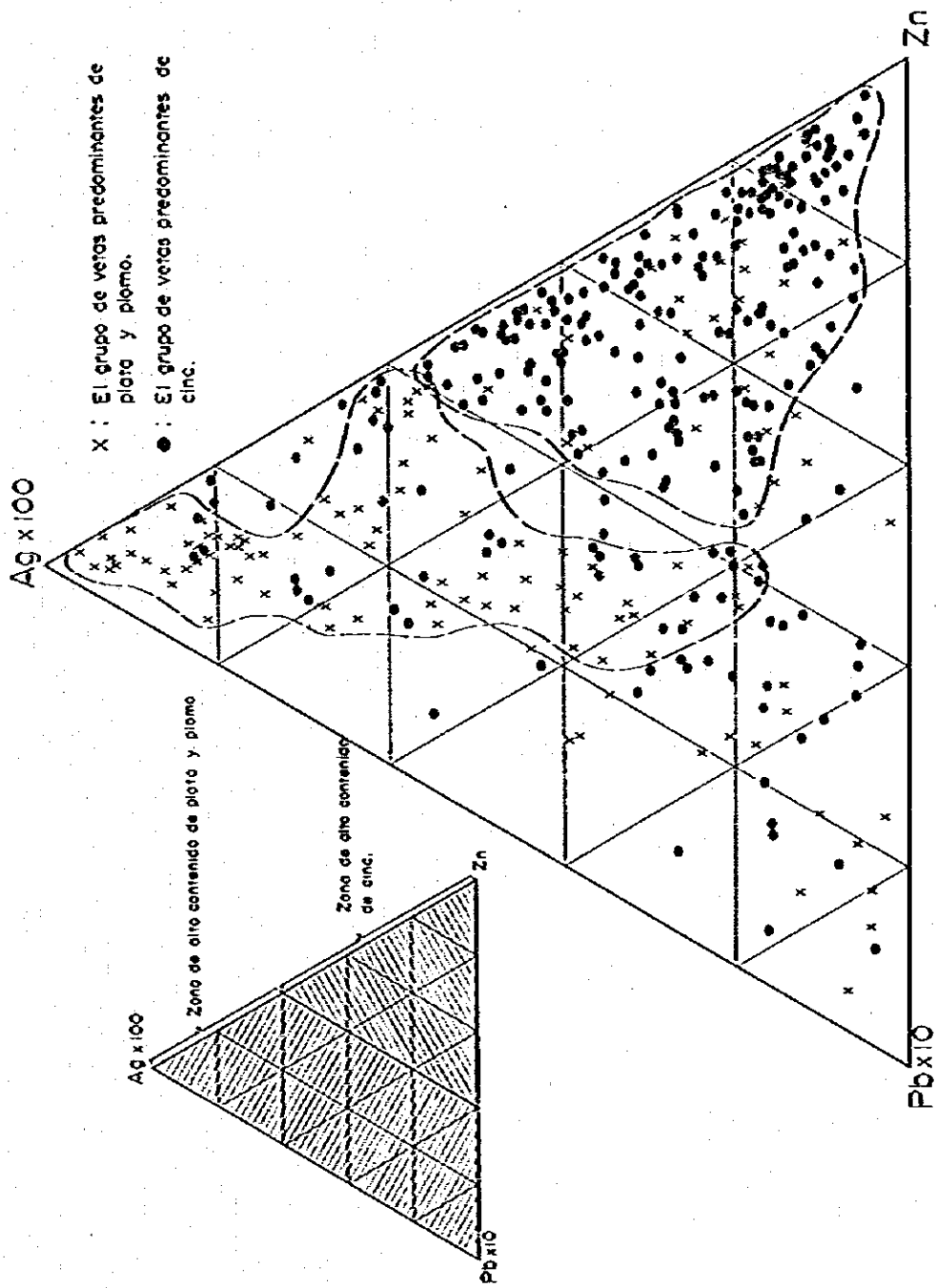


Fig. 7 Diagrama triangular de plata, plomo y cinc de todas las muestras obtenidas en interior mina de San Vicente.



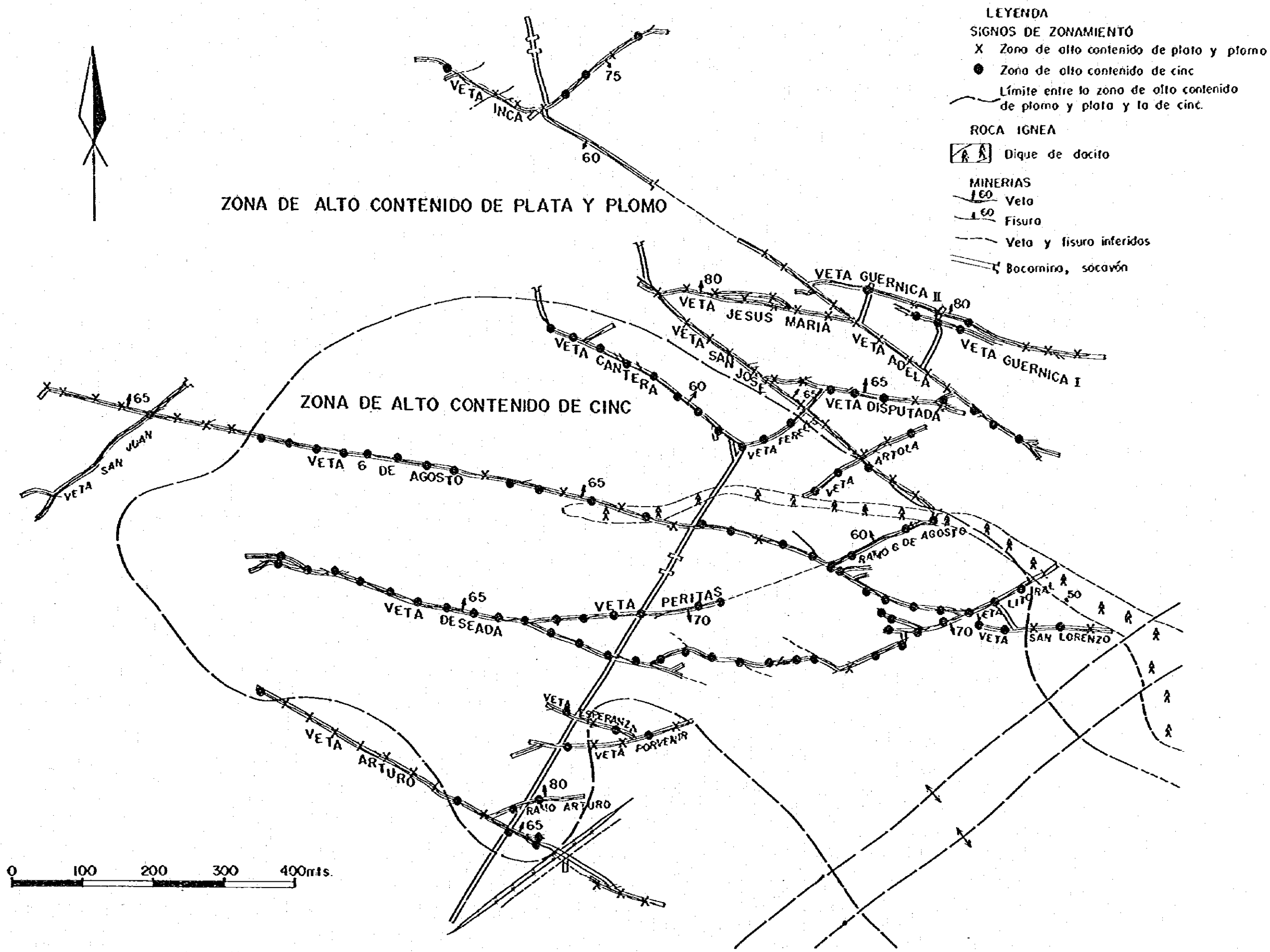


Fig. 8 Zonamiento de plata, plomo y cinc de la mina San Vicente, Niv. Oml.

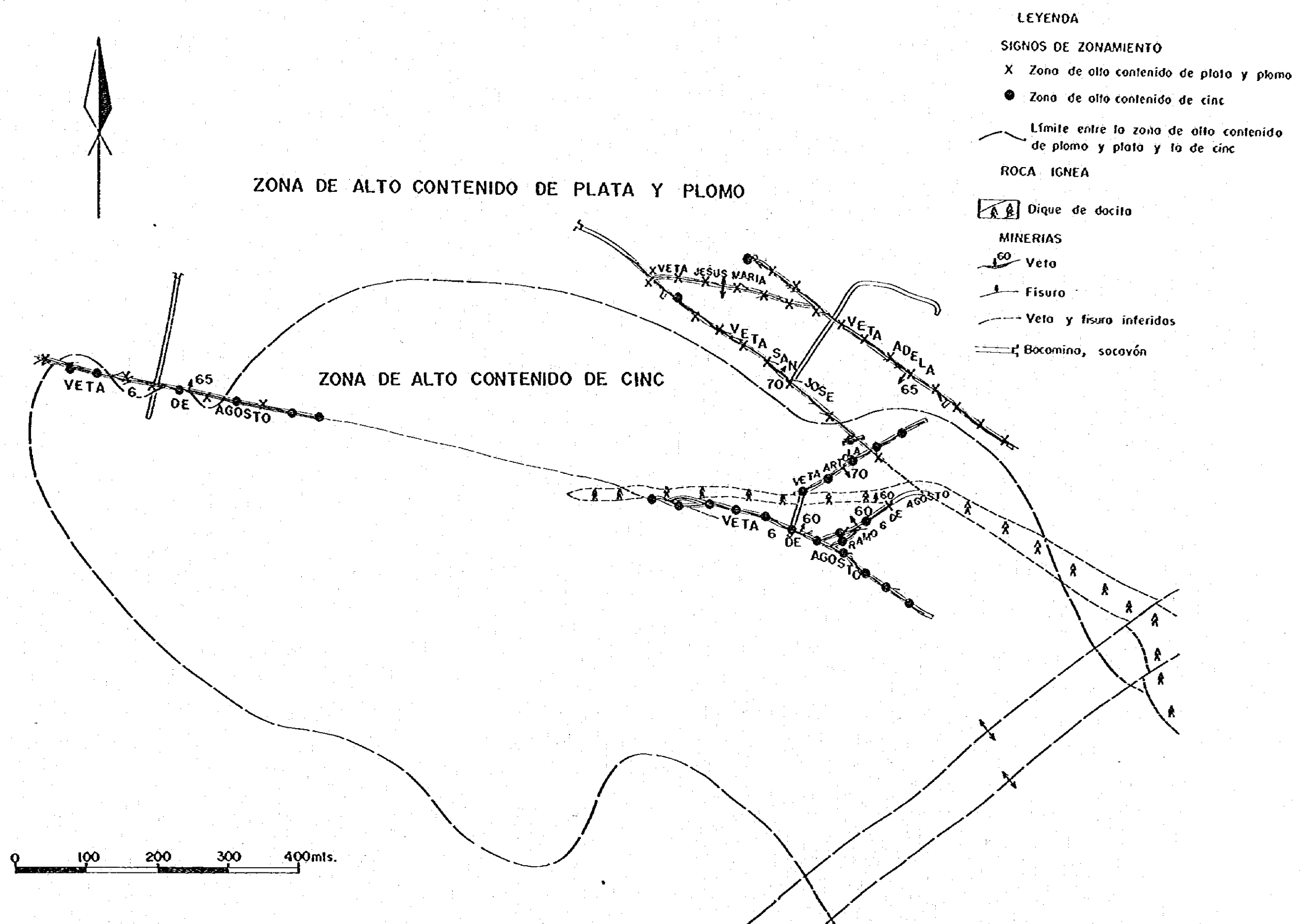


Fig. 9 Zonamiento de plata, plomo y cinc de la mina San Vicenté, Niv. -30mts.

de San Vicente, casi no hay vetas que contengan minerales metálicos excepto las de los alrededores de la sección San Vicente incluyendo la veta San Francisco, por lo que estas vetas podrían llamarse vetas silicificadas y arcillosas, afectadas por silicificación y alteración arcillosa. Hay unas vetas que contienen minerales de ganga tales como baritina y minerales metálicos, cuyos afloramientos indican claramente que están mineralizados, pero en general, la mineralización es débil. Por lo tanto, se presume que el presente grupo de vetas se sitúa en el borde de la mineralización cuyo centro es el grupo de vetas de San Vicente, exceptuando las vetas de los alrededores de la sección San Vicente.

La veta San Francisco tiene 30 cms. ~ 150 cms. de ancho y 300 mts. de longitud horizontal en los alrededores de dicha sección, además con mucha explotación en el pasado. Como minerales metálicos, se observan esfalerita, tetraedrita y galena; como minerales de ganga, cuarzo y baritina. Referente a las leyes de afloramiento, la de plata es comparativamente alta. Por lo tanto, se presume que esta veta pertenece a la zona de alto contenido de plata-plomo.

#### 3-4-2. Grupo de yacimientos de Monserrat

El grupo de yacimientos de Monserrat se divide en dos grupos de vetas; el grupo de vetas de Monserrat que se difunde alrededor del Cerro Monserrat y el de Coronación que se difunde alrededor del Cerro Coronación. Las vetas de ambos grupos son de fisuras rellenadas, cuyas rocas madres son la formación San Vicente.

Las vetas principales del grupo de yacimientos de Monserrat se distribuyen en el Cerro Monserrat en el siguiente orden desde el Norte: las vetas P, M, San Martín, A, Salvadora y Soniselma. Entre éstas, sólo en la veta Salvadora se desarrollan recortes en el Niv. 0 mt. Estas vetas

tienen en general rumbos y buzamientos muy variados comparando con las del grupo de yacimientos de San Vicente, y se continúan cortadas en forma de rosario, con una tendencia de ser vetas de red. Es decir, las vetas P, San Martín, A y Soniselma son del sistema Este-Oeste; la veta M se compone de vetas continuas en forma de rosario de los sistemas N60°O y Este-Oeste; la veta Salvadora se compone de vetas continuas en forma de rosario de los sistemas N60°E, N60°O y Este-Oeste. Así como en el caso del grupo de vetas de San Vicente, suponiendo la compresión lateral de la dirección Este-Oeste, se presume que las vetas del sistema Este-Oeste se formaron a lo largo del plano de tensión; las vetas de los sistemas N60°E y N60°O, a lo largo del plano de cizalla.

A diferencia del grupo de yacimientos de San Vicente, en el de Monserrat los minerales de ganga se componen de arcilla principalmente de cuarzo y sericita, y no se observa baritina. En la formación de San Vicente de la roca madre se observa la alteración en una extensión amplia que contiene el grupo de yacimientos de Monserrat y llega hasta la falla San Vicente en la dirección Este. La roca madre está blanqueada notablemente por sericitización, silicificación y piritización.

La veta Salvadora está desarrollada hasta unos 90 mts. por corrida del nivel 0 mt. El promedio de la anchura es 30 cms., y las leyes de promedio son estaño 0.10 %, plata 0.065 %, cobre 0.06 %, plomo 1.18 % y cinc 8.08 %. Referente a los minerales metálicos, se observan esfalerita, galena, tetraédrita y casiterita. Se presume que el principal mineral argentífero es tetraédrita.

Por el taladro No.52-1 perforado hacia la parte inferior de la veta Salvadora, se encuentra una veta de alta ley de estaño que tiene parte mineralizada de 65 cms. de largo (posiblemente que ésta corresponde, en el

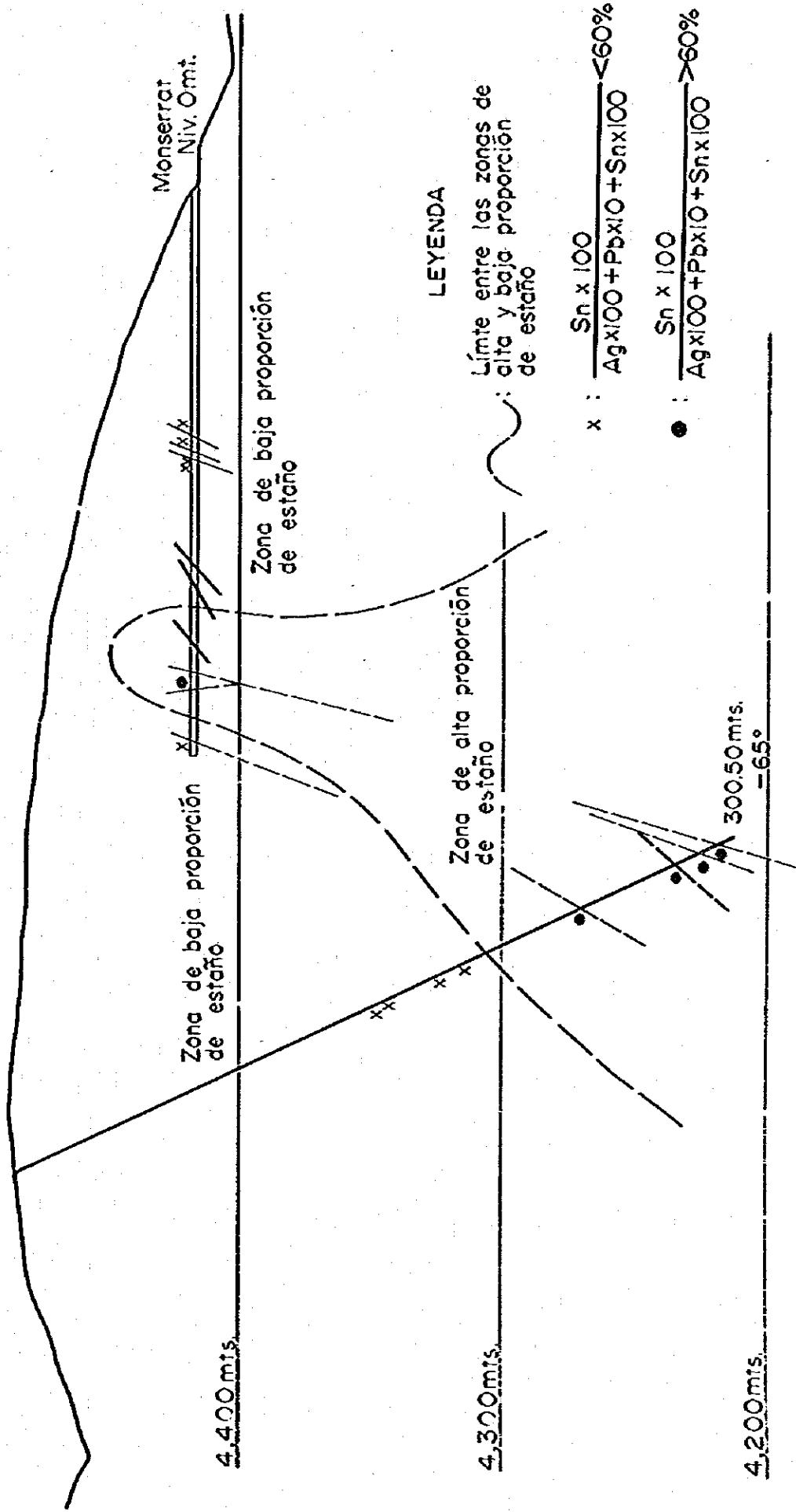
recorte, a la veta infrayacente de Salvadora que existe a unos 20 cms. inferior a la veta Salvadora). Sus leyes de promedio son estaño 1.61 %, plata 0.011 %, cobre 1.51 %, plomo 0.65 % y cinc 0.80 %, lo cual indica que la de cobre es alta y las de plata, plomo y cinc son bajas comparando con las de la corrida del nivel 0 mt. Los principales minerales metálicos de dicha veta son piritita, calcopiritita, estannina ( $Cu_2FeSnS_4$ ) y esfalerita. Y también se observan casiterita ( $SnO_2$ ), galena, tetraedrita, pirargirita ( $Ag_3SbS_3$ ), bournonita, y los minerales no identificados de plata-plomo-bismuto-antimonio-azufre. El orden de cristalización de dichos minerales metálicos y minerales de ganga se presume como lo siguiente:

① Cuarzo-Casiterita-Piritita, ② Esfalerita-Piritita, ③ Esfalerita-Piritita-Calcopiritita-Estannina-Galena-Tetraedrita-Pirargirita-Bournonita-mineral de plata-plomo-bismuto-antimonio-azufre.

Referente a los resultados de análisis de 26 muestras obtenidas en las galerías del nivel 0 mt. y en el taladro No.52-1, se hizo el diagrama triangular de plomo, plata y estaño, y se clasificaron la zona de alto contenido de plata-plomo y la de estaño, por la línea en la que el contraste de Pb-Ag:Sn señala 40:60. Luego, se dibujó el mapa de zonamiento de dichas zonas ploteando el resultado del diagrama triangular al plano de sección de la Fig. 10. Como se ve en este plano de sección, en la parte de muy poca profundidad se observa zona de alto contenido de plata-plomo, pero se considera que en la parte profunda se cambia gradualmente en zona de alto contenido de estaño.

En cuanto a los minerales metálicos, coexisten casiterita de facies de alta temperatura, y polisulfuros tales como de tetraedrita y pirargirita de facies de baja temperatura. Juzgando por lo arriba mencionado, se considera que el grupo de vetas de Monserrat, así como el de San Vicente,

No. 52-1



LEYENDA

Límite entre las zonas de alta y baja proporción de estaño

x :  $\frac{Sn \times 100}{Ag \times 100 + Pb \times 10 + Sn \times 100} < 60\%$

• :  $\frac{Sn \times 100}{Ag \times 100 + Pb \times 10 + Sn \times 100} > 60\%$

Fig. 10 Perfil demostrativo de zonamiento de plata, plomo y estaño de los yacimientos de Monserrat

pertenece a los yacimientos xenotermales de tipo de alta temperatura en poca profundidad.

El grupo de vetas del Cerro Coronación situado al Sur del de Monserrat se halla en el medio entre el de Monserrat y el de San Vicente. Las vetas principales son tres, pero de escala pequeña con la anchura de 3 a 5 cms. Como minerales metálicos, se observan, aparte de minerales de cobre óxido, esfalerita y galena, pero sus leyes no son altas. Como minerales de ganga, se observa baritina. Se presume que este grupo de vetas están en el margen del grupo de yacimientos de San Vicente.

### 3-4-3. Grupo de yacimientos de Tatasi

Las vetas principales del grupo de yacimientos de Tatasi son las siguientes: en la parte Este, las vetas San Francisco, Alcira, Jampatituyoc, Angeles, Santo Domingo y el ramo Santo Domingo, que están trabajando actualmente; en la parte Oeste, las vetas San Gregorio y Arce; en la parte central, las vetas Tusti y Chicharrona, en las que es casi imposible entrar en interior mina, porque se trabajaba desde la época colonial española en el pasado. Estas vetas son las de fisuras rellenadas cuyas rocas madres son el miembro de tobas brechas del Río Tatasi o el domo de lavas del Cerro Chicharrona Punta o las lavas de Chicharrona. Se muestran en la Tabla 5 (Vetas y minerales y sus leyes por cada veta de la mina Tatasi) el rumbo, el buzamiento, la longitud horizontal, el ancho medio, la ley media y los minerales metálicos de las vetas principales.

Se efectuó la investigación geológica detallada de interior mina sobre las secciones que están trabajando actualmente, tales como las de Guadalupe (galerías Nivs. 0 mt., -70 mts. y -110 mts.), Alcira (Nivs. -70 mts. y -140 mts.), San Francisco (Nivs. 0 mt. y +35 mts.), San Gregorio (Nivs. 0 mt. y -30 mts.) y Arce. A base de los resultados de esta

**Tabla 5 Vetas, minerales y sus leyes por cada veta de la mina Tatasi**

Nombre de veta	Nivel de Cuadalupe m.	Clasificación	Rumbo	Inclinamiento	Longitud mts.	Ancho medio cms.	Número de muestras	Ley					Mineral principal	Mineral accesorio
								Sn(%)	Pb(%)	Zn(%)	Sb(%)	Ag(%)		
Veta Jazpatituyoc	0	T <sub>1</sub>	N85°E	80°V	500	25	8	0.17	0.138	3.40	3.47	0.50	Gn, Sp	Py, Cep, Id
Veta Angeles	0	T <sub>1</sub>	N85°E	65°S	600	35	11	1.38	0.153	6.54	3.41	0.21	Gn, Sp, Stn	Py, Cep, Bo, Pu, Asp
Veta Santo Domingo	0	S <sub>2</sub>	N70°E	80°S	600	25	15	0.21	0.143	9.07	10.03	0.13	Sp, Gn, Py	Cep, Jz, Asp
		T <sub>2</sub>	N70°V	80°S										
Razo Santo Domingo	0	S <sub>1</sub>	N45°E	70°S	400	25	18	0.06	0.181	28.90	7.21	0.26	Gn, Sp, Py	Cep, Id, Arg Fr, Po, El
		S <sub>2</sub>	N70°E	85°S										
Veta Angeles	-70	T <sub>1</sub>	N85°E	65°S	400	25	8	1.62	0.680	50.49	7.26	1.73	Gn, Sp, Stn, Py	Cep, Bo, Pu, Asp
Veta Santo Domingo	-70	S <sub>2</sub>	N70°E	80°S	540	20	12	0.10	0.119	19.04	13.35	0.55	Sp, Gn, Py	Cep, Fr, Jz, Po
		T <sub>2</sub>	N70°V	80°S										
Razo Santo Domingo	-70	S <sub>2</sub>	N70°E	85°S	200	15	5	0.02	0.207	31.68	7.19	0.20	Gn, Sp, Py	Cep, Id, Fr, Po
Veta Angeles	-110	T <sub>1</sub>	N85°E	65°S	300	60	3	0.78	0.353	6.54	2.54	0.89	Gn, Sp, Stn, Py	Cep, Bo, Ca, Bl?
Veta Santo Domingo	-110	S <sub>2</sub>	N70°E	80°S	400	10	8	0.40	0.172	18.97	25.54	0.61	Sp, Gn, Py	Cep, Fr, Jz, Po
		T <sub>2</sub>	N70°V	80°S										
Razo Santo Domingo	-110	S <sub>2</sub>	N70°E	85°S	60	40	1	0.10	0.138	17.64	30.91	0.53	Sp, Gn, Py	Cep, Fr, Jz, Po, Mc
Veta Alcira	0	T <sub>1</sub>	EV	80°S	240	10	4	0.08	0.310	33.84	9.82	0.34	Gn, Sp, Py	Cep, Id, Fr
Veta Alcira	-70	T <sub>1</sub>	EV	80°S	200	20	6	0.15	0.870	48.05	4.28	0.45	Gn, Sp, Py	Cep, Id, Fr
Veta San Francisco	110	T <sub>2</sub>	N80°V	70°S	260	40	10	0.01	0.014	1.53	15.99	0.20	Sp, Py	Gn, Mc
Veta San Francisco	80	T <sub>2</sub>	N80°V	70°S	40	50	1	-	0.042	2.10	20.05	0.29	Sp, Py	Gn, Mc
Veta San Gregorio	140	S <sub>1</sub>	N60°-70°V	90°	800	45	19	0.04	0.041	3.27	7.78	0.05	Sp, Py	Gn, Cep, Id, Mc
Veta San Gregorio	110	S <sub>1</sub>	N60°-70°V	90°	700	80	8	0.03	0.059	8.75	15.15	0.10	Sp, Py	Gn, Cep, Id, Mc
Veta Arce	140	S <sub>1</sub>	N55°E	80°S	140	20	6	2.55	0.083	0.06	1.50	1.93	Sp, Py, Cs, Stn	Gn
		T <sub>1</sub>	N85°E	80°S										

Sp : Esfalerita  
Gn : Galena  
Py : Pirita  
Id : Tetraedrita  
Cep : Calcopirita

Cs : Casiterita  
Stn : Estasnita  
Mc : Marcasita  
Bo : Bourtonita  
Pu : Proustita

Asp : Arsenopirita  
Jz : Janzonita  
Arg : Argentita  
Fr : Firargirita  
Po : Politasita

El : Electrum  
Bl : Boulangerita

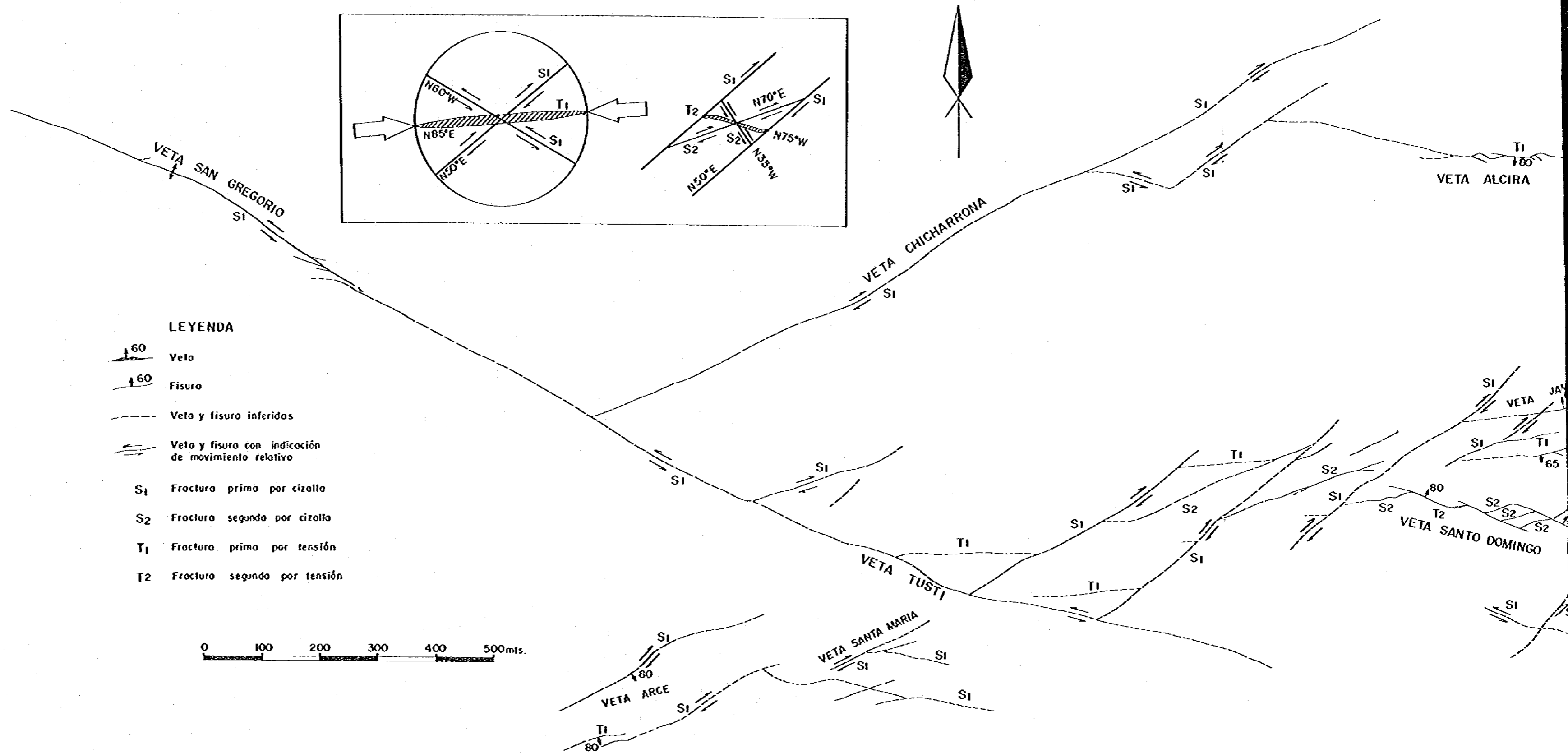
- S<sub>1</sub> : Fractura prima por cizalla (Veta de los sistemas N50°E y N60°V)  
S<sub>2</sub> : Fractura segunda por cizalla (Veta de los sistemas N70°E y N35°V)  
T<sub>1</sub> : Fractura prima por tensión (Veta del sistema N85°E)  
T<sub>2</sub> : Fractura segunda por tensión (Veta del sistema N75°V)



investigación y el plano geológico de interior mina, se interpreta el sistema de fisuras del grupo de yacimientos de Tatasi.

Juzgando por el hecho de que las direcciones de estructura de pliegues de los sistemas Cretácico y Ordovícico son aproximadamente de Norte-Sur, en toda el área de Tatasi, al igual que la de San Vicente, se considera que actuó una compresión lateral en la dirección Este-Oeste; en primer lugar, en este tiempo se formaron los modelos de sistemas de fisuras en rocas de base; luego derramaron y se sedimentaron las rocas volcánicas y piroclásticas del área Tatasi a lo largo de las líneas tectónicamente débiles; y finalmente los tres domos de lavas de Santa Mica, del Cerro Chicharrona Punta y del Cerro Tabla Cruz se formaron por efusión e intrusión a lo largo de la línea tectónicamente débil de la dirección NO-SE. Según se presume, llegó dicha compresión lateral de la dirección Este-Oeste hasta las rocas volcánicas y piroclásticas del área Tatasi situadas encima de la roca de base, y después de haber formado los sistemas de fisuras, fueron formados los yacimientos de Tatasi por las mineralizaciones posteriores a la actividad volcánica. Y aparte de lo arriba dicho, utilizando los resultados de la investigación geológica detallada de interior mina, basando en los modelos de fisuras, así como en el caso del grupo de vetas de San Vicente, se decidieron las direcciones de dislocación y de movimiento de las vetas.

Conforme a dichas observaciones, como se enseña en la parte izquierda superior de la Fig. 11, primero se suponen la compresión de la dirección Este-Oeste, y luego se consideran las vetas del sistema  $N85^{\circ}E$ , que son de la misma dirección que ésta, como el plano de tensión primaria ( $T_1$ ). Y las vetas de los sistemas  $N50^{\circ}E$  y  $N60^{\circ}O$ , que cruzan con dicho plano con el ángulo de unos 35 grados, se fijan como el plano de cizalla primaria



**LEYENDA**

- Veto
- Fisuro
- Veto y fisuro inferidos
- Veto y fisuro con indicación de movimiento relativo
- S<sub>1</sub>** Fractura primo por cizallo
- S<sub>2</sub>** Fractura segunda por cizallo
- T<sub>1</sub>** Fractura primo por tensión
- T<sub>2</sub>** Fractura segunda por tensión

0 100 200 300 400 500ms.

Fig. II Modelo de vetas de la mina Talasi

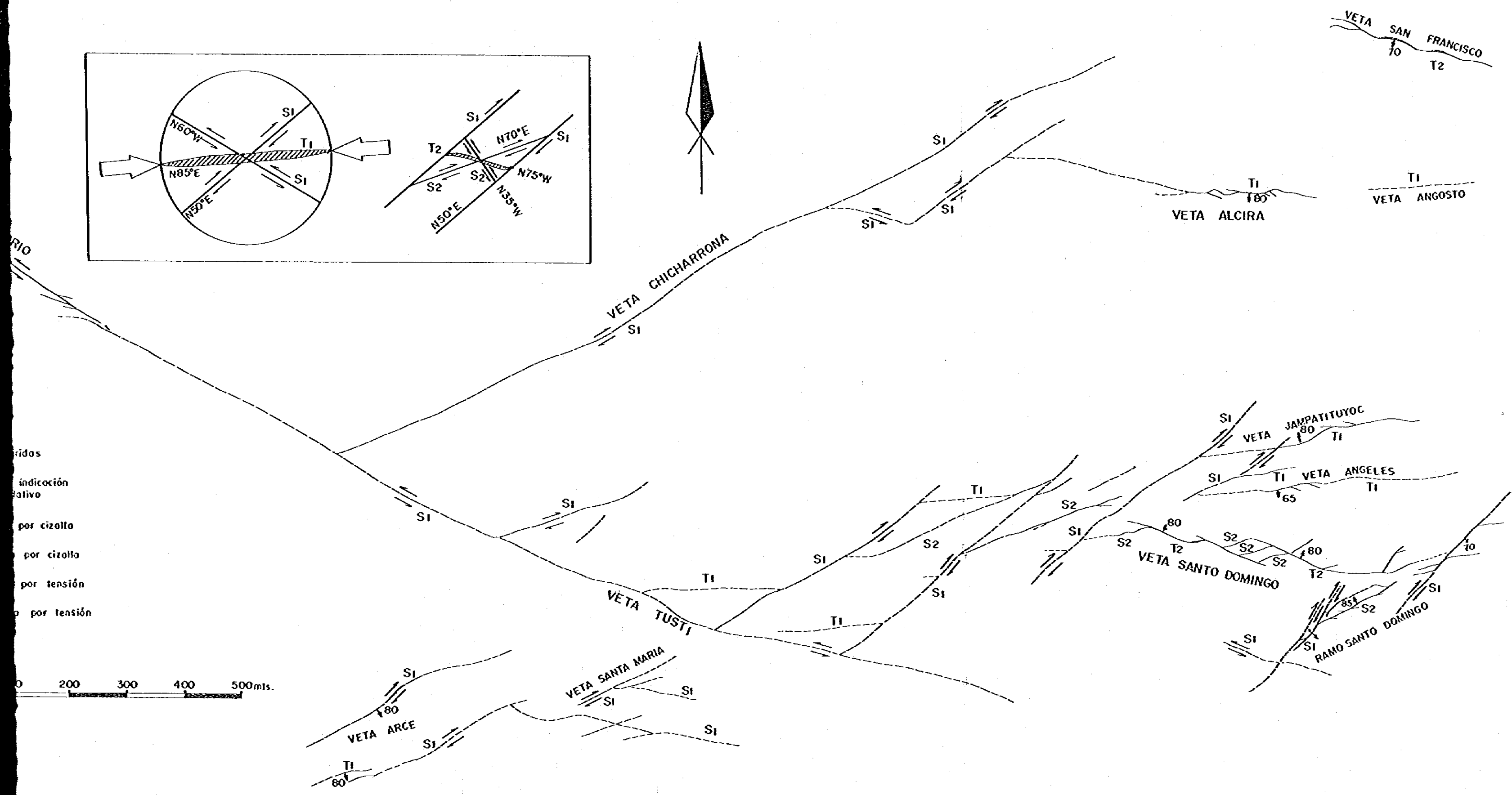


Fig. II Modelo de vetas de la mina Tatasi

(S<sub>1</sub>). En segundo lugar, se determinan el plano de cizalla secundaria (S<sub>2</sub>) y el de tensión secundaria (T<sub>2</sub>) conforme al movimiento del plano de cizalla primaria, y hacen corresponder las vetas del sistema N70°E y el sistema N75°O a estos dos planos respectivamente. Se indican en la Fig. 11, aplicando los modelos de fisuras mencionados arriba al grupo de yacimientos de Tatasi, el carácter y el movimiento de cada veta.

Como lo expuesto anteriormente, la veta Alcira, la veta San Francisco, la veta San Gregorio y la veta Arce, cuyas rocas madres son lavas del Cerro Chicharrona Punta o domo de lavas de Chicharrona, fueron formadas a lo largo del plano de cizalla primaria y del plano de tensión primaria, y en general tienen poca variedad del rumbo. La veta Jampatituyoc, la veta Angeles, la veta Santo Domingo y el ramo Santo Domingo, que se encajonan cerca del límite entre el miembro de tobas brechas del Río Tatasi y lavas del Cerro Chicharrona Punta, se formaron a lo largo de las fisuras de cizalla secundaria y tensión secundaria derivadas del movimiento de desplazamiento a lo largo del plano de cizalla primaria. Generalmente se observa la tendencia de que los rumbos varían y las vetas continúan en forma de rosario y escalón, pero la densidad de las vetas es muy alta. Así, el modelo de formación de fisura es distinto según la diferencia de propiedad física de su roca madre.

En el grupo de yacimientos de Tatasi, los minerales de ganga consisten mayormente en cuarzo y se acompañan siderita, sericita y otros minerales de arcilla, pero no se encuentra baritina. Además, los minerales de ganga forman estructuras brechosa y bandeada con minerales metálicos, y entre éstas se observan drusas. La formación de estas vetas afectó alteraciones hidrotermales notables, tales como silicificación, sericitización, cloritización, carbonatación y alteración arcillosa, a la roca madre con

anchura de unos metros a unos 20 mts. Se encuentran en muchos puntos de roca madre alteraciones hidrotermales derivadas de la actividad volcánica sin tener relación con la mineralización, pero no es claro su contacto.

Referente a los minerales metálicos, se observan principalmente pirita, esfalerita, galena, estannina ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ ) y se acompañan calcopirita, arsenopirita, marcasita, casiterita ( $\text{SnO}_2$ ), jamesonita ( $\text{PbFeSb}_6\text{S}_{14}$ ), bournonita ( $\text{PbCuSbS}_3$ ), tetraedrita  $\{(\text{CuFeZnAg})_{12}(\text{SbS}_3)_4\text{S}_{0-7}\}$ , polibasita  $\{(\text{AgCu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}\}$ , pirargirita ( $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ ), proustita ( $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$ ), argentita ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) y electrum. Y además de éstos, se observó un mineral como boulangierita ( $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ ). Entre estos minerales metálicos, casiterita, pirita, esfalerita y cuarzo se cristalizaron estrechamente en la etapa primitiva; después, esfalerita, calcopirita, pirita, galena, estannina, jamesonita, bournonita, tetraedrita, polibasita, pirargirita, proustita, argentita, electrum y arsenopirita se cristalizaron una tras otra en la misma etapa; y, en la última etapa, pirita, marcasita y minerales de carbonato se cristalizaron.

Como se ha mencionado arriba, los minerales de plata del grupo de yacimientos de Tatasi, comparando con los del grupo de San Vicente, consisten en muchas clases de minerales; se observan los polisulfuros de pirargirita, proustita, polibasita y tetraedrita, y además argentita, galena argentífera y electrum. Entre los minerales de estaño, se encuentran estannina y casiterita, en los que estaño presenta alta ley parcialmente. De tal modo, casiterita de facies de alta temperatura y polisulfuros de antimonio de facies de baja temperatura señalan paragénesis, por lo que se puede considerar que el grupo de yacimientos de Tatasi pertenece a los yacimientos xenotermiales del tipo de alta temperatura de poca profundidad, al igual que el grupo de yacimientos de San Vicente y el de Monserrat.

Sin embargo, en el grupo de yacimientos de San Vicente, la ley de cinc es comparativamente alta; en el de Monserrat, la ley de estaño es alta; en el de Tatasi, las leyes de plata y plomo son altas; de manera que cada grupo presenta paragénesis diferente de los minerales metálicos.

Se efectuó el análisis químico de los cinco elementos de estaño, plata, plomo, cinc y antimonio, sobre 143 muestras obtenidas en la investigación geológica detallada de interior mina. Se examinó la relación mutua de juegos de cada dos elementos sobre los resultados de dicho análisis. Como consecuencia, se ha puesto claro que la correlación entre dos elementos de plata y plomo es estrechamente relacionada por el nivel de 1 %; la correlación entre plata y antimonio es estrechamente relacionada por el nivel de 1 % igualmente. No se encuentra la relación en las otras combinaciones de elementos. Al interpretar los resultados de esta observación por los de minerales metálicos ya expuestos, la correlación de plata y plomo se debe a que galena tiene el paragénesis estrecho con minerales argentíferos de pirargirita, proustita, polibasita, tetraedrita, argentita y electrum; y también porque galena misma contiene plata. Por otra parte, se puede presumir que la relación de plata y antimonio se debe a que los minerales principales argentíferos consisten en pirargirita, polibasita, tetraedrita; y porque jamesonita, bournonita y un mineral como boulangerita que contienen antimonio también tienen el paragénesis estrecho con los principales.

Por otra parte, fijándose en el hecho de que cinc muestra distintos movimientos de estaño, plata, plomo y antimonio, debido a que la cristalización de esfalerita dura más que otros minerales de estaño, plata, plomo y antimonio. Se plotean los resultados de análisis de 143 muestras de vetas en el diagrama triangular de plata-plomo-cinc como se muestra en la Fig. 12.

Se dividieron dichos resultados de análisis en la zona de alto contenido de plata-plomo y la de cinc, basándose en la línea que señala el contraste de plata-plomo contra cinc de 60:40. Y luego se dibujaron los mapas de zonamiento de las Figs. 13, 14 y 15, ploteando dichas zonas a los planos del grupo de vetas de la zona Este de Tatasi (la sección Guadalupe, galerías Nívs. 0 mt., -70 mts. y -110 mts.).

Conforme a dichos mapas, se presume lo siguiente:

(1) La zona de alto contenido de cinc existe en las cercanías de la veta San Francisco del lado Norte y al Sur de la veta Santo Domingo del lado Sur. Y cada veta se sitúa en el cuerpo de rocas del Cerro Chicharrona Punta que está al lado Norte y pertenece al domo de lavas del Cerro Chicharrona Punta o en el cuerpo de rocas de Santo Tullu que está al lado Sur o en las cercanías de éste. Por lo tanto, la zona de alto contenido de plata-plomo se sitúa en medio de ambos cuerpos de rocas.

(2) El límite entre la zona de alto contenido de cinc y la de plata-plomo es casi vertical en las cercanías de la sección Guadalupe. Pero respecto a la ley media por cada nivel de cada veta, en la veta Santo Domingo y el ramo Santo Domingo señalan que en la galería del nivel -70 mts. la ley de plomo es un poco más alta que la de cinc, pero en la galería del nivel -110 mts. la ley de cinc es bastante más alta que la de plomo, y señala que la ley de cinc se aumenta hacia la parte inferior (Véase Tabla 5).

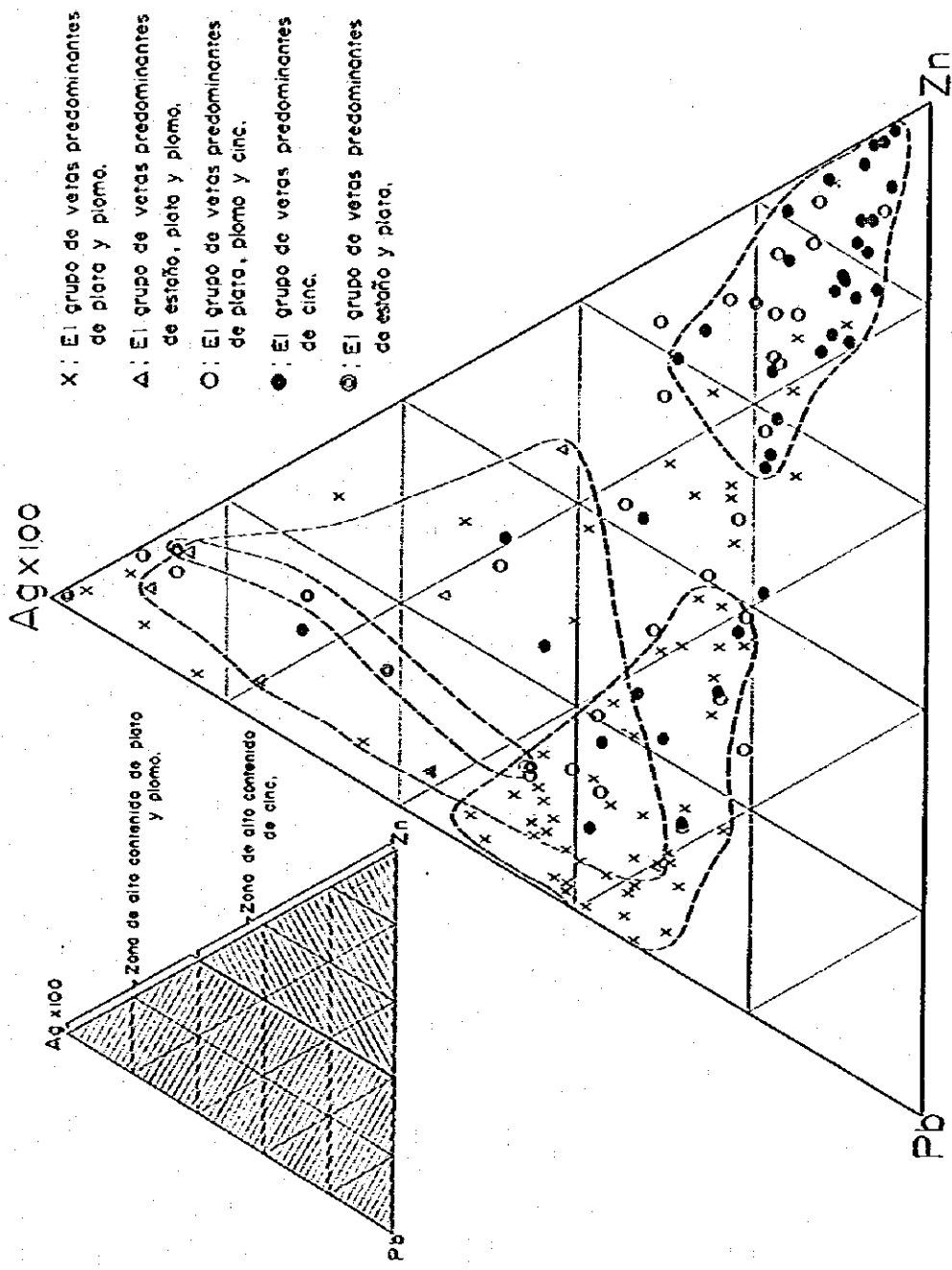


Fig. 12 Diagrama triangular de plata, plomo y cinc de todas las muestras obtenidas en interior mina de Tatasi.



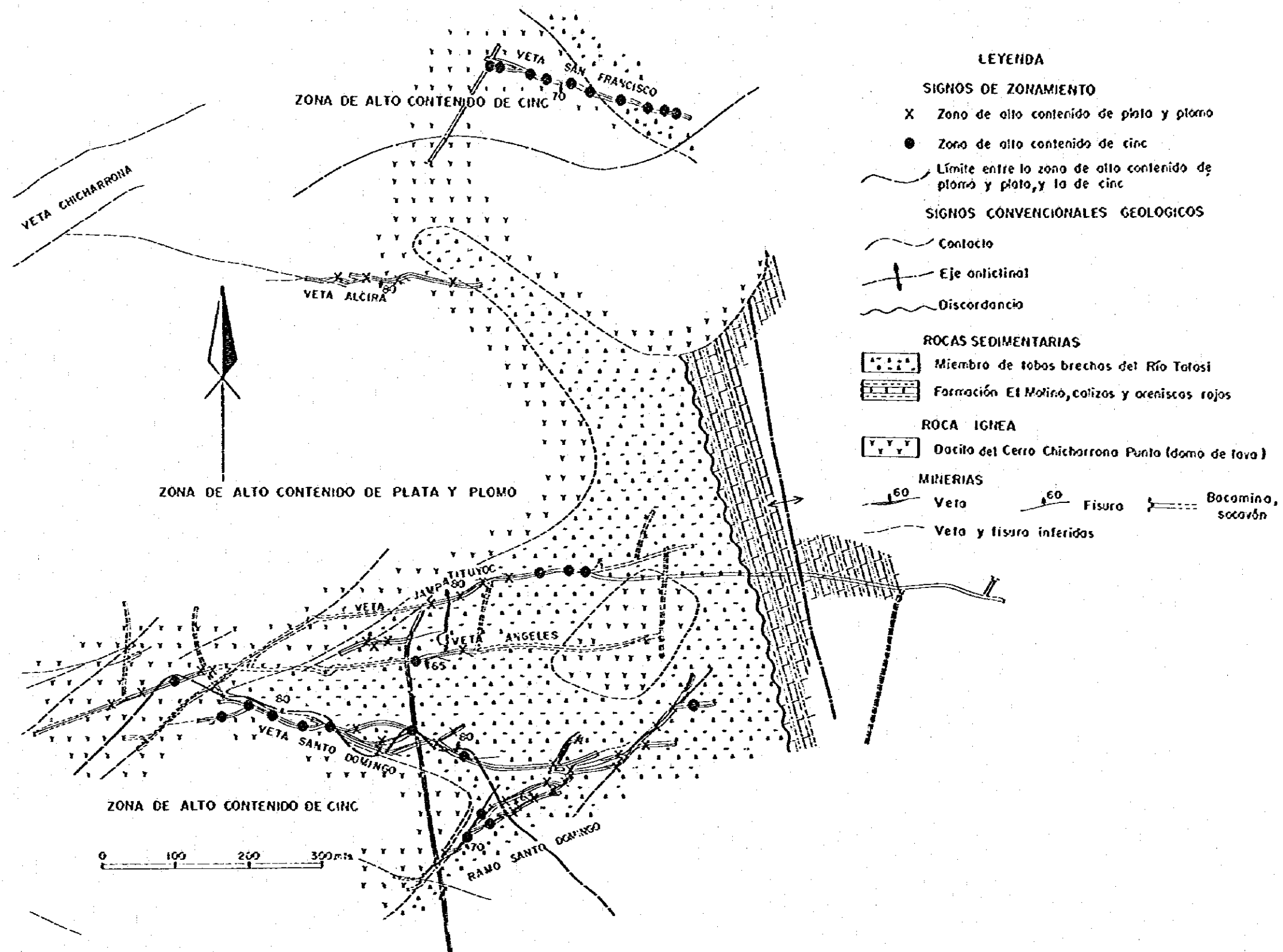


Fig. 13

Zonamiento de plata, plomo y cinc de la mina Tolosa. Guadalupe Niv. 0ml., Alcira Niv. -70mls. y San Francisco Niv. 35mls.

LEYENDA

SIGNOS DE ZONAMIENTO



- X Zona de alto contenido de plata y plomo
- Zona de alto contenido de cinc

— Límite entre la zona de alto contenido de plomo y plata y la de cinc

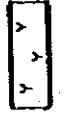
SIGNO CONVENCIONAL GEOLOGICO

— Contacto





ROCAS SEDIMENTARIAS

-  Miembro de tobas brechas del Río Tatasi
-  Miembro de pizarras de Okoruro

ROCA IGNEA

-  Dacita del Cerro Chicharrón Punta (domo de lava)

MINERIAS

-  Veta A60
-  Fisura A60
-  Veta y fisura interferidas
-  Socamina, Socavón

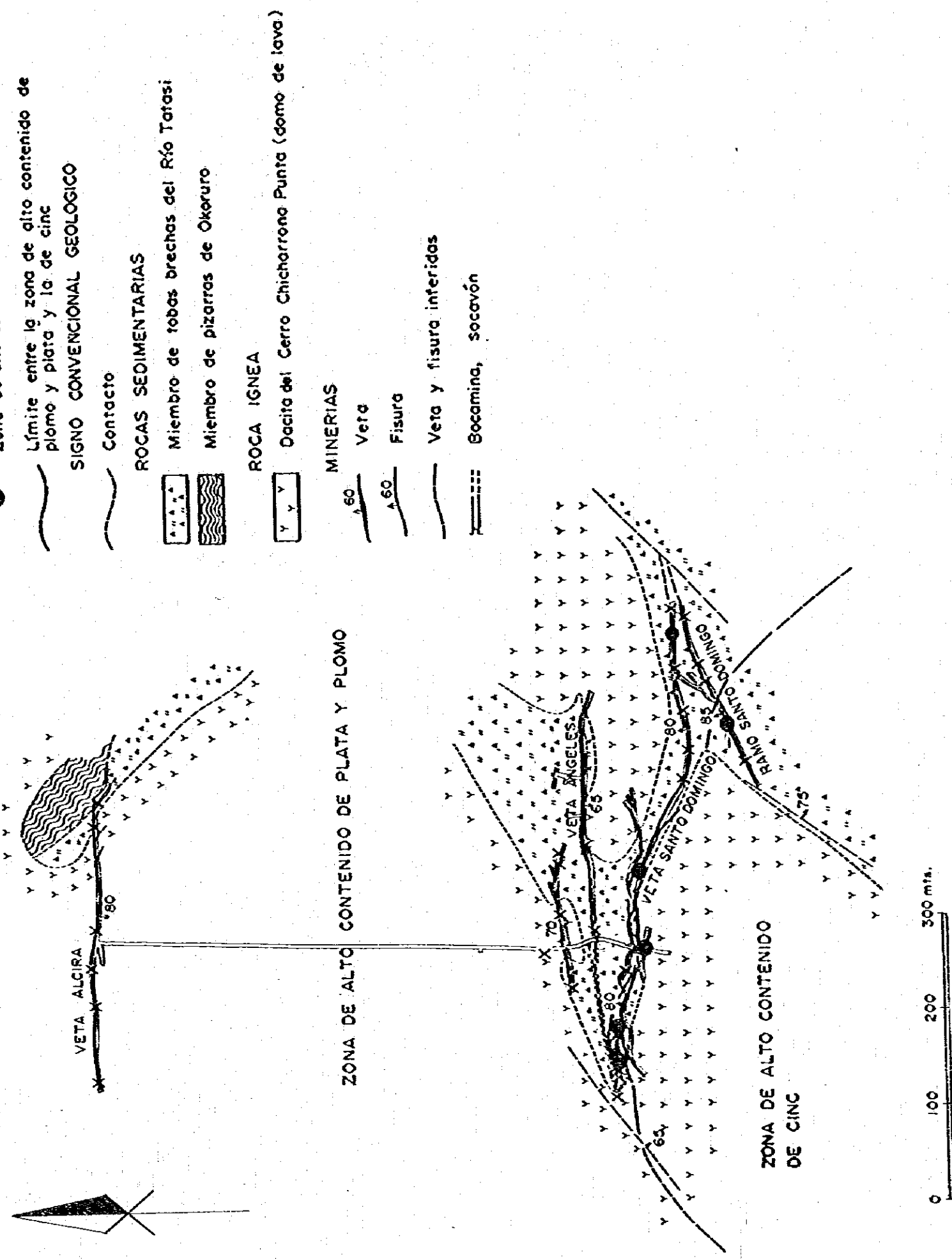


Fig. 14 Zonamiento de plata, plomo y cinc de la mina Tatasi. Guadalupe Niv. -70mts.y Alcira Niv. -140mts.

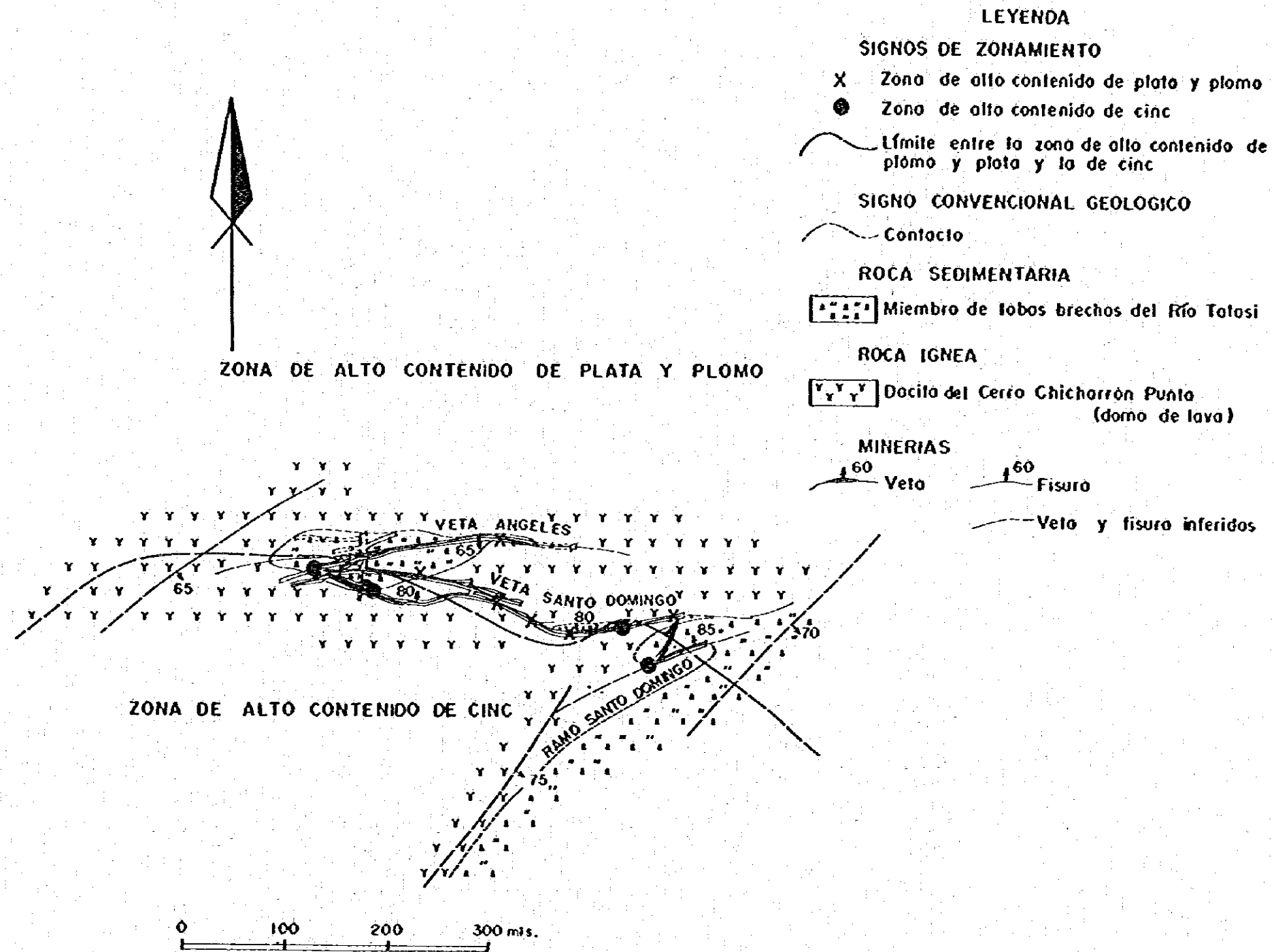


Fig. 15 Zonamiento de plata, plomo y cinc de la mina Tatasi, Guadalupe Niv. -110 mts.

## CAPITULO 4 INVESTIGACION DEL PRIMER AÑO

El motivo de esta investigación fue seleccionar partes de alta posibilidad en que existieran vetas dentro del área estudiada con la superficie de 300 kms<sup>2</sup>., en la cual están incluidas las minas San Vicente y Tatasi que producen los minerales de plata, plomo, cinc y estaño.

Por lo tanto en el primer año se efectuaron las investigaciones siguientes: la investigación geológica semidetallada para reconocer ampliamente la geología y la geología estructural y para aclarar su relación con las vetas; la investigación detallada para reconocer el detalle de la geología y de las vetas en el área San Vicente y en el área occidental de Tatasi, las cuales están seleccionadas en la investigación semidetallada como área de buena perspectiva.

### 4-1. Método de investigación

#### 4-1-1. Investigación geológica semidetallada

Se realizó el levantamiento de mapeo de los datos geológicos sobre un mapa topográfico de escala 1:10,000 por toda el área explorada. Se ha tomado mucho cuidado para establecer las rutas de investigación proporcionalmente por toda el área, tratando de tener por lo menos un lugar de medición y observación en cada 500 mts. x 500 mts. También tuvimos cuidado para que los resultados de las investigaciones fueran efectivas para analizar la geología estructural, estableciendo las rutas a lo largo de las cumbres, quebradas y ríos, puesto que el rumbo de la geología estructural de las zonas de investigación es del Sur al Norte. Paralelamente a dichas investigaciones, se efectuó también la interpretación geológica de aerofotografías, así como el análisis de los datos ofrecidos por la CONIBOL.

#### 4-1-2. Investigaciones detalladas

Como consecuencia de la investigación geológica semidetallada, se seleccionaron el área San Vicente y el área occidental de Tatasi como áreas de buena perspectiva donde vale la pena realizar investigaciones detalladas, y las efectuamos. Para obtener las localizaciones exactas de vetas, lugares con indicios de mineralización, zonas alteradas, bocaminas, etc., se hicieron mensuras. Y utilizamos mapas topográficos de escala 1:5,000 preparados a base de los de 1:10,000, dibujándolas en éstos. Se establecieron las rutas de investigación, de acuerdo con las características de estas investigaciones de detalle, para que se pudiera perseguir las rutas. Así, tuvimos cuidado para que se pudiera obtener por lo menos una muestra de análisis en un cuadrado de 300 mts. x 300 mts. Y con esto, tratamos de obtener la exactitud de la investigación lo más posible.

#### 4-2. Resultado de la investigación del primer año

(1) La geología del área estudiada está constituida, desde parte inferior, por el sistema Ordovícico, la formación El Molino del sistema Cretácico Superior, la formación San Vicente de conglomerado, el miembro superior de la formación Quehua, lavas dacíticas, domos de lavas, diques, y rocas piroclásticas volcánicas ácidas. El sistema Ordovícico tiene espesor de 3,400 mts. y se ha clasificado litológicamente, desde su parte inferior, en el miembro de areniscas de Asunta, el miembro de disposición alternada de areniscas y pizarras de Ventillas y el miembro de pizarras de Okoruro. El sistema Ordovícico pertenece a sedimentos de miogeosinclinal en que no se observan actividades ígneas, y a sedimentos de tipo "flysh" desarrollados de turboglifo, óndula y estratificación. La formación El Molino del sistema Cretácico se limita del sistema Ordovícico con discordancia

inclinada clara y está constituida por conglomerados, calizas, margas y areniscas. El espesor de El Molino es delgado y más o menos de 200 mts. La formación San Vicente que pertenece al sistema Terciario y que se extiende ampliamente en el área de la mina San Vicente, está constituida por sedimentos de conglomerados rojos poco seleccionados. De acuerdo al resultado de análisis de polen, podemos considerar que la formación podría pertenecer a la edad de Mioceno a Plioceno, sin embargo, considerando las edades de rocas volcánicas del alrededor, se determinó que pertenecía al Mioceno Superior. El miembro superior de la formación Quehua se halla distribuido sólo en la parte extrema septentrional del área estudiada y se limita del Cretácico y del Ordovícico con discordancia. En el área estudiada, no se puede aclarar su relación con la formación San Vicente, sin embargo podemos presumir que posiblemente pertenezca a la época de Mioceno Superior a Plioceno por la razón de que no está avanzado su diagénesis.

(2) La geología estructural en Bolivia generalmente se halla del Sur al Norte a lo largo del rumbo general de la faja andina. En el área estudiada se observan pliegues del rumbo Sur al Norte excepto en la zona en donde se difunde la formación San Vicente, de modo que podemos interpretar que la zona estudiada ha sido afectada por la compresión de la dirección Este al Oeste, desde la era Mesozoica hasta la presente. Por otra parte, las zonas en donde se difunden rocas volcánicas presentan naturalmente pliegamientos de diferente dirección de la de los rumbos generales citados, y están fracturadas. En el área estudiada se desarrollan muchas fallas paralelas a los ejes de pliegues, en las cuales la más importante es la falla inversa de San Vicente. Esta tiene estrecha relación con mineralización y formación de fisuras del grupo de yacimientos de San Vicente. Los ejes de los pliegues del sistema Cretácico y el Paleozoico, se cambian

de dirección, en este lugar, de NNO-SSE a Norte-Sur, con inclinación más escarpada y pliegues de onda corta. Estas partes forman una zona fracturada causada por actividades volcánicas y están relacionadas indirectamente con la formación del grupo de yacimientos de Tatasi. Muchas de las formas de pliegues son las de isoclinal, por lo tanto las fallas que cruzan los ejes son muy pocas, y además las existentes son pequeñas.

(3) Se observan actividades ígneas mayormente en la mina Tatasi y su alrededor, así como en la zona Sudeste de la mina San Vicente, y se hallan rocas volcánicas y piroclásticas. Pero no se encuentran en otras zonas. Estas rocas volcánicas son de 16 my a 23 my, de acuerdo a los resultados de determinación de edad, sin embargo, podemos considerar que actividades ígneas del área pertenecen al Mioceno Medio desde el punto de vista de la estratigrafía, ya que parecen ser de actividades del mismo tiempo según los resultados de observación en el campo.

El elemento químico de las rocas pertenece a serie alcalina cálcica en el área de andesita a dacita, las cuales generalmente son de carácter de traquita, abundantes en  $K_2O$ , y hay tendencia de que las rocas volcánicas derramadas en la fase posterior son más básicas que las de la fase anterior.

(4) Respecto al mecanismo de la formación de vetas, el grupo de los yacimientos de Tatasi en general tiene sistema de Este al Oeste, aunque además de éste tienen sistemas de  $N60^{\circ}\sim 70^{\circ}O$  y  $N60^{\circ}\sim 70^{\circ}E$ . La distribución de los yacimientos se limitan solamente en las rocas volcánicas o rocas piroclásticas y se presenta una base diferente a la fracturación de rocas formadas por esfuerzo como en la geología estructural en general. Y consideramos que primeramente se produjeron fracturas por el hundimiento

después de enfriamiento, o por la formación de la zona cizallada por levantamiento de domo ("dome up") al formar domos de lavas, y posteriormente había mineralización. Se puede interpretar que el grupo de los yacimientos de San Vicente y Monserrat son de fisuras producidas por esfuerzo de tensión de la compresión lateral que formó la falla San Vicente. Además, la mineralización tiene muy íntima relación con los diques y las rocas volcánicas de Potos Orkho. El objetivo principal de nuestra investigación es sobre el levantamiento geológico superficial. Las partes mineralizadas en esta área se presentan como afloramientos oxidados, por lo tanto es difícil aclarar paragénesis y estructura zonal de los minerales, y no podemos hablar sobre la parte central de mineralización y el rumbo de chimeneas de yacimientos hacia la parte inferior. Todo esto será materias de estudio en las investigaciones futuras.

(5) Referente a la exploración del alrededor de la mina Tatasi, el límite de la distribución horizontal de los yacimientos se ve sólo en la zona en donde se difunden rocas volcánicas y piroclásticas, y en la zona aún no explorada horizontalmente de la parte occidental de la mina Tatasi. Por lo tanto consideramos que será muy eficaz realizar la exploración en la zona alterada que se halla en la dirección Este-Oeste y a lo largo de la dirección NO-SE donde se distribuyen domos de lavas de Santa Mica. Creemos que se debe efectuar la investigación de la tierra superficial después de este estudio geológico detallado, para limitar la distribución horizontal y vertical de la zona mineralizada, por el método de prospección geofísica de Polarización Inducida. Y de acuerdo a este resultado tienen que hacer sondeo.

(6) La investigación plana en los yacimientos de Tatasi provoca naturalmente la necesidad de investigación en la parte inferior. Pero para



esto, en primer lugar, tienen que suponer: los factores del control de enriquecimiento por medio de los estudios geológicos de interior mina, la variación de paragénesis y la parte central de efusión por los estudios de las distribuciones debajo de las rocas volcánicas. Y en segundo lugar, usando eso, hay que establecer una hipótesis de teoría para la exploración de la parte inferior. Para realizarlo, la exploración de esta parte debe promover el sondeo eficaz y la investigación de interior mina a base de los resultados de la investigación geológica de interior mina y los de estudios de laboratorio.

(7) En cuanto al grupo de yacimientos de San Vicente, ya se ha aclarado aproximadamente el área de su distribución, pero se deberá aclararlo más en adelante, y además realizar al mismo tiempo la investigación para afirmar la existencia de mineralización en la parte inferior y efectuar el sondeo en la zona de buena perspectiva. En el área San Vicente todavía no se ha realizado ampliamente la exploración por la parte inferior y sólo va a empezar la exploración de galerías en el Niv. 0 mt. en la zona en donde existen las vetas principales. Por lo tanto consideramos que deberán efectuar la prospección geofísica de Polarización Inducida para obtener informaciones tanto horizontal como verticalmente valiosas, seleccionar zonas de buena perspectiva para la próxima etapa, y realizar otra exploración más exacta por medio del sondeo. Afortunadamente, se ha podido comprobar la buena adaptabilidad del método de Polarización Inducida, después de haber efectuado medición de propiedad de material sobre las muestras obtenidas, así como simulación a base de los resultados.

## CAPITULO 5 INVESTIGACION DEL SEGUNDO AÑO

La presente investigación se efectuó en el área San Vicente (la extensión, 40 kms<sup>2</sup>.) y el área Tatasi (la extensión, 9.4 kms<sup>2</sup>.), ambas seleccionadas por los resultados de la investigación del primer año. Su objeto era tanto dar recomendaciones para explorar y desarrollar la parte inferior del grupo de vetas de San Vicente y el de Tatasi pertenecientes a dichas áreas respectivamente, como seleccionar zonas donde con mucha posibilidad se difundirían nuevos yacimientos no reconocidos en sus alrededores.

A efecto de realizar dicho objeto, en la investigación del segundo año, se efectuaron las investigaciones siguientes: la investigación geológica detallada de superficie; la investigación de afloramientos; la investigación geológica detallada de interior de las minas actualmente explotadas; la prospección geofísica por el método IP; la investigación por sondeos.

### 5-1. Método de investigación

#### 5-1-1. Investigación geológica detallada de superficie

Se efectuó la investigación geológica detallada en la zona Sudeste de San Vicente, que ocupa la parte Sudeste del área San Vicente.

Para esta investigación, se utilizó el mapa topográfico de 1:50,000. Respecto a las vetas, partes mineralizadas, fajas alteradas y bocaminas, se las trazaron obteniéndose sus posiciones exactas con medición de compás. Se realizaron las investigaciones para que estuviera, por lo menos, un dato en cada cuadrado de 300 mts. x 300 mts.

### 5-1-2. Investigación de afloramientos

Se realizó la investigación de afloramientos en la zona de la mina San Vicente en cuyo centro se desarrollan galerías de la mina San Vicente, y en la de Monserrat donde existen galerías de la mina Monserrat, y en el área Tatasi. Para efectuar esta investigación, se utilizó el mapa topográfico de escala 1:2,000 obtenido basándose en el mapa topográfico de escala 1:5,000. Hechas las mensuras de afloramientos, partes mineralizadas, fajas alteradas y bocaminas utilizando compás, se obtuvieron sus posiciones exactas y se las mapearon. Además, se efectuaron las mensuras persiguiendo afloramientos y diques que tenían tendencia de extenderse. Por otra parte, en cuanto a los lugares que señalaban importantes condiciones geológicas, se hicieron los croquis amplificativos parcialmente, y se aumentó la exactitud de la observación.

### 5-1-3. Investigación geológica detallada de interior mina

Se realizó la investigación geológica detallada de interior mina en las galerías siguientes: las de la sección San Vicente (Nivs. 0 mt. y -30 mts.) y de la sección Monserrat (Nivs. 0 mt. y 40 mts.); las de la sección Guadalupe (Nivs. 0 mt. y 35 mts.), San Gregorio (Nivs. 0 mt. y -30 mts.) y Arce, que todas están explotadas actualmente, de la mina Tatasi. Para esta investigación, utilizando el mapa de interior mina de escala 1:500 y obteniendo las posiciones de los puntos medidos con huincha, se hicieron croquis geológicos en los socavones. Considerando el croquis del plano de proyección como el del techo y efectuando parcialmente croquis amplificativos de los lugares de mucha importancia geológica, se aumentó la exactitud de la observación.

Se perforaron zanjas con más de 3 cms. de ancho y 2 cms. de profundidad a lo largo de las vetas con un intervalo de cada unos 40 mts. cruzando

las vetas perpendicularmente. Así se sacaron las muestras, pero sus largos se limitaron a menos de 1.00 mt. De dicha manera, se cogieron 368 muestras de la mina San Vicente y 143 muestras de la mina Tatasi, con el total de 511 muestras. Sobre las muestras, de la mina San Vicente se realizaron análisis de cinco elementos que son estaño, plata, cobre, plomo y cinc; de la mina Tatasi, cinco elementos que son estaño, plata, plomo, cinc y antimonio.

#### 5-1-4. Prospección geofísica

La prospección geofísica por método IP se efectuó por los dos sistemas; la disposición gradiente de electrodos y la de dipolo-dipolo. Primero, en el área San Vicente, una superficie de 31.5 kms<sup>2</sup>. se cubrió por 9 líneas de medición con distancia de 250 mts. una con otra (el largo total de las líneas de medición fue de 64.5 kms.) y se realizó la prospección geofísica de método IP por disposición gradiente de electrodos. Después, de acuerdo con sus resultados, se efectuó prospección de método IP por disposición dipolo-dipolo sobre 9 líneas a intervalos de 250 mts. en zonas alrededores de la sección San Vicente y la de Monserrat (en adelante se denominarán "la zona de la mina San Vicente" y "la zona Monserrat" respectivamente). Además, se efectuó la prospección IP por disposición dipolo-dipolo de electrodos en una superficie de 5.6 kms<sup>2</sup>. en la parte occidental del área Tatasi con 5 líneas de medición a intervalos de 250 mts. (el largo total de las líneas de medición fue 12.5 kms.).

#### 5-1-5. Sondeo

En el área San Vicente, se realizaron tres sondeos con un avance total de 901.6 mts. en los lugares demostrados en la Fig. 2. Entre éstos, dos taladros con un avance total de 601.10 mts. se perforaron en la zona Monserrat; el otro de 300.50 mts., en la zona de la mina San Vicente.

## 5-2. Resultado de la investigación del segundo año

(1) El grupo de yacimientos de San Vicente se encajona en la formación San Vicente del sistema Terciario Neógeno, y se considera que las fisuras de estas vetas fueron formadas por la compresión lateral en dirección Este-Oeste que formó la falla inversa de San Vicente dividiendo el sistema Terciario Neógeno y el Ordovícico. Según se presume, entre las vetas principales del grupo de San Vicente, las vetas Seis de Agosto y Deseada se formaron a lo largo del plano de tensión primaria; las vetas Adela, San José y Arturo, a lo largo del plano de cizalla primaria; y a lo largo de los planos de cizalla y tensión secundarias que se sitúan entre dichas vetas, se formaron otras vetas. Además, se presume por la investigación geológica detallada de interior mina, la existencia de la falla San Francisco que coincide con el plano de cizalla primaria a lo largo de la Quebrada San Francisco situada al Sur del grupo de yacimientos de San Vicente.

Los minerales metálicos del grupo de San Vicente se componen de tetraedrita argentífera que es el principal mineral argentífero, esfalerita, galena, calcopirita, pirita, estannina, casiterita y marcasita; los minerales principales de ganga son cuarzo y baritina.

Entre los elementos de estaño, plata, plomo, cobre y cinc que forman estos minerales principales, los cuatro primeros presentan un movimiento idéntico; pero el cinc, otro movimiento diferente de los anteriores. Fijándose en esta diferencia, se aclara que la combinación de plata-plomo y el cinc presentan zonamiento. Juzgando por ello, el grupo de vetas de San Vicente es una parte de extensión de mineralización al Noroeste teniendo como centro la falla San Francisco, y el alcance de mineralización al Suroeste abarca la veta San Francisco. Por otra parte, no se observa diferencia de zonamiento entre galerías Nivs. 0 mt. y -30 mts. y el cambio

de propiedad mineralógica hacia abajo es muy lenta, por lo tanto podemos presumir la extensión de las vetas a la parte inferior.

(2) Las vetas del grupo de yacimientos de Monserrat están también encajonadas en la formación San Vicente del sistema Terciario Neógeno, y se observan los sistemas de fisuras formadas por la compresión lateral en dirección Este-Oeste. Pero el rumbo de las vetas varía mostrando una tendencia de formar red o escalón en general, y su escala es pequeña en comparación con las del grupo de San Vicente.

Según el sondeo No. 52-1 efectuado en la presente investigación, se descubrieron una veta que tenía ancho de 65 cms. cuyas leyes medias eran estaño 1.61 %, plomo 0.65 % y cinc 0.80 %, y además de ésta, otras muchas venillas en las capas sobre o subyacentes de dicha veta. También se encontraron muchas venillas por el sondeo No. 52-2. Los minerales metálicos que se observan en estas vetas y en las galerías Niv. 0 mt. están compuestos de estannina, casiterita, tetraedrita argentífera, pirargirita, mineral de sulfuro de plata-plomo-bismuto-antimonio-azufre (no identificado), esfalerita, calcopirita, galena y pirita; los minerales de ganga, cuarzo y sericita principalmente. Fijándose que estas vetas presentan alta ley de plata, al interpretar el zonamiento de plata-plomo y estaño en la sección, se muestra una tendencia evidente del aumento de estaño en comparación con plata-plomo, por lo tanto el objeto de la exploración para la parte inferior del grupo de yacimientos de Monserrat también deberá ser estaño.

(3) Las vetas del grupo de yacimientos de Tatasi, cualquiera de éstas, están encajonadas en dacita o rocas piroclásticas de Tatasi. Y la línea tectónicamente débil que hacía derramar o intruir estas dacitas se derivó de la compresión en dirección Este-Oeste, e igualmente se puede considerar

que las fisuras del grupo de yacimientos de Tatasi se formaron de la misma manera. Es decir, dentro de las vetas de Tatasi, la veta Alcira se formó a lo largo del plano de tensión primaria; las vetas San Gregorio, Tusti y Chicharrona, a lo largo de los planos de cizalla primaria; las vetas de la sección Guadalupe se desarrollan en el alrededor del contacto entre tobas brechas del Río Tatasi y lavas de Chicharrona Punta; y se formaron las vetas de altas leyes a lo largo de las fisuras de los planos de cizalla y tensión primarias y secundarias.

Los minerales metálicos del grupo de yacimientos de Tatasi se componen de varias clases de minerales argentíferos, tales como pirargirita, proustita, polibasita, tetraedrita argentífera, argentita y electrum; y además, como minerales estanníferos existen estannina y casiterita asociadas con galena, esfalerita, pirita, calcopirita, arsenopirita, jamesonita, bournonita y marcasita. Como minerales de ganga se observan cuarzo, siderita y minerales arcillosos. Entre los elementos de estaño, plata, plomo, antimonio y cinc, los primeros cuatro presentan un movimiento idéntico, pero cinc muestra diferente movimiento de los anteriores, por lo cual se observa el zonamiento de plata-plomo y cinc al igual que el grupo de yacimientos de San Vicente. La ley de plata es todavía alta aun en la galería más profunda que se investigó en la presente investigación, por lo que no se presume el empeoramiento de mineralización hacia la parte inferior, y se precisa realizar más exploración hacia la parte inferior.

(4) En la zona Sudeste de San Vicente se observan muchas zonas alteradas en rocas volcánicas de Potos Orkho, mayormente debido a alteraciones hidrotermales posteriores a actividades volcánicas. En esta zona se observan muchos afloramientos de vetas, pero casi no hay vetas que tengan

los minerales metálicos con excepción de vetas alrededor de la mina San Vicente. Por lo tanto se considera que la presente zona corresponde al margen de mineralización del grupo de yacimientos de San Vicente.

(5) Por medio de la prospección geofísica del método IP, se han obtenido cinco zonas de anomalía de IP, de los cuales, tres lugares en el área San Vicente y otros dos en la zona Oeste de Tatasi. Las zonas de anomalía de IP descubiertas en el área San Vicente se observaron alrededor de la veta Seis de Agosto en ambos lados de la Quebrada San Francisco y en las galerías de la sección Monserrat; las zonas de anomalía de la zona Oeste de Tatasi se observan, una a lo largo de la veta San Gregorio y la otra a lo largo del camino entre Portugaleta y San Vicente.

(6) Referente a los sondeos, se efectuaron dos sondeos en la zona Monserrat, y uno en la mina San Vicente, en total de 901.60 mts. En el taladro No. 52-1 de la zona Monserrat se encontraron una veta de estaño con un ancho de 65 cms. y otras venillas situadas en ambos lados sobre y subyacentes de ésta. Igualmente en el taladro No. 52-2, se encontraron venillas del mismo modo. Además, en estos dos taladros se hallaron notables alteraciones de sericitización, silicificación y pirritización. En el taladro No. 52-3 de la zona de la mina San Vicente, se encontró la prolongación al Oeste de la veta Cantera, pero no se encontró la prolongación inferior de la veta Seis de Agosto, sobre lo cual se necesitarán otros sondeos para la comprobación.

(7) Juzgando por los resultados de dichas investigaciones, como las zonas que necesitarán investigaciones en el futuro se seleccionaron las siguientes:

- ① la zona de anomalía de IP en los alrededores de Quebrada San Francisco del área San Vicente;



- ② la parte inferior y la extensión en dirección Este-Oeste del grupo de yacimientos de San Vicente;
- ③ la parte inferior y la extensión en dirección Este-Oeste del grupo de yacimientos de Monserrat;
- ④ la parte inferior del grupo de vetas de la sección Guadalupe de la mina Tatasi;
- ⑤ la parte inferior y la extensión al Noroeste de la veta San Gregorio de la mina Tatasi, y
- ⑥ la zona de anomalía de IP a lo largo del camino al Oeste de Portugalete.

En cuanto a la investigación en el futuro, de acuerdo con el hecho de que la prospección geofísica por método IP es muy efectiva, se debe realizarla para comprobar los límites oriental y occidental de cada zona de anomalía de IP situadas en los alrededores de la Quebrada San Francisco y en la zona Monserrat. Se deberán realizar sondeos en las zonas arriba mencionadas que necesitarán investigaciones.

(8) Las vetas Chicharrona y Tusti de la mina Tatasi estaban explotadas activamente en el pasado, pero en la presente investigación no se nos permitió investigarlas por no poder entrar en ellas. Para resolver la duda de que si los tajos explotados en el pasado sean los límites más profundos de dichas vetas, se necesita realizar unos sondeos en la parte inferior de las vetas Chicharrona y Tusti, después de haberse comprobado por sondeos la prolongación hacia la parte inferior del grupo de vetas de la sección Guadalupe y de la veta San Gregorio.