



DIRECCION DE GEOLOGIA MINERA

**ESTUDIO GEO-ECONOMICO DE LOS DEPOSITOS  
DE AZUFRE DEL VOLCAN TUTUPACA  
MINA SANTINA  
Prov. Tarata - Dpto. Tacna**

Por

Hugo Rivera M.

Alberto Aranda V.

-1978-

SECTOR ENERGIA Y MINAS  
**INSTITUTO DE GEOLOGIA Y MINERIA**  
INGEOMIN

LIMA - PERU



---

DIRECCION DE GEOLOGIA MINERA

---

**ESTUDIO GEO-ECONOMICO DE LOS DEPOSITOS  
DE AZUFRE DEL VOLCAN TUTUPACA  
MINA SANTINA  
Prov. Tarata - Dpto. Tacna**

Por

Hugo Rivera M.

Alberto Aranda V.

-1978-

---

SECTOR ENERGIA Y MINAS  
**INSTITUTO DE GEOLOGIA Y MINERIA**  
INGEOMIN

LIMA - PERU



**ESTUDIO GEO-ECONOMICO DE LOS DEPOSITOS  
DE AZUFRE DEL VOLCAN TUTUPACA  
MINA SANTINA**

**PROV: TARATA      DPTO : TACNA**

**Por:**

**HUGO RIVERA MANTILLA  
ALBERTO ARANDA VERCELLI**

**MAYO - 1978**

ESTUDIO GEO-ECONOMICO DE LOS DEPOSITOS DE AZUFRE DEL VOLCAN  
TUTUPACA - MINA SANTINA

CONTENIDO

RESUMEN .....	1
CONCLUSIONES .....	2
RECOMENDACIONES .....	3
I.- INTRODUCCION .....	4
- Ubicación .....	4
- Accesibilidad .....	4
- Objetivos del Estudio .....	4
- Métodos de Trabajo .....	5
- Trabajos Previos .....	5
- Propiedad Minera .....	5
II.- FISIOGRAFIA .....	7
- Geomorfología .....	7
- Clima y vegetación .....	7
- Recursos .....	7
III.- GEOLOGIA LOCAL .....	8
IV.- GEOLOGIA ECONOMICA DEL YACIMIENTO .....	9
- Generalidades .....	9
- Mineralización de Azufre en Santina .....	9
- Muestreo y leyes .....	10
- Origen de la Mineralización .....	11
- Controles de la mineralización .....	12
- Reservas Probadas-Probables .....	12
- Reservas Prospectivas .....	15
V. TECNOLOGIA .....	16
- Preparación y extracción del mineral .....	16
- Proceso de refinación .....	16
- Balance metalúrgico .....	17
- Personal y Equipo Actual .....	17

VI,- ESTUDIO ECONOMICO .....	18
- Costo de Operación Actual .....	18
- Valorización del Mineral .....	18
- Valorización de Reservas .....	19
REFERENCIAS .....	20

## ILUSTRACIONES

Figs :

- 1.- Plano de ubicación y acceso al volcán Tutupaca
- 2.- Plano geológico de la mina Santina
- 3.- Plano geológico de los depósitos de azufre del volcán Tutupaca
- 4.- Plano donde se indica los tipos de mineralización habidos en el volcán Tutupaca
- 5.- Plano de muestreo de la mina Santina y alrededores
- 6.- Plano de laboreo minero en Santina y alrededores
- 7.- Sección Longitudinal del depósito de Santina

## RESUMEN

El presente trabajo comprende aspectos geológico - mineros y económicos del yacimiento de azufre de Santina y alrededores del volcán Tutupaca, ubicado en el distrito de Cairani, provincia de Tarata, departamento de Tacna.

El área se encuentra en la Cadena Volcánica del Sur, que comprende una serie de conos volcánicos con rumbo NO-SE, destacando en el sector los volcánes Tutupaca y Yucamani.

Los depósitos de azufre de Santina son de origen volcánico, se formaron como consecuencia de la actividad de los gases emanados durante y después de las erupciones, como producto directo de la sublimación que luego fue mezclado con cenizas y rocas volcánicas porosas formando el llamado "caliche"

Los depósitos son variados y se presentan en forma de bancos, lentes, impregnaciones, relleno de fisuras y "reventones" los cuales son erráticas y discontinuas.

El cálculo de reservas indica un tonelaje de mineral probado - probable de 49,500 T.M., con una ley promedio de 40,35 % de azufre, incluyendo las reservas de las canchas antiguas de 20,900 T.M. con una ley de 38.95 % de azufre.

La extracción de mineral se realiza a "cielo abierto" con trincheras hasta encontrar las estructuras mineralizadas extrayéndose solo el mineral de mejor ley a simple vista. El material estéril es removido y arrojado a los lados de las trincheras aumentando su acumulación sobre áreas no explotadas.

El proceso de refinación del azufre se realiza por el sistema de Autoclaves, con una ley de recuperación calculada de 60 % y un ratio de concentración de 4.16.;

El costo de operación actual (mayo 1978), teniendo en cuenta que se explota 25 T.M. de "caliche" con una ley aproximada de 40 % de azufre del que se obtiene 6 T.M. de azufre refinado de 99.99 % al día, es de \$/7,858 por T.M. - puesta en Lima, que es competitivo con el azufre importado cuyo precio FOB es de U.S. \$ 61.00 que al cambio del dólar certificado de \$/207.00 sería de \$/12,627.00.

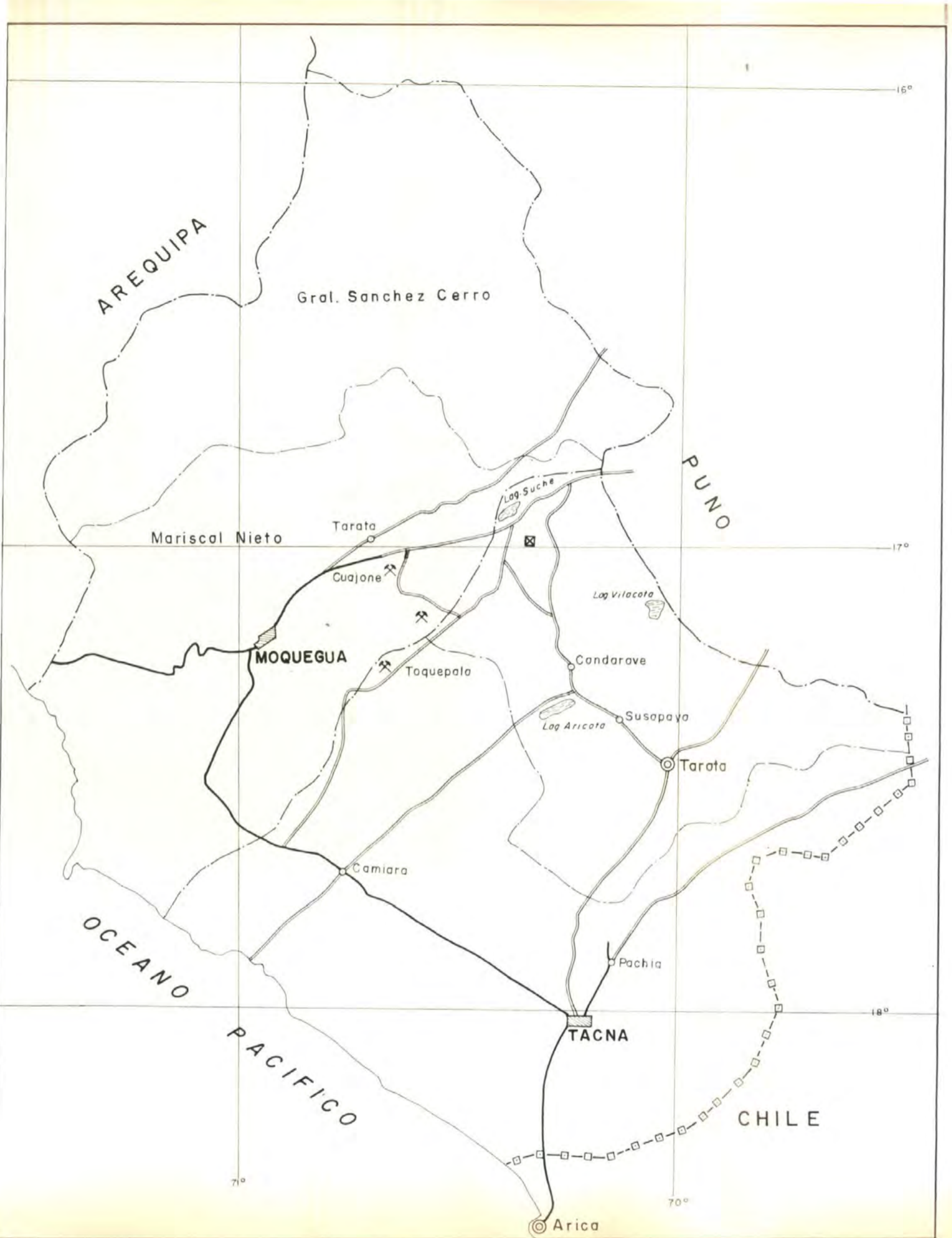


### CONCLUSIONES

- 1.- Las reservas probadas - probables de la mina Santina son del orden de 49,500 T.M. de "caliche" con una ley de 40.35 % de azufre existiendo además reservas prospectivas del orden de 42,000 T.M.
- 2.- La producción diaria es del orden de 25 T.M. de "caliche" ó 6 T.M. de azufre refinado de 99.99 % , con un porcentaje de recuperación de 60 % y un ratio de concentración de 4.16.
- 3.- El costo de producción del azufre refinado puesto en Lima es del orden de S/7,858.00 que es competitivo con el azufre importado cuyo precio es del orden de S/12,627.00 ( U.S. \$ 61.00 FOB), lo que significa una renta bruta de S/4,769.00 por T.M. a favor del producto nacional.

### RECOMENDACIONES

- 1.- Estudiar la aplicación de un sistema de minado apropiado para este tipo de depósito que permita hacer mas eficiente la operación disminuyendo los costos.
- 2.- El material removido debe ser ubicado en lugares donde no interfiera el futuro laboreo de las áreas no explotadas con posibilidades mineras.
- 3.- Efectuar pruebas de chancado para conseguir el tamaño apropiado para una mejor acción del vapor en todo el mineral y mantener constante la temperatura de 120 °C, con el objeto de elevar el porcentaje de recuperación a 80 % ó mas , lo que influirá favorablemente en los costos de producción.
- 4.- Programar exploraciones del yacimiento con el objeto de incrementar las reservas.



MAPA DE UBICACION Y ACCESO

AL VOLCAN TUTUPACA

DPTOS. TACNA Y MOQUEGUA

Escala = 1:1'000,000

SIMBOLOS

- Limite provincial
- Limite departamental
- Limite internacional
- Carretera asfaltada
- " " afirmada
- Volcan Tutupaca

## 1.- INTRODUCCION

El presente trabajo comprende los aspectos geológico-mineros y económicos del yacimiento de azufre de Santina y alrededores del volcán Tutupaca, el cual se efectuó en cumplimiento de lo programado en el Proyecto 07 : Prospección Minera en Tacna.

Para este fin se comisionó a la brigada del Ing. Hugo Rivera Mantilla y Alberto Aranda Vercelli, durante 30 días comprendidos entre los meses de Octubre y Noviembre de 1976.

### UBICACION

El yacimiento de azufre más representativo del área es el de Santina, que se encuentra en la quebrada Azufre Grande que nace del volcán Tutupaca. Políticamente se ubica en el distrito de Cairani, provincia de Tarata, departamento de Tacna (ver fig. N° 1 )

### ACCESIBILIDAD

Para llegar a Tutupaca se emplean diversas vías de comunicación, teniendo como punto de partida las ciudades de Tacna y Moquegua.

1.- Tacna - Toquepala	150 kms
Toquepala - Laguna Suches	73 "
Laguna Suches - Tutupaca	32 " .....255 kms
2.- Tacna - Tarata	89 km
Tarata-Desvío Mina	111 "
Desvío Mina Tutupaca	9 " ..... 209 kms
3.- Moquegua - Laguna Suches	105 km
Laguna Suches - Tutupaca	32 " ..... 137 kms

### OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo principal del estudio es estimar las posibilidades económicas del yacimiento de azufre de la mina Santina y alrededores del Tutupaca para su futura operación e industrialización.

## METODO DE TRABAJO

Para la realización del trabajo, se confeccionó y utilizó como base topográfica el levantamiento a plancheta en escalas 1:2,500 y 1:5,000, utilizando la plancheta autoreductora Kern.

Se realizó el levantamiento de los planos a escala 1:2,500 de la mina Santina, Area de Paca; a escala 1:5,000 toda el área para la correlación de los afloramientos de azufre.

El levantamiento geológico se efectuó simultáneamente con el levantamiento topográfico.

Se colectaron en total 61 muestras de azufre de las trincheras existentes, afloramientos y en pozos. Del muestreo de las excavaciones, aproximadamente 30 resultaron sin mineral. También se realizaron 4 compósitos de 10 muestras de cada una. Los análisis cuantitativos de ellas se realizaron en los laboratorios del INGEOMIN.

El trabajo en el área se facilitó por la existencia de trochas carrozables.

## TRABAJOS PREVIOS

- |                     |   |
|---------------------|---|
| Antonio Tord - 1951 | "Azufre de los volcanes Tutupaca y Yacumani"<br>Informe Confidencial - 1951 |
| Alberto Pool - 1976 | "Azufre en el Perú" XIII Convención de Ingenieros de Minas del Perú - 1976  |

## PROPIEDAD MINERA

De acuerdo a la información de la Dirección de Concesiones del Ministerio de Energía y Minas se han empadronado las siguientes concesiones mineras ubicadas en el volcán Tutupaca y cerros aledaños:

<u>Nombre Vigentes</u>	<u>Concesionario</u>	<u>Paraje</u>
"La Caudalosa"	Ines Merino Tarabotto 1920 Ha	C° San Fco
<u>Revertidas</u>		
"Azufre Grande"	Soc. Minera Resp. Ltda. 72 Ha	Qda Azufre Grande

"Azufre Chico"	Soc. Min. Resp. Ltda. 50 Ha	Qda Azufre Chico
"Carlos"	Soc. Min. Resp. Ltda 140 Ha	Volcán Tutupaca
"Aldo "	Soc. Miner. Resp. Ltda. 128 Ha	Volcán Tutupaca

## II.- FISIOGRAFIA

### GEOMORFOLOGIA

La mina Santina y alrededores del volcán Tutupaca se ubica en la Unidad Fisiográfica denominada "Cadena Volcánica" que constituye la parte más elevada del área, es un cordón montañoso de rumbo NO-SE con un ancho máximo de 30 kms.

El rasgo topográfico está caracterizado por una sucesión de conos volcánicos formados durante el Terciario superior y Cuaternario, dentro de los cuales destacan los volcanes Tutupaca (5,815 m.), Calientes (5,358 m.), Yucamane (5,508 m.) y otros que sobrepasan los 5,000 m. de altitud. Todos estos conos volcánicos han sido fuertemente erosionados por la glaciación; solamente el volcán Yucumane conserva casi intacta su forma cónica característica distinguible claramente desde distancias considerables. El sistema de drenaje es del tipo radial como se observa en los alrededores de los conos volcánicos.

El modelado del paisaje actual a lo largo de la cadena volcánica se debe a la erosión glacial destacando grandes valles en forma de "U", circos glaciares y colinas de depósitos morrénicos.

### CLIMA Y VEGETACION

El clima está caracterizado por temperaturas bajas con amplias variaciones entre el día y la noche, precipitaciones mayormente en forma sólida que da lugar a las acumulaciones de nieve en las cumbres; los vientos son fuertes durante casi todo el año.

La vegetación es escasa, se desarrolla en los flancos bajos y depresiones, consistente principalmente de ichu, yareta, musgos y líquenes.

### RECURSOS NATURALES Y HUMANOS

Debido a que la zona es escasa en recursos, el abastecimiento logístico se realiza desde las ciudades de Tacna y Moquegua. A pesar de que existen poblados como Tarata, Candarave, éstos no ofrecen un abastecimiento suficiente, ya que se dedican más que nada a la agricultura y la ganadería.

Con respecto a recursos humanos para trabajos mineros, es limitado, debido a su dedicación a actividades agropecuarias y al comercio muy restringido tanto en Tarata como Candarave y también al problema migratorio de la gente joven a los grandes centros poblados; siendo necesario la contratación de mano de obra en poblados del departamento de Puno cercano al área tal como Mazocruz.

### III GEOLOGIA LOCAL

El área estudiada se encuentra en la Cadena Volcánica del Sur, que comprende una serie de conos volcánicos, destacando principalmente el Tutupaca (materia del estudio), Yacumani y otros que siguen un alineamiento NO - SE, alcanzando altitudes de hasta 5,800 m.s.n.m.

#### TUTUPACA Y ALREDEDORES

La mina Santina se encuentra en la quebrada de Azufre Grande en el área del volcán Tutupaca y su geología comprende las siguientes formaciones que varían del Terciario superior a Cuaternario. Ver plano N<sup>o</sup> 2 y 3.

a) Volcánico Barroso (TQ-Vba.).- Constituido por derrames andesíticos de textura porfirítica y traquiandesitas de colores gris oscuro. Estos volcánicos constituyen el cono volcánico y las partes altas de la ladera de la quebrada Azufre Grande.

b) Depósitos Morrénicos (Q-Mo).- Comprende dos tipos de morrenas: Laterales y de fondo y están constituidas predominantemente de fragmentos gruesos y angulosos mezclados con cenizas blancas y arenas, relleno de la quebrada con una extensión aproximada de 2,000 m por 200 m.

c) Depósitos Aluviales (Q-al).- Constituido por arenas finas provenientes de la desintegración de las rocas existentes y ocupan las partes planas de la quebrada.

d) Depósitos Coluviales (Q-co).- Constituido por fragmentos de rocas volcánicas de formas angulosas y ocupan las partes bajas de las laderas de la quebrada.

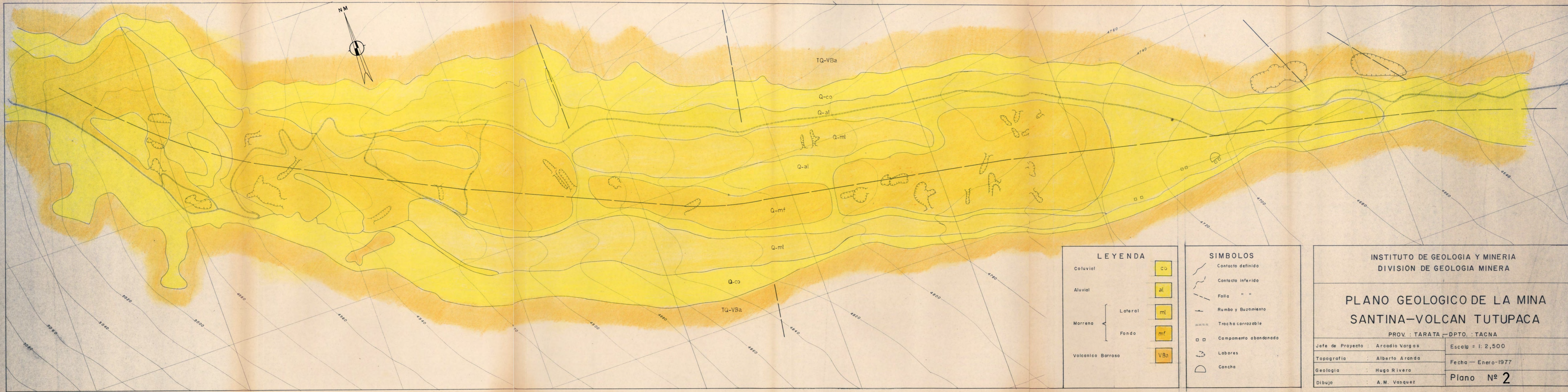
#### ESTRUCTURAS

Los principales rasgos estructurales están constituidos por fallas que afectan a los volcánicos Barroso.

A lo largo de la quebrada Azufre Grande se infiere una falla, a pesar de encontrarse cubierta por depósitos morrénicos y aluviales, en la que en cierto tramo se ha observado un alineamiento de fumarolas de actividad, siguiendo un rumbo NW-SE. Además se aprecian algunas pequeñas fallas transversales.

Estas estructuras juegan un papel importante en la deposición de la mineralización de azufre, principalmente en la morrena del fondo, ya que sirven como vía de escape para los gases.





**LEYENDA**

Coluvial	co
Aluvial	al
Morrena	Lateral ml
	Fondo mf
Volcanico Barroso	VBa

**SIMBOLOS**

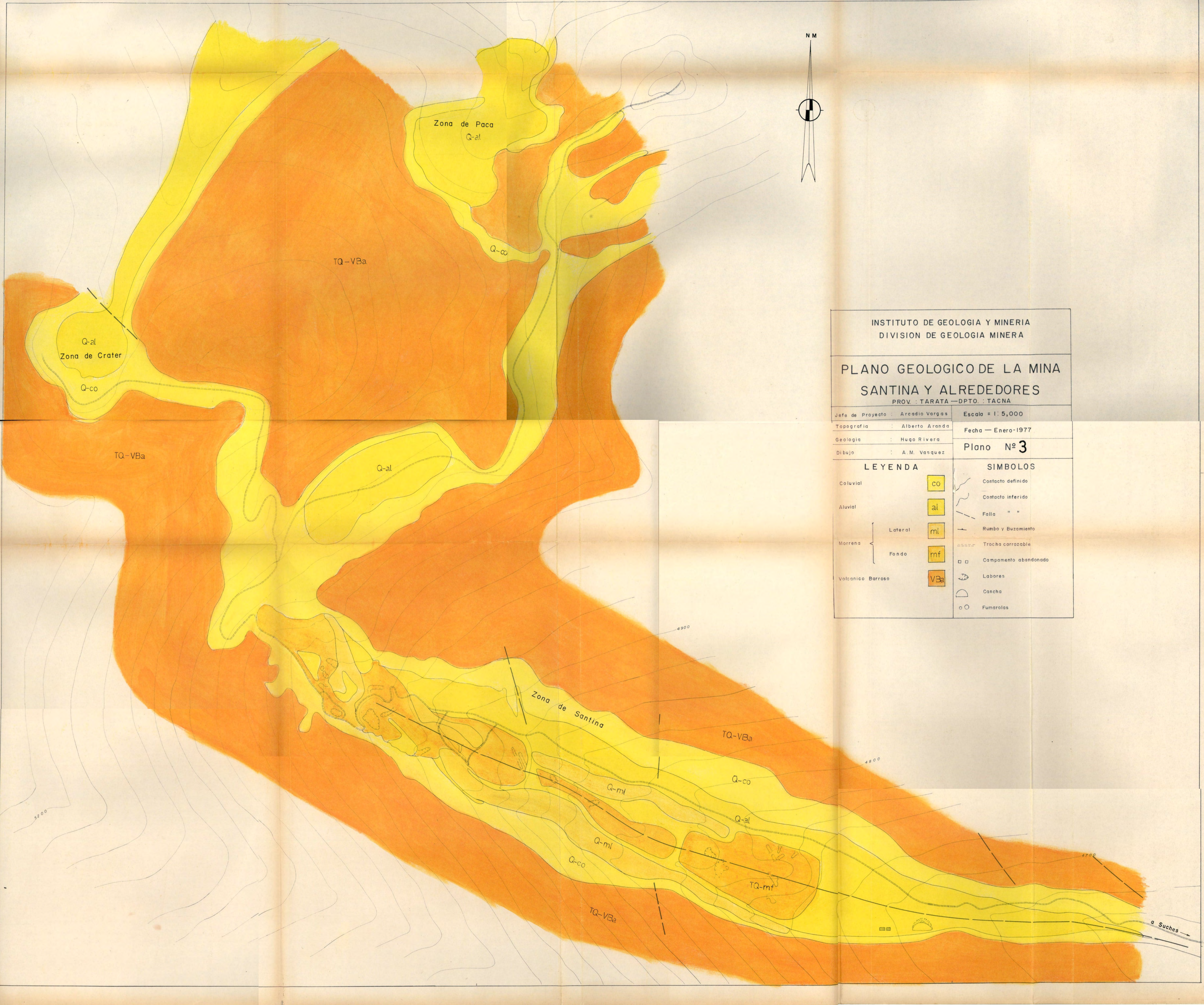
	Contacto definido
	Contacto inferido
	Falla " "
	Rumbo y Buzamiento
	Trocha carrozable
	Campamento abandonado
	Labores
	Cancha

**INSTITUTO DE GEOLOGIA Y MINERIA**  
 DIVISION DE GEOLOGIA MINERA

**PLANO GEOLOGICO DE LA MINA**  
**SANTINA-VOLCAN TUTUPACA**

PROV. : TARATA — DPTO. : TACNA

Jefe de Proyecto : Arcadio Vargas	Escala = 1: 2,500
Topografia : Alberto Aranda	Fecha — Enero-1977
Geologia : Hugo Rivera	<b>Plano Nº 2</b>
Dibujo : A. M. Vasquez	



INSTITUTO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
DIVISION DE GEOLOGIA MINERA

### PLANO GEOLOGICO DE LA MINA SANTINA Y ALREDEDORES

PROV. : TARATA — DPTO. : TACNA

Jefe de Proyecto : Arcadio Vargas	Escala = 1 : 5,000
Topografía : Alberto Aranda	Fecha — Enero-1977
Geología : Hugo Rivera	Plano N° 3
Dibujo : A. M. Vasquez	

LEYENDA		SIMBOLOS	
Coluvial	co		Contacto definido
Aluvial	al		Contacto inferido
Morrena	Lateral ml		Falla " "
	Fondo mf		Rumbo y Buzamiento
Volcanico Barroso	VBa		Troncha carrozable
			Campamento abandonado
			Labores
			Cancha
			Fumarolas

## IV. GEOLOGIA ECONOMICA DEL YACIMIENTO

### GENERALIDADES

La mayor parte del azufre empleado actualmente en el mundo proviene de yacimientos que lo contienen al estado natural sea de origen volcánico o sedimentario.

Los yacimientos volcánicos se encuentran asociados a cráteres, laderas y fumarolas del volcán. Su origen se interpreta como consecuencia de la actividad de los gases emanados durante o después de las erupciones y/o reacciones químicas con el oxígeno de la atmósfera. En nuestro país se conocen yacimientos de origen volcánico relacionados a la Cadena Volcánica del Sur.

La explotación se realiza por métodos tradicionales de laboreo subterráneo y de tajo abierto. La refinación ha seguido métodos o procesos diferentes, no sólo buscando la mayor recuperación y mejor ley, sino también costos de operación más bajos basándose en que el azufre se funde fácilmente por acción del calor.

### MINERALIZACION DE AZUFRE EN SANTINA

Los depósitos de azufre de la mina Santina y alrededores del volcán Tutupaca, son numerosos y erráticos pudiendo denominarlos como "solfataras" Son de carácter superficial y de pequeña magnitud y tienen su origen en las emanaciones gaseosas producidas durante o después de las erupciones volcánicas. El azufre es depositado como un sublimado mezclado con cenizas volcánicas porosas y algo compactadas formando el "caliche" con diversas coloraciones entre las cuales sobresale el amarillo mostaza.

Los depósitos de azufre ocurren como :

- a) Bancos.- Se forma como consecuencia de la deposición del azufre embebido en cenizas y rocas volcánicas porosas, sobre superficies de poca inclinación, se ubica principalmente en una depresión de la parte alta de la quebrada Azufre Grande, denominada "Azufre Crater 2<sup>ta</sup>". Sus dimensiones son 116 m. de largo, 50 m. de ancho y 14 m. de potencia con leyes en cuatro muestras de 36.59 %, 3.75 %, 27.87 % y 27.73 % de S.
- b) Lentes .- Se encuentran principalmente en la mina Santina, Paca y se depositan en la morrena de fondo y en cenizas volcánicas porosas. Probablemente se forman debido a que la falla Azufre Grande, que está cubierta por los depósitos morrénicos y aluviales, sirvió como vía para la circulación de los gases cargados de azufre que rellenaron cavidades existentes.

- c) Impregnaciones. - Principalmente se encuentran en la morrena de fondo donde circularon los gases manchando las cenizas y rocas porosas, debido principalmente a que el movimiento es mayor que la deposición por lo que sus leyes son muy bajas en azufre y este elemento se encuentra en forma diseminada.
- d) Reventones .- Son acumulaciones de azufre (caliche) superficiales y de forma elíptica siguiendo un alineamiento. Se encuentran principalmente en el área denominada "Azufre Crater 1" con leyes en dos muestras de 38.85 % y 42.14 % de azufre. En la morrena de fondo alcanzan leyes de alrededor de 4 % de azufre.
- e) Fisuras. - Se deposita principalmente alrededor y muy cerca de las fumarolas extinguidas, en las fisuras existentes y en forma cristalizada, asociada con sílice coloidal y algunas sales. Se encuentran mayormente en los volcánicos Barroso de la ladera izquierda de la quebrada.

De todos los depósitos mencionados, las que predominan son las del tipo de lentes e impregnaciones, ubicados dispersa y erráticamente, por lo que su correlación es difícil de establecer (Ver plano N<sup>o</sup> 4)

#### MUESTREO Y LEYES

El muestreo de los depósitos de "caliche" se realizó en : a) Trincheras existentes y b) en huecos de 1 a 1.5 m. de profundidad realizados durante los trabajos.

Debido a que los depósitos tienen una distribución discontinua, es decir que no siguen un patrón definido de deposición, algunas excavaciones resultaron en material estéril, principalmente en las morrenas laterales, lo que indica que la deposición se efectuó solo en la morrena de fondo, en la cual se observan predominantes los diferentes tipos de depósitos.

En la zona Santina se recolectaron 32 muestras, de las cuales 19 corresponden a lentes con una ley promedio de 36.19 % de S, y 13 corresponden a impregnaciones con una ley promedio de 4.13 % de S. En afloramientos volcánicos se tomaron 5 muestras que corresponden a depósitos de relleno de fisuras con una ley promedio de 46.15 % de S. En las canchas de fundición antiguas se tomaron 5 muestras que arrojaron una ley promedio de 38.95 % de S.

En la zona de crater se tomaron 6 muestras, cuatro (4) pertenecen a Azufre Crater 2 que corresponden a un banco de caliche con ley promedio de 29.03 % de S y dos (2) a Azufre Crater 1 correspondiente a "reventones" con una ley promedio de 39.86 % S.



- SIMBOLOS
-  Bancos
  -  Lentas
  -  Reventones
  -  Impregnaciones
  -  Fumarolas
  -  Trocha carrozable

INSTITUTO DE GEOLOGIA Y MINERIA DIVISION DE GEOLOGIA MINERA	
<b>PLANO DE MINERALIZACION DE LA MINA SANTINA Y ALREDEDORES</b>	
PROV. : TARATA - DPTO. : TACNA	
Jefe de Proyecto : Arcadio Vargas	Escala = 1 : 5,000
Topografia : Alberto Aranda	Fecha : Abril - 1977
Geologia : Hugo Rivera	
Dibujo : A. M. Vasquez	PLANO N° 4

a Suches

En la zona de Paca se recolectaron 10 muestras, de las cuales 8 arrojaron leyes menores de 1 % de S y dos con 51.8 % y 31.2 % , que coinciden con pequeños lentes de caliche ya explotados.

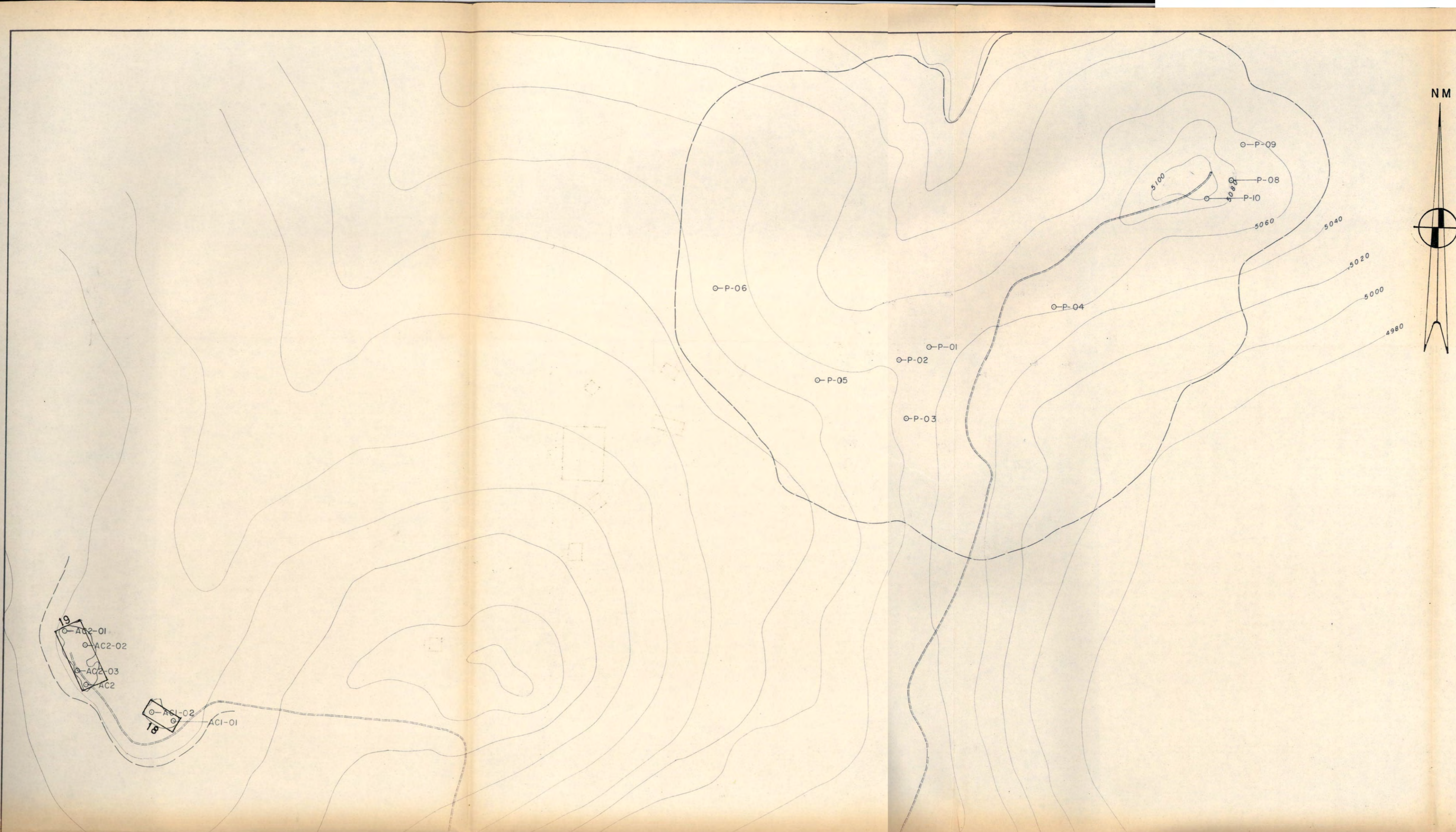
En la cancha de la Planta de Refinación , en el campamento de Arañane, se obtuvieron 3 muestras del material escogido de mina que luego será refinado, arrojando valores de 44.41 % , 46.46 % y 28.98 % con una ley promedio de 39.95 % de azufre.

Se realizaron 4 compósitos (de 10 muestras c/uno) que arrojaron leyes de 29.65 % , 12.10 % , 29.18 % y 34.77 % de azufre, también se realizaron análisis de despistaje de selenio y litio que arrojaron valores de 0 % , todas estas muestras se analizaron en los laboratorios del INGEOMIN. Ver planos de muestreo y leyes N° 5

#### ORIGEN DE LA MINERALIZACION

El yacimiento de Santina es de origen volcánico y su formación probablemente tuvo la siguiente secuencia:

- 1.- Erupción y formación de mantos de caliche en depresiones y laderas de poca pendiente.
- 2.- Avance de morrenas, cubriendo la falla Azufre Grande y subsidiarias.
- 3.- Continuación de las emanaciones de gases, depositando el azufre en forma de lentes, y simultáneo avance de las morrenas, en las cuales se producen sólo impregnaciones de azufre, ya que la velocidad de avance de las morrenas, fue mayor que la velocidad de deposición del azufre.
- 4.- Extinción de algunas fumarolas que dieron origen al azufre cristalizado que rellena fisuras y rocas porosas.
- 5.- Erosión
- 6.- Continuación de la actividad volcánica en los tiempos actuales con la existencia de fumarolas a lo largo de la falla Azufre Grande, que expelen vapores de  $H_2O$ ,  $SH_2$  , pero sin precipitaciones de azufre alrededor de sus conos, lo que indica que la actividad formadora de azufre está en extinción.



INSTITUTO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
DIVISION DE GEOLOGIA MINERA

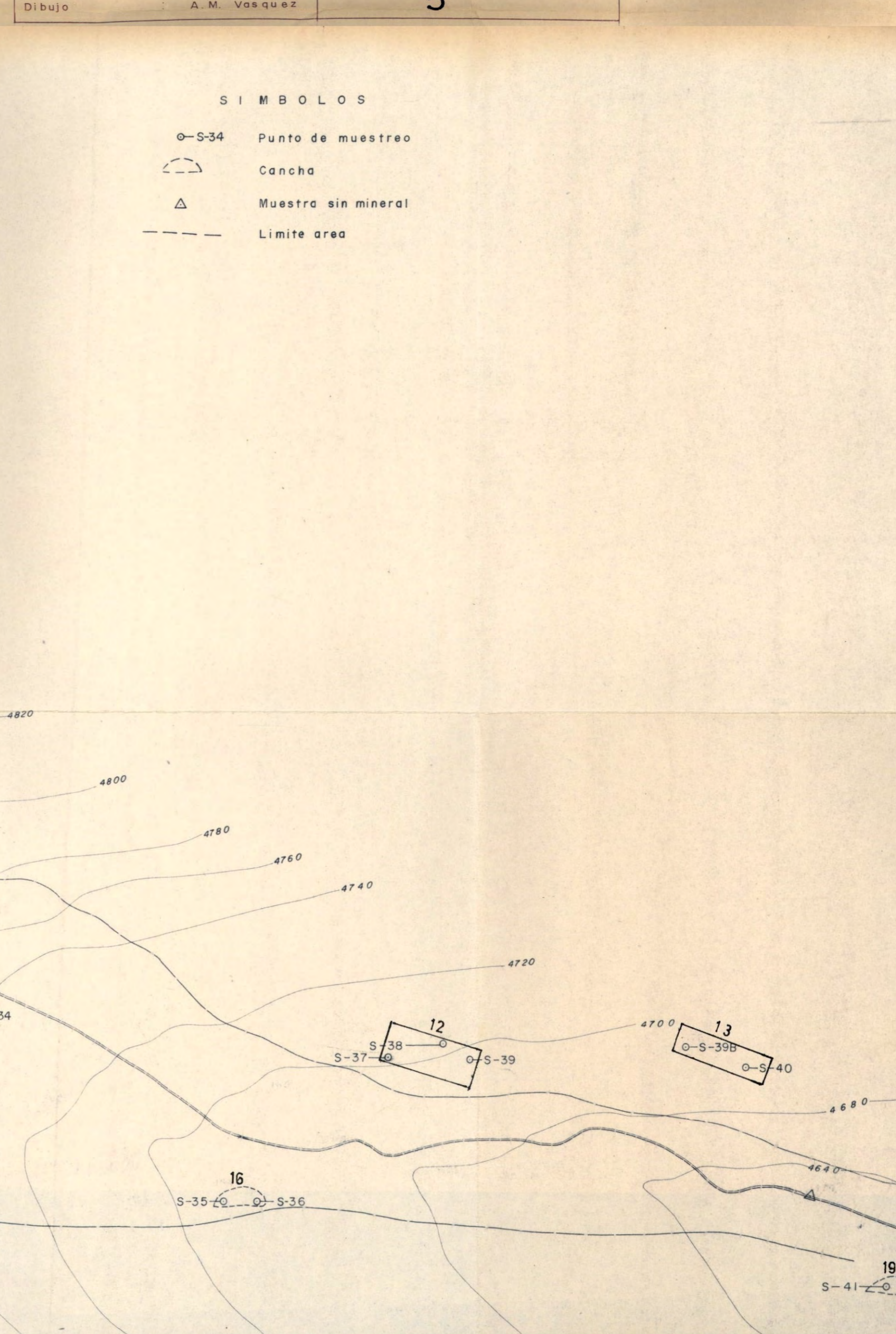
**PLANO DE MUESTREO DE LA MINA  
SANTINA Y ALREDEDORES**

PROV. TARATA - DPTO. TACNA

Jefe de Proyecto : Arcadio Vargas	Escala = 1: 5,000
Topografía : Alberto Aranda	Fecha - Enero-1977
Geología : Hugo Rivera	<b>5</b>
Dibujo : A. M. Vasquez	



- S I M B O L O S
- S-34 Punto de muestreo
  - ▭ Cancha
  - △ Muestra sin mineral
  - - - Limite area



### Controles de la Mineralización

Las manifestaciones de azufre en la mina Santina y alrededores como se ha explicado anteriormente, se presenta básicamente en forma errática y discontinua, sin embargo se ha podido determinar dos controles de mineralización, uno estructural y otro litológico.

- a) Control Estructural. - Las manifestaciones de azufre probablemente asociadas a la falla Azufre Grande y otras secundarias, se presentan en forma de reventones e impregnaciones. Es fácil detectarlos por su alineamiento coincidente con el de las fallas y fracturas, tal como se observa en las fumarolas activas y apagadas en Santina.
- b) Control Litológico. - Notable principalmente en la morrena de fondo, en las que se ha depositado azufre en forma de lentes e impregnaciones; y en los volcánicos Barroso en forma de bancos y en fisuras con azufre cristalizado.

### RESERVAS

Para los efectos del cálculo de reservas del yacimiento de Santina y alrededores, se han tomado las siguientes consideraciones:

- 1.- En la zona Santina los depósitos son principalmente del tipo lenticular o impregnaciones distribuidas erráticamente.
- 2.- En esta zona solo se dimensionaron los depósitos descubiertos por trincheras y excavaciones en las que se efectuó el muestreo.
- 3.- En la zona de Cráter (1 y 2), los depósitos de azufre están mejor expuestos y son más definidos por lo que se pudo tomar directamente sus dimensiones para el cálculo de reservas lo mismo que para los depósitos que ocurren en el volcánico Barroso.
- 4.- Por factor de seguridad se ha castigado el tonelaje en 20 % en el total de cada zona.



MINERALIZACION PROBADA - PROBABLE

ZONA SANTINA

MORRENA DE FONDO

<u>BLOCK N°</u>	<u>TIPO</u>	<u>TON METRICAS</u>	<u>LEYES</u>
1	Lente	5.00	65.21 %
2	"	9.00	29.67
3	"	48.00	36.37
4	"	2.00	27.23
5	"	6.00	43.92
6	"	11.00	18.68
7	"	3.00	18.42
8	"	2.00	16.94
9	"	19.00	26.95
10	"	4.00	26.60
11	"	61.00	42.15
		<u>170.00</u> T.M.	<u>36.19 %</u>
	Factor de Seguridad	40.00	
		<u>130.00</u> T.M.	<u>36.19 %</u>

VOLCANICO BARROSO

12	Relleno Fisura	15,525.00	43.64
13	"	13,125.00	49.13
		<u>28,650.00</u> T.M.	<u>46.15 %</u>
	Factor de Seguridad	5,750.00	
		<u>22,900</u> T.M.	<u>46.15 %</u>

CANCHAS ANTIGUAS

14	Cancha	30.00	34.15
15	"	12.00	29.12
16	"	12,858.00	31.73
17	"	8,000.00	50.59
		<u>20,900.00</u> T.M.	<u>38.95 %</u>
	Factor de Seguridad	4,180.00	
		<u>16,720.00</u> T.M.	<u>38.95 %</u>

## ZONA DE CRATER

### AZUFRE CRATER 1

<u>BLOCK N°</u>	<u>TIPO</u>	<u>TON. METRICAS</u>	<u>LEYES</u>
18	Reventones	188 .00	39.86 %
	Factor de Seguridad	38	
		<u>150.00 T.M.</u>	<u>39.86 %</u>

### AZUFRE CRATER 2

19	Banco	12,000.00	29.03 %
	Factor de seguridad	2,400.00	
		<u>9,600.00 T.M.</u>	<u>29.03 %</u>

## RESUMEN

### RESERVAS PROBADAS- PROBABLES SEGUN ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

	<u>TON. METRICAS</u>	<u>LEYES</u>
- Lentes	170 T.M.	36.19 %
- Relleno de fisuras	28,650	46.15
- Reventones	188	39.86
- Bancos	12,000	29.03
- Canchas antiguas	20,900	38.95
	<u>61,908</u>	<u>40.35 %</u>
Factor de seguridad	<u>12,408</u>	
TOTALES	49,500 T.M.	40.35 %

## RESERVAS PROBADAS-PROBABLES POR ZONAS

### ZONA SANTINA

Estructuras	28,820 T.M.	46.09 %
Canchas Antiguas	20,900	38.95
Sub Total	<u>49,720 T.M.</u>	<u>43.09 %</u>

### ZONA CRATER

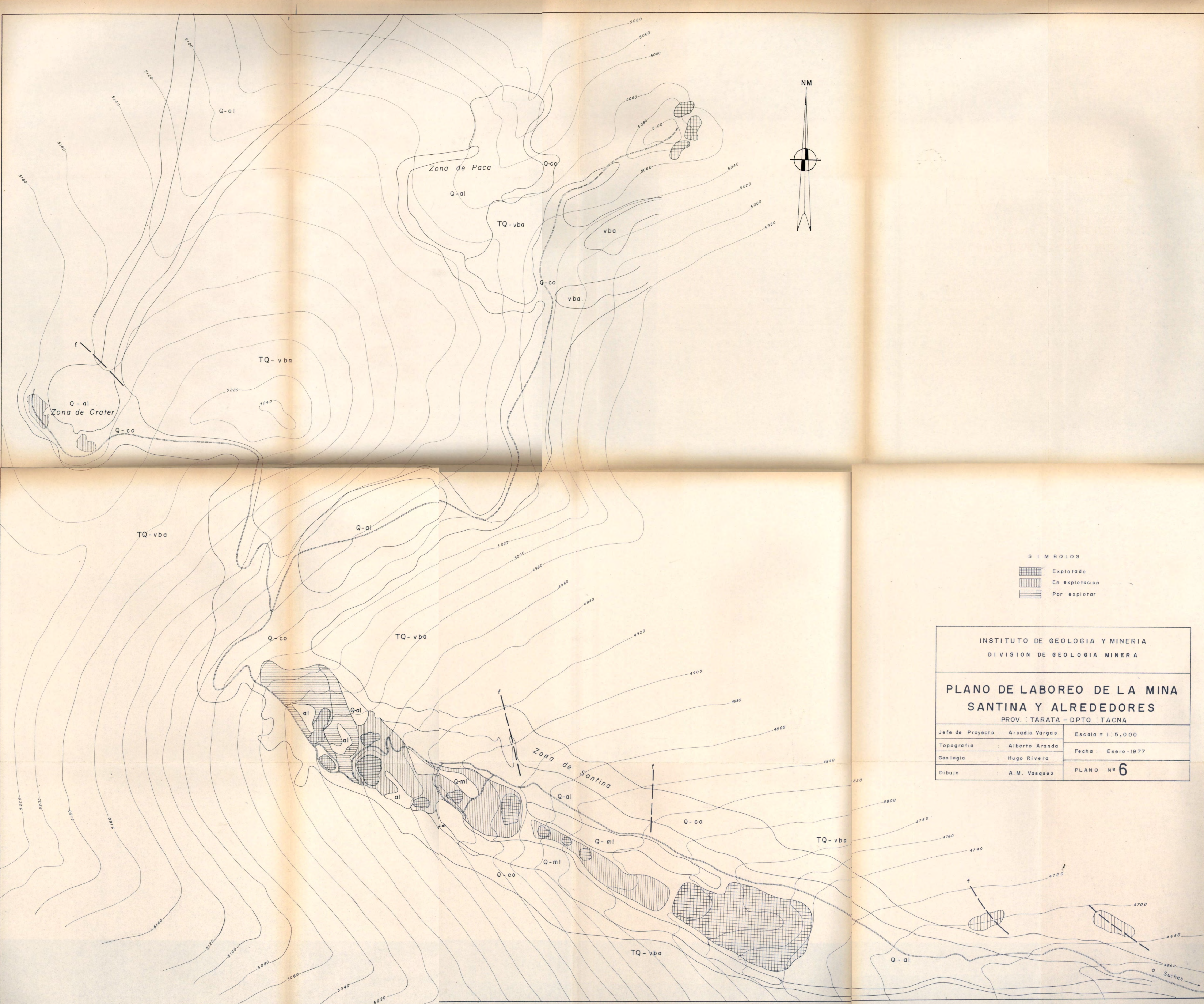
Crater 1	188 T.M.	39.86 %
Crater 2	12,000	29.03
Sub Total	<u>12,188 T.M.</u>	<u>29.19 %</u>
TOTALES	61,908 T.M.	40.35 %
Factor de Seguridad	12,408	
	<u>49,500 T.M.</u>	<u>40.35 %</u>

### RESERVAS PROSPECTIVAS

Para estimar la reserva prospectiva de la mina Santina, se calculó el volumen total del material morrénico, ceniza y "caliche" de la morrena y afloramientos volcánicos que contienen mineral.

De este total se dedujo el volumen de material removido y explotado en años anteriores y las reservas probadas-probables obteniéndose una reserva prospectiva del orden de 42,000 T.M. de "caliche" con una ley aproximada de 40 % de azufre que se distribuye en :

Zona Santina	30,000 T.M.
Zona de Cráter	12,000 T.M.



- S I M B O L O S
- Explotado
  - En explotacion
  - Por explotar

INSTITUTO DE GEOLOGIA Y MINERIA DIVISION DE GEOLOGIA MINERA	
<b>PLANO DE LABOREO DE LA MINA          SANTINA Y ALREDEDORES</b> PROV. : TARATA - DPTO. : TACNA	
Jefe de Proyecto : Arcadio Vargas	Escala = 1 : 5,000
Topografia : Alberto Aranda	Fecha : Enero - 1977
Geologia : Hugo Rivera	<b>PLANO N° 6</b>
Dibujo : A. M. Vasquez	

## V. TECNOLOGIA

### PREPARACION Y EXTRACCION DEL MINERAL

La extracción del mineral se realiza a "cielo abierto", la operación se inicia con la limpieza de la cobertura de cenizas y material morrénico con trincheras de dimensiones variadas hasta encontrar las estructuras mineralizadas utilizando un tractor y un cargador frontal de 1 yarda cúbica, luego se extrae el "caliche" manualmente escogándose el más limpio y el de mejor ley apreciada a simple vista el cual luego es transportado en un camión a la planta de refinación, como puede verse, se emplea un laboreo empírico (busconeo) debido a que las estructuras son erráticas.

El material removido es arrojado a los lados de las trincheras acumulándolo sobre áreas con posibilidades mineras creando problemas para labores futuras.

No hay un planeamiento técnico de la exploración, preparación o desarrollo de la mina, tanto para realizar el trabajo progresivo de limpieza de la cobertura estéril, como para la extracción del mineral.

En la actualidad se extrae por este método aproximadamente 25 TM de "caliche" por día, con una ley aproximada de 40 % de S.

### PROCESO DE REFINACION

El proceso de refinación de azufre se realiza por el sistema de autoclaves.

El mineral proveniente del yacimiento es reducido a fragmentos de aproximadamente 3 pulgadas de diámetro, que ingresa al Autoclave por un alimentador que se encuentra en la parte superior.

El Autoclave está revestido interiormente por una capa de cemento para darle mayor vida a las superficies de fierro del Autoclave debido al ataque del azufre refinado, por la parte inferior circula vapor que proviene de un caldero de 75 lb/pulg<sup>2</sup> de presión y a una temperatura de 120° C (punto de fusión del azufre). El vapor circula a través del Autoclave ascendiendo hacia la parte superior siendo el tiempo de fusión del azufre de 1.30 horas. El azufre fundido se recibe en dos cubetas de cemento donde se solidifica y de allí se extrae en trozos para su envase.

La planta de refinación se encuentra en el campamento de Arañane cerca del volcán Yacumani, distante aproximadamente 30 km de la mina Santina,

Se observó que el tamaño del mineral chancado no era uniforme siendo necesario clasificarlo y realizar pruebas para determinar el tamaño apropiado para una mejor acción del vapor de agua.

BALANCE METALURGICO

	<u>KILOS</u>	<u>LEY</u>	<u>CONTENIDO FINO KGs</u>
Mineral	1,400	40 %	560
Refinado	336	99.9 %	336
Escoria	1,064	21.0 %	224
Ratio	: 4.16		
Recuperación	: 60 %		

PERSONAL Y EQUIPO ACTUAL

<u>Explotación</u>	<u>Refinación</u>	<u>Administración</u>
1 Operador cargador frontal	1 Técnico	2 empleados
1 Tractorista	1 Mecánico	
2 Choferes	4 ayudantes	
1 Capataz		
8 Peones		
Total : 21 hombres		

EQUIPO MECANICO

1 Tractor FIAT  
 1 Cargador frontal Caterpillar  
 2 Camiones volquetes  
 1 Camión cisterna  
 2 Camionetas Pick-up  
 1 Autoclave de 15 Ton.  
 1 Autoclave de 10 Ton.  
 1 Caldero

## VI. ESTUDIO ECONOMICO

### COSTO DE OPERACION DIARIA ACTUAL

Teniendo en cuenta que se extrae 25 toneladas de mineral de cabeza por día, con una ley aproximada de 40 % de azufre y un tratamiento de refinación con 60 % de recuperación y un ratio de 4.16; se obtiene 6 toneladas métricas de azufre refinado de 99.99 % La estimación de los costos se efectua en base de datos extraoficiales, debido a que no fue posible obtener datos o los libros contables de la mina.

Los costos para tratar las 25 T.M. de mineral de "caliche" al día son :

*	Jomales	S/.8,465.00
	Insumos y combustible	7,500.00
	Refinación	1,300.00
	Ensacado	4,800.00
**	Flote Mina-Lima (6 TM de S) = 23m <sup>3</sup>	18,000.00 - 8/10 25 TM
	Depreciación	4,668.00
	Gastos Generales	<u>2,415.00</u>
	 Total Gasto Diario	 S/.47,148.00

$$\text{Costo por T.M. de azufre refinado puesto en Lima} = \frac{\text{S/.47,148}}{6} = \text{S/.7,858.00}$$

### VALORIZACION DEL MINERAL

a) El costo para tratar una TM. de mineral de mina "caliche" sería :

$$\text{Costo TM "caliche"} = \frac{\text{S/.47,148}}{25} = \text{S/.1,886}$$

b) Precio FOB de una TM de azufre importado de 99.99 % es de U.S. \$ 61.00 o sea S/.12,627 al cambio del dólar importado de S/.207.00

c) La relación de concentración del <sup>certificado</sup> "caliche" y el azufre refinado es de 4.16, el valor de una T.M. de "caliche" será

$$\text{Valor TM "caliche"} = \frac{\text{S/.12,627}}{4.16} = \text{S/.3,035.00}$$

d) Renta bruta por TM de "caliche" ∴ S/.1,149.00

### VALORIZACION DE LAS RESERVAS

Considerando que las reservas probadas-probables son del orden de 49,500 TM de "caliche" con una ley aproximada de 40 % de S con un valor por TM de mineral de \$/3,035.00, el valor de las reservas del orden de \$/150'000,000.

Los costos de producción de \$/1,886.00 por TM de "caliche" arroja un gasto global para el total de las reservas del orden de \$/93'000,000.

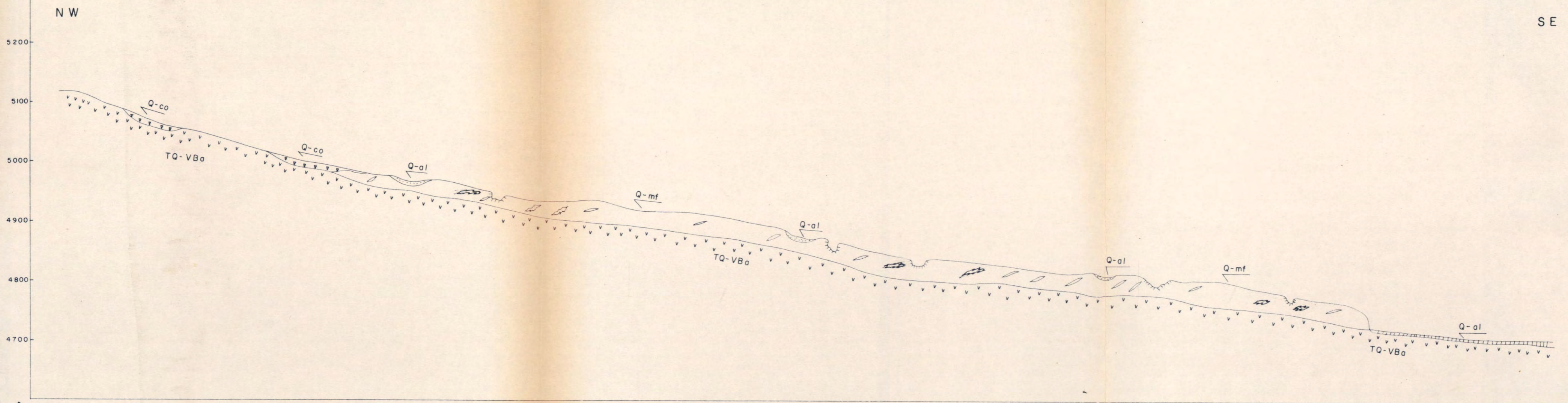
Teniendo en cuenta el valor y costo de estas reservas arroja una renta bruta del orden de \$/57'000,000.

Estas consideraciones significan que la explotación del yacimiento genera una renta bruta que permite seguir operando el yacimiento de manera económica, pudiendo aumentarse su renta bruta si se mejora el sistema de explotación, tratamiento del mineral como se está recomendando.



REFERENCIAS

- Antunez M. María
- Estudio de posibilidades de los yacimientos de azufre de Cía Minera Yucamani S.A. Informe Privado - M E M
- Castilla, Rolando
- Los depósitos de azufre del departamento de Tacna. Bol. Soc. Geológica del Perú. 46 - 1975
- Pool, Alberto
- Yacimientos de azufre del Perú  
Trabajos Técnicos XII I Convención de Ing. de Minas - 1976
- Vargas, Arcadio
- Geología Minera del departamento de Tacna, Bol. Soc. Geológica del Perú Tomo 46, 1975



A

A'

<p><b>LEYENDA</b></p> <p>Coluvial <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q-co</span></p> <p>Aluvial <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q-al</span></p> <p>Morrena de fondo <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q-mf</span></p> <p>Volcanicos Barroso <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">TQ-VBa</span></p>	<p><b>INSTITUTO DE GEOLOGIA Y MINERIA</b></p> <p>DIVISION DE GEOLOGIA MINERA</p>							
<p><b>SIMBOLOS</b></p> <p><u>Mineralización de Azufre</u></p> <p> Lentes</p> <p> Impregnaciones</p> <p> Labores</p>	<p><b>SECCION LONGITUDINAL</b></p> <p><b>DE LA MINA DE AZUFRE DE SANTINA</b></p>							
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Jefe de Proyecto : Arcadio Vargas</td> <td style="width: 40%;">Escala <math>\frac{V}{H}</math> : 1:5,000</td> </tr> <tr> <td>Topografía : Alberto Aranda</td> <td>Fecha : Junio-1977</td> </tr> <tr> <td>Geología : Hugo Rivera</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">PLANO N°: 7</td> </tr> <tr> <td>Dibujo : A.M.Vásquez</td> </tr> </table>	Jefe de Proyecto : Arcadio Vargas	Escala $\frac{V}{H}$ : 1:5,000	Topografía : Alberto Aranda	Fecha : Junio-1977	Geología : Hugo Rivera	PLANO N°: 7	Dibujo : A.M.Vásquez
Jefe de Proyecto : Arcadio Vargas	Escala $\frac{V}{H}$ : 1:5,000							
Topografía : Alberto Aranda	Fecha : Junio-1977							
Geología : Hugo Rivera	PLANO N°: 7							
Dibujo : A.M.Vásquez								