



ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEOS

"ESTUDIO DE LAS TOBAS AZUFRADAS DEL VOLCAN NEVADO DEL CHILES"

b

TESIS DE GRADO  
PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:  
INGENIERO EN GEOLOGIA Y MINAS

PRESENTADO POR:  
ALFREDO RAUL TORRES ROBALINO

GUAYAQUIL-ECUADOR  
1,932

## AGRADECIMIENTO

El autor **del** presente trabajo agradece la colaboración desinteresada del Ministerio de Minas y Energía de Colombia y en especial del personal de la Zona Minera de Pasto.

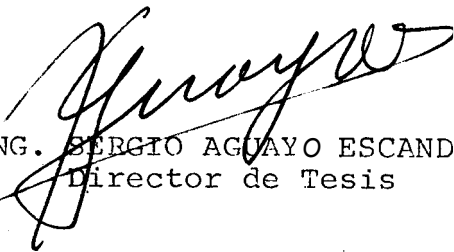
Agradecimiento especial para los doctores: JAIME YEPEZ M., JORGE GONZALEZ R., JORGE AVELLA S., JORGE PEREZ S. y LUIS PABLO MONTENEGRO.

La ayuda decidida de GEOMINEX S.A. por intermedio de su Gerente General Ing. Celiano Almeida D. y Subgerente técnico Ing. Walter Pico L., fué vital **en** la realización de la presente tesis de grado.

Un reconocimiento especial al **Director** de Tesis, Ing. Sergio Aguayo E., y al Ing. Gabriel Colmont.

## III. DEDICATORIA

- A la memoria de mi madre idolatrada espíritu de coraje, fé viva y sacrificio, quién en mí depositó ese afán de lucha y superación.
- A mi querida esposa e hijos, símbolos de una nueva etapa.



ING. SERGIO AGUAYO ESCANDON  
Director de Tesis

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente, y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

  
~~ALFREDO RAÚL TORRES ROBALINO~~

## RESUMEN

El Chiles es uno de los volcanes activos del grupo pleistocénico del conjunto Yanahurco, Cumbal, Azufral en la Cordillera Occidental que cruza el Departamento de Nariño (Colombia) y la Provincia del Carchi (Ecuador).

El Cono superior del volcán está constituido por lavas andesíticas, bombas, lapillis y brechas; y, el inferior, por tallas de andesita, dacita y basalto.

Los estudios de los afloramientos y perforaciones de "Río Nasates", revelaron datos importantes sobre los depósitos de azufre, potencia y magnitud del área mineralizada.

Genéticamente los yacimientos que arman en las rocas porosas de tobas andesíticas; se han formado ya sea por impregnación ó diseminación, sublimación o por flujo fundido. Los más importantes se han originado por los dos primeros procesos.

En el depósito "Río Nasates", que es de tipo diseminación, se ha probado más de cuatro millones de toneladas de tobás azufradas, de un tenor promedio de 20% de azufre.

Se recomienda llevar a cabo la explotación a ciclo abierto y la compañía que haga la inversión debe tomar como una actividad importante la exploración para incrementar las re-

## VII

'cervas que se estimó como posible.

Aunque el mercado de azufre en Colombia lo tiene copado Industrias Puracé S.A., desde hace dos años la producción de esta compañía es insuficiente para abastecer el consumo colombiano y tomando en cuenta que también el Ecuador ha incrementado el consumo de azufre, el presente trabajo puede servir de base para la creación de una empresa colombo-ecuatoriana que se dedique a la explotación de las tobas azufradas del volcán nevado del Chiles.

# INDICE GENERAL

	Pdg .
RESUMEN	VII
INDICE GENERAL	IX
INDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE MAPAS	XII
INTRODUCCION	1
I. GEOGRAFIA	11
1.1. Relieve y altitudes	11
1.2. Topografía e hidrografía	11
1.3. Clima	13
1.4. Recursos naturales y productos	14
1.5. Recursos humanos	15
11. GEOLOGIA	16
2.1. Estratigrafía	16
2.1.1. Basalto	16
2.1.2. Lava andesítica de enfriamiento lento.	17
2.1.3. Andesita	18
2.1.4. Tobas y brechas azufradas.	21
2.1.5. Brechas y aglomerados volcánicos.	22
2.1.6. Aluviones y material de talud.	23
2.2. Estructura	23



	Pág.
2.3. Geología Histórica	26
<b>111. YACIMIENTOS</b>	
3.1. Generalidades	29
3.1.1. Propiedades físicas	29
3.1.2. Propiedades químicas	29
3.1.3. Tipos de azufre	30
3.1.4. Estado natural y origen	31
3.1.5. Producción y empleo	33
3.2. Situación, forma, tamaño y estructura de los depósitos.	36
3.2.1. Río Nasates	37
3.2.2. Cerro Oreja	39
3.2.3. Laguna Verde	39
3.2.4. Agua Hedionda, Corral de Mulas, Agua Caliente y Quebrada Piandora	39
3.3. Mineralización	39
3.4. Controles de la mineralización	41
3.5. Cobertura y condiciones hidrológicas	42
3.6. Distribución de los valores	43
3.7. Cálculo de reservas	44
<b>IV. BENEFICIO</b>	<b>48</b>
4.1. Análisis iniciales	48

	<b>Pág.</b>
4.2. Ensayos de flotación	<b>49</b>
4.2.1. Observaciones a estas pruebas.	52
4.2.2. Ensayo a tamaño piloto	54
V. CONSIDERACIONES ECONOMICAS	56
5.1. Consumo de azufre en el Ecua- dor.	<b>56</b>
5.2. Evaluación económica	59
5.2.1. <i>Costos</i> de exploración	59
5.2.2. Programa de desarrollo de la Mina	59
5.2.2.1. Evaluación eco- nómica mensual	<b>61</b>
5.2.2.2. Determinación del valor pre- sente.	<b>63</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
APENDICES	67
BIBLIOGRAFIA	127

## INDICE DE TABLAS

1. Areas **bajo** la curva normal tipifi-  
**cada** de 0 a Z.

II. **Valor** presente de \$ 1 debido a n años  
**a** los porcentajes de interés compues-  
to.

# INTRODUCCION

## 1. OBJETO DE LA INVESTIGACION

Desde hace más de tres décadas atrás, ya se tenía conocimiento de la existencia de azufre en la región del nevado volcán del Chiles y algunos negociantes e inversionistas incursionaron en esta área; como conclusión tenemos que se gastaron ingentes cantidades de dinero y el resultado investigativo fue negativo.

Aunque el gobierno del Ecuador en 1966 tomó cartas en el asunto, con todo no puso mayor interés y continuidad en el estudio y todo quedó en el olvido, hasta la actualidad.

Teniendo en cuenta el auge industrial del ácido sulfúrico y el azufre mismo, el gobierno de Colombia inició estudios continuos desde 1967, y a pesar de que el mercado nacional del azufre lo tenía abastecido con la producción de Puracé, la idea principal fue el de encontrar un yacimiento de azufre que sea económicamente explotable y así promover el desarrollo económico y social, no sólo del lado colombiano, sino dentro de la Integración Colombo-Ecuatoriana.

En la actualidad, aunque la planta de Industrias

Puracé ha incrementado su capacidad de producción, el mercado colombiano no está plenamente cubierto por el azufre producido en Puracé, esto se explica por el desarrollo industrial que ha tenido Colombia en la última década, refiriéndonos a las industrias que emplean como materia prima el azufre y derivados de él como el ácido sulfúrico. Podemos agregar a este punto la disminución de producción en las plantas refinadoras de petróleo, debido a que el azufre extraído de esta manera, resulta antieconómico, por el alza mundial que tuvo el petróleo desde el año de 1973.

## 2. LOCALIZACION DE LA ZONA ESTUDIADA Y VIAS DE COMUNICACION

El volcán nevado del Chiles pertenece a una serie de volcanes del norte del Ecuador y del Sur de Colombia y se encuentra como eje central de la zona sobre la cual trata el presente trabajo.

El área estudiada, está localizada, de acuerdo a la hoja N<sup>o</sup> 13-XVII del mapa topográfico del Ecuador levantado por el Instituto Geográfico Militar, entre los meridianos 78°00' y 77°52' de longitud oeste y los paralelos 0°47' y 0°52' de latitud norte, en una exten-

si3n aproximada de unos 108 Km<sup>2</sup> de los cuales, 42 Km<sup>2</sup> est1n localizados en la Provincia del Carchi, narraquia de Tufi3o, Ecuador y los 66 km<sup>2</sup> restantes en el Departamento de Nari3o, corregimiento de Chiles, Colombia, entre las cotas 3.200 y 4.700 metros sobre el nivel del mar.

Hay dos carteteras que cruzan el 1rea en menc3n: la que va de Tufi3o a Maldonado (Ecuador) y la de Chiles a Mayasquer (Colombia) y que est1 inconclusa en el Km. 15.

Tomando en cuenta a los centros poblados m1s importantes, tanto en Ecuador como en Colombia, las v1as principales que se utilizan para llegar a los distintos afloramientos de tobas azufradas que m1s inter3s presentan y se encuentran en el 1rea antes indicadas son :

Tulc1n-Tufi3o-Laguna verde	33 Km. carretera lastrada
Tulc1n-Tufi3o-Yacimiento Cerro Oreja	41 Km. carretera lastrada y 5 Km. trazo de ca rretera.
Tulc1n-Tufi3o-Azufre R1o Nasates	31 Km. carretera lastrada

Pasto-Ipiales-Tulcán	86 Km. v <del>e</del> a pavimentada.
Quito-Tulcán	261 Km. v <del>i</del> a pavimentada.
Pasto-Túquerres	
Guachucal-Chiles-Azufre	
Río Nasates.	134 Km. (78 Km. pavimenta- dos) .

### 3. ESTUDIOS ANTERIORES

Son escasos los trabajos geológicos realizados hasta ahora sobre la región noroccidental del Ecuador. Teodoro Wolf en su Geografía del Ecuador, publicada en 1.892, hace mención del Cerro Negro de Mayasquer (Cerro Oreja y Chiles) y que fueron estudiados por primera vez por R. Küch en las colecciones de Reiss Stubel en 1.886. El geólogo alemán Walter Sauer en su Geología del Ecuador, también hace referencia al volcán Chiles.

De la penúltima década hay informes geológicos que mencionan al lugar, éstos han sido promovidos por la Dirección Nacional de Geología y minas del Ecuador. El doctor Hideo Takeda, Experto de Asistencia técnica del Japón, en 1967, realizó un informe, el cual trata de las posibilidades de explotación de las tobas azufradas que se encontraron en Laguna Verde, Santa Marianita (Corral de Mulas) y Cerro Negro (Cerro Oreja); hay

que anotar que este trabajo es demasiado optimista sobre las reservas y calidad de los depósitos anteriormente nombrados:

De los afloramientos y posibilidades del área colombiana hay varios estudios, los cuales enumeramos al final del presente trabajo en bibliografía.

#### 4. METODO DE INVESTIGACION EMPLEADO

##### 4.1. Levantamiento geológico

Para la realización de este estudio, se tomaron como base la hoja topográfica N° 13-XVII del Ecuador, levantada por el Instituto Geográfico Militar, escala 1:25.000; la restitución aerofotogramétrica realizada por la Dirección Nacional de Geología y Minas del Ecuador, escala 1:25.000; un plano del Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia, escala 1:50.000, y un levantamiento a plancheta de la zona mineralizada del Río Nasates, efectuada por la Zona Minera de Pasto, Colombia, escala 1:2.000. En consideración a estos planos, se efectuó un levantamiento geológico del área con recolección de muestras, de las cuales se efectuaron más de treinta secciones delgadas para el correspondiente análisis petrográfico.



#### 4.2. Prospección por piques y trincheras

Una de las labores primeras que se iniciaron luego de la prospección geológica de los distintos afloramientos de tobas azufradas del distrito del volcán nevado del Chiles, fué por medio de piques y trincheras que se hicieron en todos los afloramientos existentes, aunque en mayor número de Laguna Verde, Cerro Oreja, Corral de Mulas y Río Nasates; de éstos los que dieron mejores resultados fueron los de Río Nasates, en total se hicieron once piques.

En Laguna Verde se hicieron más de cincuenta piques, varias trincheras y dieciseis perforaciones de corona de diamante, de resultados negativos.

En Cerro Oreja se realizaron como doce piques y algunas trincheras de resultados satisfactorios, pero por ser el yacimiento de limitadas reservas que hacía antieconómico su explotación, se suspendieron los trabajos de exploración.

En Corral de Mulas se trabajaron alrededor de diez trincheras, las mismas que dieron resultados negativos.

En río Nasates se efectuaron varias trincheras y once piques, los mismos que dieron resultados positivos, por lo cual se programó una red de perforaciones.

#### 4.3. Perforación y Laboreo Subterráneo

Para la perforación se emplearon dos equipos de corona de diamantes, uno marca Longyear N<sup>o</sup>34 de 36 HP y otro más pequeño marca Boyle Bross.

Se programaron cuarenta perforaciones de las cuales se hicieron solamente veinte y dos. A medida que se iba obteniendo resultados de los pozos de perforación, se fué limitando el área, por lo cual no se cumplió con el programa inicial, además hay que anotar que de todos los pozos, solo uno o dos pasaron de los cien metros de profundidad, esto debido a las condiciones desfavorables que presentó el terreno para los sondajes, como prueba de esto se anota que el promedio de recuperación de testigos es de aproximadamente 42% del total de los pozos perforados.

Para obtener mayor información sobre el yacimiento de Río Nasates, se efectuaron tres túneles de exploración: El N<sup>o</sup> 1 (trabajado antes de iniciadas

Las perforaciones), en la cota 3.585 metros, siguiendo una dirección S 28°W, tiene una longitud de 36 metros, una sección transversal de  $2 \times 2\text{m}^2$ , a los treinta metros de avance se hizo un estoque de unos 6 metros hacia el NW, las muestras tomadas de este túnel dieron resultados positivos. El túnel N° 2, en la cota 3.620 metros, trazado con dirección S 63°W, tiene 40 metros de longitud, de sección transversal  $2 \times 1,6\text{ m}^2$ , los resultados exploratorios para azufre fueron negativos. El túnel N° 3, en la cota 3.678 metros, se hizo en dirección S 45°W con sección transversal  $1,4 \times 1,7\text{ m}$  y 90 metros de largo, a los 72 metros de avance se hizo un tambor 6 chimenea ciega de unos 15 metros de alto, inicialmente su objeto fué el de ventilación. En este mismo lugar se realizó una clavada de 5 metros de profundidad. Las muestras tomadas en este túnel dieron resultados muy alagadores, además se pudo constatar el tipo de depositación, la estructura del yacimiento y el espesor del manto.

#### 4.4. Muestreo sistemático

El muestreo sistemático se realizó en los túneles

Nº 1 y Nº 3, cada 5 metros, a lo largo de la sección transversal del túnel, sistema de canalón de un ancho aproximado de 20 cms. por 10 cms. de fondo, el material extraído se cuarteó obteniéndose 2-3 Kg. de muestra para el análisis correspondiente; el muestreo se efectuó en los túneles de adentro hacia afuera.

En los testigos de los pozos perforados, el muestreo sistemático se hizo cada metro, pero solo en las zonas mineralizadas, este muestreo se efectuó de arriba hacia abajo del pozo perforado.

#### 4.5. Análisis químico

Los análisis químicos para azufre, se efectuaron en el laboratorio químico de la zona Minera de Pasto, por el método de sulfuro de carbono, se enviaron más de 50 muestras al laboratorio de la compañía de azufre "Industrias Puracé S.A." - Calí; de estos resultados se comprobó que la diferencia de valores obtenidos en cada uno de **estos** laboratorios es mínima, por lo tanto para el cálculo de reservas se utilizaron los obtenidos en la Zona Minera de **Pasto**.

El análisis petrográfico y elaboración de secciones delgadas se realizó en los laboratorios de la Facultad de Minas de Medellín, Universidad Nacional de Colombia.

#### 4.6. Beneficio

Para obtener información sobre la rentabilidad y método más aconsejable de tratamiento del material del yacimiento de Río Nasates, se hicieron pruebas de beneficio por flotación de las tobas azufradas del túnel N° 3, las mismas que se efectuaron en la planta piloto de la Zona Minera de Pasto.

# I. GEOGRAFIA

## 1.1. RELIEVE Y ALTITUDES

El relieve de la zona está dominado por los conos de los volcanes Chiles (4.743 m.) y Cerro Oreja (4.450 m.) con pendientes muy abruptas y accidentadas, y en menor escala por los cerros Machay, el Púlpito, la Buitrera, las Gradas y Cuevas del Botas, que están por **sobre** los 4.000 metros; la Cresta, Puerta de Piedra, el Portachuelo, el Abra, Tola Alta, por sobre los 3.800 metros y pequeñas elevaciones como la Loma Marianita, el Frijolito, Cerro Hondón, Cerro el Tambo, Monte Redondo y el Panecillo, que son elevaciones de configuración regular y sus alturas varían entre los 3.200 y 3.700 metros sobre el nivel del mar.

## 1.2. TOPOGRAFIA E HIDROGRAFIA

La topografía del lugar está influenciada por su origen volcánico, con pendientes que oscilan entre los 25° y alcanzan hasta más de 60°, conforme va acercándose hacia los conos nevados del Chiles y Cerro Oreja, los riscos son pronunciados, bajo los cuales asoman mesetas de regular extensión y valles alargados de

acuerdo con los lechos de las glaciaciones antiguas.

El drenaje principal de la zona lo conforman cuatro ríos, de los cuales el que más prevalece es el río Nates, que nace en las estribaciones del Cerro Negro y recepta las aguas que bajan de los cerros el Abra, Puerta de Piedra, La Cresta, Tola Alta y Loma Marianita, tiene un regular caudal de unos 500 litros/segundo en invierno y aumenta unas 2/5 partes en los meses de octubre, noviembre y diciembre; atraviesa el depósito de azufre a la altura de los 3.600 metros sobre el nivel del mar, éste se une con el río Chiles a unos doscientos metros al nororiente de la población de Chiles (Colombia), éste desemboca en el río Carchi que corre de oeste a este.

Otra corriente de agua que influye en el drenaje del área es el río Carchi 6 Capote, que nace en las estribaciones del Cerro Yanahurco y recoge las aguas que provienen de los Colorados, Laguna Verde, Cuevas del Botas, etc. con un caudal de agua de unos 600 litros/segundo, desde la población de Tufiño este río es alimentado por el Alumbre o Játiva y desde que nace en Corral de Mulas sirve de línea limítrofe entre Colombia y Ecuador, estos ríos forman el Carchi, que al entrar en territorio colombiano toma el nombre de Guay-

tara, desemboca en el Patía y éste a su vez en el Océano Pacífico.

Los otros dos ríos importantes que corren de este a oeste son el Cainacan, el cual recoge las aguas del Ciliand, estos nacen en las estribaciones del volcán Chiles y Cerro Oreja (Ecuador), y por el lado colombiano tenemos el río Blanco que nace en las faldas de los cerros: Negro, la Buitrera y Chiles. Estos dos ríos anteriormente mencionados se unen a la altura de la población de Mayasquer y forman el río San Juan (Línea fronteriza), que desemboca en el Mira y éste en el Océano Pacífico.

### 1.3. CLIMA

El Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología, tiene una estación pluviométrica en el Municipio de Cumbal, ubicada a  $00^{\circ}49'$  latitud norte y  $77^{\circ}50'$  longitud Oeste, a 3.092 metros de altura **sobre** el nivel del mar, situada en el Corregimiento de Chiles y denominada "Estación Cumbal", a unos 10 Km. al este del yacimiento de Azufre de Río Nasates. Según datos registrados por esta estación, tenemos que los meses de menor precipitación de lluvias (verano) son: junio, julio, agosto y septiembre, y los **meses** de octubre, noviembre, diciembre corresponden a los de **mayor** precipitación pluviométrica (invierno); los meses de mar



zo, abril y mayo se consideran como de invierno moderado. El promedio anual de precipitación pluviométrica es de 895 mm. y el promedio mensual es de 74.6 mm.

La temperatura del medio ambiente fluctúa en el rango de cuatro a doce grados centígrados, de acuerdo a la época del año.

#### 1.4. RECURSOS NATURALES Y PRODUCTOS

El caudal de agua que resulta de la unión de los Ríos Nasatcs, **Chiles** y Carchí, puede ser utilizado para generar energía eléctrica, en caso de instalarse una planta de tratamiento de las tobas azufradas de "Río Nasatcs".

La vegetación original 6 primitiva se reduce principalmente a herbáceas y frailejonec, en zonas reducidas hay arbustos de pequeña estatura, cuya madera puede ser usada para labores mineras subterráneas.

Por bajo de los 3.200 metros de altura, aparecen los cultivos de habas y papas en gran escala y en menor escala, mellocos, ocas, quinua, etc. productos típicos de clima frío; también hay grandes áreas dedicadas a la ganadería bovina y ovina.

### 1.5. RECURSOS HUMANOS

Hay dos poblaciones principales que se encuentran en la zona fronteriza de Ecuador y Colombia, son Tufiño y Chiles respectivamente; sus habitantes viven exclusivamente de la agricultura y la ganadería.

En los trabajos de exploración llevados a cabo, algunos moradores del lugar prestaron su esfuerzo y trabajo, lo cual demuestra que con unos meses de práctica y entrenamiento, pueden ser elementos que rindan en labores mineras subterráneas y a cielo abierto.

## II. GEOLOGIA

### 2.1. ESTRATIGRAFIA

Las rocas típicas del área son extrusivas de origen volcánico, pertenecen al volcanismo del terciario medio, final y principios del cuaternario, formando parte del complejo efusivo explosivo del volcán Chiles; de acuerdo a sus características petrográficas y a su edad, a estas rocas se han clasificado de las más viejas a las más jóvenes de la siguiente forma:

2.1.1. Basalto

2.1.2. Lava andesítica de enfriamiento lento (inner flow)

2.1.3. Andesita

2.1.4. Tobas y brechas azufradas

2.1.5. Brechas y aglomerados volcánicos (rocas piroclásticas).

2.1.6. Aluviones y material de talud

2.1.1. Basalto .- Catalogado como del terciario medio, del volcánico efusivo; presenta un alto índice de coloración, de textura porfirítica, con una matriz pilotaxítica, 6 a veces vitrófira con pequeños microlitos de plagioclasa orientados.

Se presentan fenocristales de plagioclasas con maclas de albita, la plagioclasa es tipo andesina, estos cristales de plagioclasa presentan zona-ción.

Los piroxenos presentes son la augita con cristales subhedrales a anhedrales, incolora y muy frac-turada, extinción 38°- 44°.

El olivino también está presente en menor cantidad en cristales subhedrales, se encuentra fracturado con relleno opaco (metálico) en sus fracturas.

Como minerales accesorios se presentan varios opa-tos, entre magnetita, ilmenita, esfena (fino granu- lar y en polvo).

El derrame basáltico es el segundo cuerpo es im- portancia de la zona de estudio, tanto en exten- sión como en afloramiento, hay tres grandes áreas, una de las cuales es mayor que las otras dos (ver plano geológico).

#### 2.1.2. Lava andesítica de enfriamiento lento (inner flow)

La edad geológica de esta zona está determinada por los últimos derrames de basalto y los primeros de andesita, volcánico efusivo.

La característica principal de esta variedad de andesita es que macroscópicamente parece una diorita, tiene una estructura fluidal de corriente, en ocasiones semeja líneas irregulares de inflexiones de una corriente de movimiento rápido.

Su textura es porfirítica, roca de grano medio a fino; entre los minerales principales están los feldespatos, plagioclasa oligo-andesina, láminas de anfíbol (hornblenda basáltica) como minerales secundarios y también vidrio volcánico y en menor porcentaje cuarzo, como minerales accesorios está la magnetita.

El análisis microscópico da como resultado una andesita hornbléndica, pero de enfriamiento lento.

Este tipo de roca aparece en cuatro sitios característicos, aunque hay afloramientos típicos de andesitas basálticas que corresponde a la zona de contacto de basalto y la andesita.

- 2.1.3. ~~Andesita~~. - Se presenta en la mayoría de los afloramientos, la más típica es la andesita piroxénica con minerales distribuidos así: plagioclasa (An 55-40) 60-70%, piroxenos 12-20%, magnetita 5-8%, hornblenda 2 - 5%, cuarzo subordinado. La

descripción general es: roca de textura porfirítica, siendo la pasta pilotáxica, los fenocristales son plagioclasa de composición variable, normalmente es labradorita (An 52); la plagioclasa de la matriz es, andesina (An 40-45), sus tamaños varían entre 1.5 mm. y 0.2 mm. se puede considerar de 1 mm. La plagioclasa es el mineral más abundante en los fenocristales; los piroxenos restos de hornblenda y olivino (este último escaso) son los otros minerales observados. La hornblenda reemplazada por augita y magnetita; la plagioclasa regularmente maclada según albita, albita-carlsbad, limpia, a veces alterada y zonada.

En las zonas de posible contacto con el basalto, la andesita es propilitizada, la roca presenta claros efectos de propilitización, esto es la alteración de los minerales de la roca a causa de soluciones deutéricas que han originado clorita, óxidos de hierro y albitización de las plagioclasas originales, la textura originalmente pilotáxica (arreglo subparalelo de microlitos de plagioclasa y piroxenos) se halla ahora con una apariencia de intercrecimiento microgranítico en parte con amigdalas. La plagioclasa se presenta en

microcristales mientras que la clorita aparece relleno de amígdalas como alteración en las plagioclasas; hay restos de piroxenos. La magnetita y limonita dan una coloración parduzca a la muestra.

Hacia el noreste y noroeste del Chiles, los afloramientos corresponden a andesita de hornblenda.

A partir de los 4.500 hasta los 4.700 metros de altura en el Chiles, la roca que aflora es de textura porfírica, en parte fluidal (marcada), sea el flujo andesítico más nuevo es una traquiandesita, la propilitización es incipiente, albitización de plagioclasas y alteración de ferromagnesianos; los fenocristales de hasta 3.5 mm. de plagioclasa (andesina), hornblenda café oscura de 1.2 mm. augita en una matriz de microlitos de plagioclasa vidrio café (material criptofelsítico) y augita que presenta una textura fluidal pilotaxítica. Un fenocristal de cuarzo de 1 mm. está presente, así como hornblenda porfírica de hasta 1.2 mm., parcial o totalmente reemplazada por augita y mena de hierro.

En los fenocristales aún **frescos** se encuentran inclusiones de plagioclasa y coronas de reacción de

magnetita y piroxeno; la plagioclasa original parece estar albitizada y sus fenocristales presentan corrosión en sus bordes, así como numerosas inclusiones de vidrio-

Este tipo de roca cubre la mayor parte del área en estudio, aunque se presenta en varios cuerpos, existe uno grande que se caracteriza como uno solo (Volcán Chiles) . . .

- 2.1.4. Tobas y brechas azufradas. - De textura porfirítica con una matriz hipocristalina, de granos muy finos, incoloros y algo fracturados, estos cristales aparecen completamente isotrópicos al cruzar los nícoles, como la mayor parte de la roca y solo se presentan pequeñas áreas con fenocristales de plagioclasas y augitas con débil birrefringencia, indicando que han sufrido desvitrificación. En las fracturas se nota la presencia de alunita.

La toba se presenta en pequeños afloramientos aislados, en "Río Nasates" en forma de manto, en los demás sitios, como lentes y masas; de color blanco a rosado y generalmente con impregnación de azufre, siendo la roca que contiene la mayor parte del mineral de azufre de los yacimientos.



En la mayoría de los afloramientos señalados en el mapa geológico general, se nota que estas tobas y brechas azufradas están por sobre las brechas y aglomerados volcánicos y los aluviones y material de talud, de edad más moderna, esto se debe al fenómeno erosivo que han sufrido estas últimas clases de rocas.

- 2.1.5. Brechas y aglomerados volcánicos (rocas piroclásticas).- La edad de estas rocas se intercala con la de las tobas y brechas azufradas anteriormente descritas, y corresponde a finales del terciario y principios del cuaternario.

Esta clase de rocas está formada por material volcánico de tipo explosivo, bombas, lapilli, cenizas, materiales eyectados por los volcanes Chiles y Cumbal. Parece que las primeras erupciones del Chiles fueron de origen efusivo y posteriormente hubo erupciones de tipo explosivo.

En su mayoría ocupan las partes más bajas que las anteriores y en general los pies de monte.

Estas rocas en conjunto están formadas por cantos de basalto y andesita con cemento de arcilla 6 ceniza volcánica en todas las formas.

2.1.6. Aluviones y material de talud.- Estas provienen de las rocas volcánicas primarias y también de las brechas y tobas, las mismas que al caer en las cuencas de quebradas y ríos se sedimentan - normalmente.

Estas rocas son de edad moderna.

Los materiales plásticos y sedimentarios forman arcillas, limos, arenas, etc., y se presentan - cubriendo las partes bajas y planas, **sobre** todo los valles de los ríos Nasates, Carchi, Cainacdn y Blanco.

## 2.2. ESTRUCTURA

Los derrames lávicos de andesita y basalto tienen una estructura fluidal y en la mayoría de las zonas de contacto sus características estructurales son similares.

El sistema volcánico del Azufra, Cumbal, Chiles, Yanahurco se prolonga hacia el N 40°E, parece que la fractura se encuentra al lado del sistema. En el depósito de Laguna Verde, las fumarolas azufradas se hallan en dirección N 45°W, el de Corral de Mulas está situado hacia el N 45°E del de Laguna Verde, luego se puede deducir que el rumbo de la fractura es N 45°E que es casi paralela a la principal. Sin embargo, las fumarolas

y solfataras de los depósitos de Cerro Oreja y Corral de Mulas tienen una dirección EW, luego debe haber una fractura EW. Entre los depósitos de "Aqua Hedionda" y "Aqua Caliente" la dirección es N 30°W. Aunque el tipo de yacimiento es diferente en su génesis, por ilustración indicamos que la dirección entre el de "Quebrada Piandora" y "Río Nasates" es EW. La ubicación de los depósitos están íntimamente relacionados con las fracturas.

Los diferentes tipos de rocas que afloran en el área presentan las siguientes características estructurales.

Los derrames basálticos se manifiestan en forma columnar o en capas tabulares superpuestas, con un rumbo promedio N 35°W y buzamientos que están alrededor de 10°NE hay espesores de estos derrames que alcanzan a tener hasta treinta metros.

La andesita de enfriamiento lento (inner flow) asoma en capas delgadas tabulares superpuestas, en las zonas de contacto entre el basalto y la andesita, estas capas no pasan de los dos metros de espesor, tienen un rumbo entre N 40°W y N 10°W, con buzamiento 30° y varía hasta 40°SW o sea siguiendo la dirección del flujo lávico andesítico.

Los derrames andesíticos están en forma tabular y a veces en forma columnar, son más cortos y de capas gruesas que los de basalto, alcanzan a los cincuenta metros de espesor, regionalmente los rasgos estructurales son muy variables, su rumbo fluctúa entre N 15°E, hasta un N 70°E, con buzamiento promedio de 50°SW, a veces presentan una fractura que hace juego con la dirección original que es de N 60°W.

Las tobas y brechas azufradas están en forma de mantos de lentes y masas . En "Río Nasates" el manto tiene un rumbo de N 45°30' W y buzamiento de 19°NE, con espesores variables entre 3.5 y 36.5 *metros*.

Las brechas y aglomerados volcánicos (rocas piroclásticas) ocupan las partes bajas y piés de monte en una gran extensión, formando una topografía suave. En las partes **altas** de los cerros Machay, Púlpito, el Abra, la **Cresta**, **etc.** encontramos afloramiento de brecha volcánica en capas.

Los aluviones y material de talud, a veces forman pequeñas terrazas elevadas, esto debido a la erosión, en especial la producida por los ríos del lugar.

### 2.3. GEOLOGIA HISTORICA

El volcanismo andino cenozoico es una serie de volcanes recientes que se encuentran prácticamente a lo largo de todo el arco andino y que constituyen gran parte de las mayores elevaciones del occidente de los Andes de Colombia y Ecuador: Nevado del Ruiz, Nevado del Tolima, Nevado del Huila, volcanes Puracé, Doña Juana, Galeras, Cumbal, Chiles, Azufra, Yanahurco, Cotacachi, Guagua Pichincha, etc.

Según Walther Sauer, la cadena andina no pasaba de los 3.000 metros al principio del cuaternario, luego importantes movimientos verticales provocaron rupturas longitudinales, una faja central se mantuvo en los 2.500 - 3.000 metros, originando el corredor interandino, mientras que las partes laterales se levantaban hasta 4.000 - 4.500 metros, formando el zócalo de las dos cordilleras mayores, las fallas resultantes permitieron la salida de lavas en unos treinta volcanes que levantaron sus conos hasta más de 6.000 metros, estas lavas son principalmente andesitas y dacitas en muchas variedades, acompañadas por cenizas y tobas correspondientes, los basaltos son poco frecuentes.

Estos productos volcánicos alimentaron los sistemas de

erosión y sedimentación del cuaternario, siendo la "cangagua" el resultado más notable, además como consecuencia del volcanismo, aguas minerales han edificado traver tinos calcáreos con impresiones de hojas (afloramientos de "Agua Hedionda"). A eso se sobreponen las glaciaciones, Sauer admite cuatro, un pluvio glacial, seguido por tres glaciaciones con morrenas. El volcanismo se despierta a partir de la segunda; correlativamente la cangagua se conoce en el segundo y tercer interglaciares y en el post-glacial; a estas tres clases de cangagua corresponden tres faunas respectivas designadas como Chichense, Puninense y Reciente. Durante los interglaciares se formaron lagos interandinos (laguna de Cumbal, Colombia), notables por la presencia de capas con diatomeas (laguna de Yambo, provincia del Tungurahua).

En los valles externos de las cordilleras, los glaciares bajaron hasta altitudes de unos 1.600 metros, además de las morrenas, se conocen en ellas **tres** terrazas pluvio-glaciares escalonadas (1).

Chichense; corresponde de abajo hacia arriba: arena y cascaja, cangagua lacustre, guijarros de lava, cangagua el lita antigua con bolas del escarabajo coprinisphaera. Es

(1) Tomado de Sauer W. Geología del Ecuador. Terciario y Cuaternario en la Sierra.

ta sucesión descansa sobre un complejo lacustre glaciario u sobrepuesta por la morrena de la tercera glaciación de Sauer (pleistoceno medio pre puninense) . ,

Puinense, tercer interglaciario de Sauer: cangagua lacustre, seguida por la potente cangagua eólica moderna, la última con frecuentes bolas del escarabajo *Coprinisphaera ecuadoriensis*. La sedimentación está interrumpida localmente por capas de cenizas ó de lapilli de piedra pómez (pleistoceno superior) .

Resumiendo diremos que los afloramientos de lavas corrientes indican que **varias** veces han habido actividades volcánicas, además se encuentran solfataras y fumarolas, como las de Cerro Oreja, Corral de Mulas y Laguna Verde, también en los lugares mencionados anteriormente y en los de Agua Caliente, Agua Hedionda, el Tambo, etc. encontramos emanaciones de aguas termales.

El volcán nevado del Chiles pertenece al tipo cónico **estratiforme**, en **tanto** que Cerro Oreja es un cráter en actividad.

Este volcanismo cenozoico parece estéril, en cuanto se refiere a mineralizaciones metálicas, en cambio ha dado origen a buenos yacimientos de azufre, como los de puracé, Chiles, Yanahurco, Tixán, etc.

### III. YACIMIENTOS

#### 3.1. GENERALIDADES

3.1.1. Propiedades Físicas: El azufre es un metaloide divalente del grupo del oxígeno, símbolo S, grupo Vi de la tabla periódica de los elementos, número atómico 16, peso atómico 32.064. Solidifica a la temperatura ordinaria, su color es amarillo limón. Se electriza por frotamiento.

En estado sólido presenta dos formas alotrópicas:

- a) Rómbica, es la modificación estable por debajo de  $95.5^{\circ}\text{C}$  (punto de transición).
- b) Monoclínica, se obtiene al dejar enfriar lentamente el azufre, funde a  $119^{\circ}\text{C}$ . En estado líquido presenta la propiedad de aumentar la viscosidad y el color (negro rojizo) con la temperatura, alcanzando su máximo a  $200^{\circ}\text{C}$ , - por encima de ésta el color se aclara y disminuye la viscosidad. En estado gaseoso el punto de ebullición es de  $444.60^{\circ}\text{C}$ .

3.1.2. Propiedades Químicas: Forma sulfuros combinándose se con los metales; puede oxidarse dando anhídri



dos sulfuroso y sulfúrico. Se combina con el car  
 Lón dando sulfuro de carbono, con el cloro forma  
 cloruro de azufre. Insoluble en agua y soluble en  
 sulfuro de carbono.

3.1.3. Tipos de azufre: Hay diferentes tipos de azufre  
 entre los cuales figuran los siguientes:

Azufre nativo, ocurre en forma elemental en la na  
 turaleza.

Azufre recuperado, azufre elemental obtenido del  
 sulfuro de hidrógeno, obtenido de fuentes natura  
 les de gas, de la refinación del petróleo, aguas  
 gaseosas y otros combustibles gaseosos.

Piritas, sulfuroc de hierro naturales, incluyen -  
 pirita ( $\text{FeS}_2$ ), marcasita. ( $\text{FeS}_2$ ) y calcopirita -  
 ( $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{S}_4$ ).

Azufre crudo 6 brimctone, es azufre elemental de  
 99.0 a (39.9% de pureza y es libre de arsénico, ~~se~~  
 lenio y telurio.

Azufre am~~orfo~~, es el residuo insoluble usado en la  
 vulcanización del caucho y producido por extrac  
 ción de flores de azufre con disulfuro de carbón.

Azufre coloidal, es una suspensión de partículas

de azufre fino en agua.

Flores de azufre, es un azufre crudo refinado por sublimación.

Azufre precipitado, es un azufre precipitado de una solución de polisulfuro de calcio por ácido clorhídrico y lavado al. remover cloruro de calcio.

Wettable sulfur, es azufre tratado fácilmente dispersado en agua.

Pasta, es una pulpa de azufre y agua con un 30-50% de azufre elemental finísimo.

Azufre oscuro, azufre crudo conteniendo un porcentaje de aceite 6 material carbonoso y oscuro de color.

Azufre brillante, es azufre crudo libre de impurezas colorantes y tiene un color amarillo brillante(1) \*

3.1.4.- Estado natural y origen: El azufre en la corteza terrestre representa el 0.03 - 0.10%.

Frecuentemente se encuentra como elemento libre (pero no puro) y también combinado, formando sulfuros y sulfatos principalmente. Aunque los depó-

(1)Tipos de azufre según Lewis Richard W - Bureau de Minas. 1970.

sitos de azufre volcánico, no son los más espectaculares, probablemente son los más extensamente distribuidos. Este tipo de azufre está asociado con todas las fases de la actividad volcánica, incluyendo flujos eruptivos, fumarolas y aguas termales..

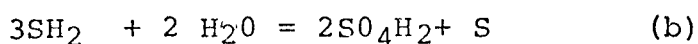
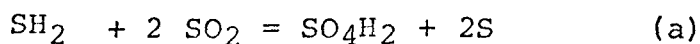
La línea demarcatoria entre el tipo de azufre de origen volcánico y el sedimentario no está bien definido.

Hay tres modos básicos de emplazamiento del azufre; gaseoso, fumarólico ó de sublimación; acuoso, hot spring ó de impregnación, y líquido ó de flujo fundido.

Las formas comunes en las emisiones gaseosas son:  $\text{SH}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_2$  y vapor de azufre, estas formas presentan una amplia selección de reacciones químicas para explicar la depositación. El mecanismo más aceptado es la oxidación parcial del  $\text{SH}_2$  por el oxígeno atmosférico ó por el oxígeno disuelto en el agua de la tierra, lo cual lógicamente pone una restricción a la profundidad en la cual el depósito puede existir.

Otras reacciones químicas que pueden ser activas

en la depositación de azufre volcánico, particularmente desde que se halla ácido libre en la mayoría de los yacimientos diseminados son:



La reacción más común en hot spring ú otros depósitos formados por transporte acuoso puede ser la (b), ó puede ser mucho más compleja ya que aquellos depósitos, a menudo muestran una relación complicada con pirita ó marcasita.

La formación de flujos de azufre fundido, parece ser más complicada, el azufre probablemente se origina en depósitos previos que se refundieron.

- 3.1.5. Producción y empleo: desde el tiempo de los romanos, el azufre era ya conocido bajo el nombre de "sulfhur". Es indudable que desde la antigüedad, por sus propiedades físicas y químicas características, como su color amarillo, combustibilidad y el olor especial picante de los gases formados en su combustión, en usos reliqiosos fue utilizado durante las ceremonias. Unos dos mil

años A. de C. fué empleado en Egipto para blanquear los tejidos. En el siglo XVI A. de C. los Egipcios necesitaban compuestos de azufre para fabricar coloraciones. Homero menciona el empleo de azufre como desinfectante. Los romanos lo clasificaban como artículo de farmacia. En la época de César fué utilizado como material de guerra para producir humos. A principios del siglo XLI, con el descubrimiento de la pólvora se inició una época de gran importancia para el azufre. El comienzo del desarrollo industrial y con el crecimiento de la industria del ácido sulfúrico, hizo que a fines del siglo XVIII, el azufre alcance su mayor importancia técnica(1).

El mayor porcentaje de la producción de azufre en el mundo, se lo obtiene de los Estados Unidos y Golfo de México. La extracción se la hace por el método de Frasch y el azufre que se produce es puro y de bajo costo.

Comparando los costos de extracción y beneficio entre este tipo de azufre sedimentario y el de tipo volcánico, no hay comparación alguna, pues

(1) Tomado de "El Azufre" del Dr. Erich Thielner.

el primero de los mencionados resulta más barato en todo sentido.

A pesar de lo anteriormente mencionado, el mercado mundial no está abastecido completamente por este elemento, por lo cual en muchas partes del mundo se ha optado por seguir explotando y buscando nuevas áreas de azufre de origen volcánico y seguir ensayando nuevos métodos de beneficio para este tipo de azufre, que resulten más económicos.

A lo largo del "cinturón de fuego del Pacífico" los depósitos de azufre de origen volcánico, se encuentran distribuidos y concentrados en las zonas volcánicas y desde luego la cantidad de reservas son mayores a las actualmente conocidas.

Los mayores productores de azufre volcánico son: Chile, mina Aucanquilcha, y Japón, en Hokkaido se explotan tobas aluminitizadas en antiguos lagos de cráter y lodos mezclados con azufre que yacen en las laderas. Otros productores en menor escala son: Italia, México, Nueva Zelandia, Rusia, Islandia, España, Perú, en Colombia hay yacimientos importantes en volcán Puracé (en explotación), Nevado del Ruiz, volcán Cumbal, Azu

fral, etc. en el Ecuador en Tixán (en explotación), Chiles, Pichincha, Islas Galápagos, etc.

Para el año dos mil, según cálculos hechos en 1969 por R.W. Lewis del Bureau de Minas (EE.UU.) la demanda mundial de azufre estará entre 85 y 125 millones de toneladas.

El azufre se emplea para muchos usos, fertilizantes (el mayor), industrias del papel, ácido sulfúrico, para la preparación del dióxido de azufre 6 anhídrido sulfuroso, industria del caucho, fabricación de fósforos, industria química (sulfuro de carbono disolvente), cementos resistentes a los ácidos, fibras celulósicas (rayón), industria del acero, industria del vino, explosivos, en medicina, etc.

### 3.2. SITUACION, FORMA, TAMAÑO Y ESTRUCTURA DE LOS DEPOSITOS

Durante el período fumarólico 6 durante la actividad de "Hot spring" (liberación de calor), es posible una vasta distribución de agua cargada de azufre a baja presión y de la cual puede depositarse el azufre en el substrato, antes que dispersarse en la atmósfera.

Se localizaron siete afloramientos de tobas azufradas, tres en el Ecuador, dos en Colombia y dos en la zona limítrofe de los dos países y son: "Laguna Verde", "Cerro Oreja" y "Agua Hedionda" (Ecuador), "Quebrada Pianadora" y "Río Nasates" (Colombia) y los afloramientos en la región limítrofe que son: "Corral de Mulas" y "Agua Caliente". De todos éstos el de "Río Nasates" es el afloramiento más importante, el cual se lo exploró con perforaciones a diamante, de este depósito se trata en la presente tesis de grado; otro afloramiento importante es el de "Cerro Oreja", de mejor calidad que el anterior, pero de menor volumen y no tiene vía carroable de acceso.

Los depósitos de azufre del distrito del volcán nevado del Chiles los podemos enumerar y clasificar de la siguiente manera:

- 3.2.1. Río Nasates: es de tipo de impregnación y diseminación, localizado en flanco volcánico, tiene una estructura de tipo compuesto, en el cual se encuentran intercalados lechos de material piroclástico entre derrames y es en estos lechos donde se efectúa perfectamente la impregnación. Aparentemente sólo se ha observado un lecho mineralizado, algunas manifestaciones de



tectadas en un segundo lecho pueden corresponder a irregularidades de la estructura piroclástica 6 a que este segundo lecho se presenta en forma discontinua, formando estructuras lenticulares aisladas. Frente al túnel NQ 1 hay un pique que atraviesa un derrame basalto-andesítico, el mismo que presenta una franca alteración típica, por lo cual probablemente la acción de los gases mineralizantes no encontraron condiciones que permitieran una difusión extensa, es posible que en el momento de efectuarse la acción neumatolítica hubiese una "ventana" que permitió a los gases en su mayor parte, escaparse a la atmósfera y solamente se mineralizara la zona de conducción y su perímetro. También se observa intensa degradación de los perfiles originales de la estructura, o sea que parte del yacimiento ha sido erosionado.

El manto tiene un espesor que varía entre 3.5 y 36.5 metros, un grado de pureza variable que no pasa del 40% de azufre y unas reservas probadas de más de cuatro millones de toneladas como toba azufrada.

- 3.2.2. Cerro Oreja: tipo sublimación, situado en el flanco volcánico con sublimado fumarólico y en mínima parte como flujo eruptivo, espesor entre 1 y 4 metros, de alto grado de concentración de azufre que varía entre el 30 y el 60% con una reserva de más de diez mil toneladas - probadas como toba azufrada.
- 3.2.3. Laguna Verde: es un depósito de sublimación, - situado en flanco volcánico, en zona de fumarolas, espesor entre 1 y 6 metros, pobre en azufre, menos del 8% y con una reserva probable que no pasa de las treinta mil toneladas de toba azufrada.
- 3.2.4. Agua Hedionda, Corral de Mulas, Agua Caliente y Quebrada Piandora: son yacimientos tipo sublimación, en flancos volcánicos y zona de fumarolas (el de Quebrada Piandora no está bien clasificado, falta exploración), son pobres en azufre, menos del 5%, y sus reservas en cada caso no llegan a las diez mil toneladas de toba azufrada.

### 3.3. MINERALIZACION

Vinogradov ha concluido que muy poco del azufre volcá

nico es de origen reciente y que gran parte del  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$  incluidos en gases volcánicos - son formados en profundidad por descomposición de sulfatos (2).

Un hecho característico que se nota en todos los yacimientos, es el blanqueamiento de las rocas que los encierran, los lechos subyacentes, sobre una área más grande del de su propio depósito, esto puede ser debido al ataque del ácido sulfúrico a consecuencia de la percolación de las emanaciones solfatáricas a través de la roca, acción ésta que continuada por un largo período puede eventualmente reducir la roca a gruesa capa de arcilla. La mayoría de azufre volcánico es cristalino (ortorrómbico), pero finamente dividido y varía en color, del amarillo muy pálido al amarillo brillante, anaranjado, verde y café oscuro.

Lo más común de la mineralización es azufre de grano fino diseminado a través de las tobas y brechas. Las tobas son sillceas y duras, pero la intemperización de la superficie han o-

(2) Tomado de Mining Engineering, June 1968, 48 p.

riginado capas delgadas de arcilla. La alteración ha hecho que se origine de silicatos cristalinos en sílice amorfa o criptocristalina (6 palo). Generalmente se encuentra pirita y marcasita, principalmente en el depósito de "Río Nasates". La alunita es el mineral más frecuente en "Río Nasates". Observando la forma como el azufre se ha fijado en la roca matriz, reemplazando a los granos de plagioclasas y con la presencia de alunita en forma secundaria, hay la probabilidad de que el manto azufrado de "Río Nasates" haya sido impregnado por gases sulfurados que se han originado de un manto de azufre refundido muy rico que está a mayor profundidad (a esta posible capa no alcanzaron las perforaciones).

### 3.4. CONTROLES DE LA MINERALIZACION

Las fallas a menudo forman vías-canales para el ascenso de los gases ricos en azufre, tal como se evidencia por el hecho de que los depósitos se encuentran a varios kilómetros del volcán más cercano. Una permeabilidad impuesta en forma de fallas y fracturamientos, común en regiones de actividad volcánica, juega un pa

pel importante en la localización del azufre (3).

Las características físicas, preponderante sobre las químicas, han afectado la depositación, pero la escogencia de la zoca matriz en el depósito primario de azufre volcánico, parece que depende más de lo físico, así aunque el azufre se haya introducido en forma de un gas o en solución, la porosidad y permeabilidad del lecho, controla el transporte y la depositación, así vemos en parte que el grueso del azufre se encuentra en las capas de toba y en pequeñas cantidades en las zonas de escoriación, y en los flujos de lava amigdaloides y fracturados.

### 3.5. COBERTURA Y CONDICIONES HIDROLOGICAS

Las rocas de tipo andesita augítica (depósito "Río Nasates") forman una cobertura prácticamente impermeable y pueden cerrar el paso a flujos ascendentes, pero hay que tomar en cuenta que están fracturadas y que con el laboreo pueden adquirir cierta permeabilidad. La capa estéril tiene un espesor entre cuatro y ocho metros.

En este yacimiento, en los túneles de exploración se observó que las aguas subterráneas provienen de depósitos superficiales que penetran a través de tobas por

(3) Según teoría de Megyesi Imre, Estudios sobre los depósitos de azufre en la mina "El Vingre". Puracé.

rosas y fracturadas, el agua circula lentamente, tanto en sentido lateral como descendente, hasta alcanzar la zona de equilibrio. Las masas porosas como las tobas andesíticas deben considerarse como posibles depósitos de agua hacia la profundidad.

Más parece que en esta zona el problema de aguas subterráneas en labores mineras no es mayor, comparado con otros sitios mineros donde la infiltración de agua se soluciona con bombas y donde el problema es mayor se utiliza el método "Chemical Grouting".

Es digno de anotar que existen manantiales sulfhídricos, de temperatura superior a los 30°C, que depositan azufre en forma de polvo fino y de color amarillo blanquesino en el fondo de sus lechos, como en el caso de Cerro Oreja (50°C), Agua Caliente (45°C), Agua Redionda (25°C), etc.

### 3.4. DISTRIBUCION DE LOS VALORES

Para el estudio de la distribución de los valores del contenido de azufre, se elaboraron perfiles descriptivos de correlación y análisis químicos de muestras de los pozos, túneles y afloramientos del área "Río Nasates". Los resultados de tales estudios han sido com-

pendiados en el Apéndice 1.

Observando la distribución de valores de porcentaje de azufre en los diferentes pozos (Apéndice 1), se nota que en la mayoría de ellos los porcentajes mayores - están en la parte intermedia y un poco menores en la parte superior de la zona mineralizada y van disminuyendo casi hasta llegar a cero en la base del manto.

### 3.7. CALCULO DE RESERVAS

En este tema solo se toma en cuenta el yacimiento "Río Nasates", ya que el cálculo de reservas para los demás depósitos fué menos profundizado, debido a la escasez de datos y cuyos valores se indicaron en el numeral 2 del presente capítulo de yacimientos.

En "Río Nasates", para el cálculo de reservas se tomó en cuenta un mapa topográfico escala 1:2.500 y el área mineralizada se calculó con planímetro.

De los veintidos pozos perforados, ocho resultaron positivos, con toba brechosa mineralizada, tres de estos con toba ligeramente mineralizada. Hay que anotar que los datos de análisis de las muestras del pozo N<sup>o</sup> 1 no se consideraron en el cálculo estadístico, debido al número limitado de las mismas.

De los tres túneles efectuados, dos fueron positivos. Los resultados de las muestras tomadas en los túneles 1 y 3 y en la zona de afloramientos del Río Nacates, demuestran una continuidad del yacimiento siguiendo el rumbo del manto, que se verifica con los resultados obtenidos de pozos vecinos a los túneles. En el cálculo estadístico solo se considera la distribución de valores en el sentido vertical, o sea solo los datos de los pozos.

El área está dividida de acuerdo a los resultados y a la información de los registros de los pozos, a los contactos positivos e inferidos observados. Esta área tiene una longitud de 800 m. y un ancho de 400 m., el manto tiene una dirección general de  $N 45^{\circ}30'W$  y un buzamiento de  $19^{\circ}NE$ , los espesores varían entre 3.5 y 36.5 metros.

Se hicieron once cortes geológicos de los pozos de perforación, escalas vertical y horizontal 1:2.000, los mismos que dieron información sobre el rumbo, espesor, y buzamiento del manto mineralizado; la delimitación del manto se obtuvo por medio del problema de los tres puntos, al mismo tiempo que se comprobó por este método los valores de los tres parámetros obtenidos gráficamente por medio de los perfiles geológicos (Apéndice I).



La densidad promedio del mineral de azufre es de -  
1.93 ton/m<sup>3</sup>.

Considerando la correlación de pozos por medio de los cortes geológicos hechos sobre el área mineralizada y los análisis químicos de laboratorio, hemos dividido el área en tres zonas de valores fácilmente diferenciables. El plano de ubicación de las tobas azufradas - muestra estos tres sectores.

Se puede indicar que aunque hay pozos negativos cerca del área mineralizada, estos presentan material brechoso con manifestaciones de azufre, que con una perforación más profunda, los resultados podrían ser positivos y así aumentar las reservas.

El cálculo de reservas se hizo por métodos estadísticos. El apéndice 11 muestra los cálculos realizados.

Teniendo en cuenta que los registros de azufre en la mayoría de los pozos siguen una distribución normal, se han dividido las reservas en varios intervalos de clase, en base a los resultados de los análisis químicos. El rango para los intervalos se ha tomado de cinco unidades.

Para el cálculo del área bajo la curva normal correspondiente a un intervalo de clase determinado (probabilidad de ocurrencia del intervalo de clase) se hizo uso de la teoría y transformación de la distribución normal estandar, (media 0, varianza 1). Los cálculos estadísticos realizados se muestran en el Apéndice II.

- Las reservas de tobas azufradas calculadas por el método estadístico propuesto son: 4.467.544 toneladas para el sector N<sup>o</sup> 1; 208 toneladas para el sector N<sup>o</sup> 2 y 153.339 toneladas para el sector N<sup>o</sup> 3. Las reservas totales resultan de 4.620.987 toneladas mineralizadas de azufre para los tres sectores considerados. El contenido promedio de azufre puro total es de 835.336 toneladas.

El método estadístico propuesto para el cálculo de reservas está dentro del límite de confiabilidad, ya que la mayoría de los valores de azufre de los pozos siguen una distribución normal.

Es interesante observar la distribución del contenido de azufre, así vemos que el 75% del total de toneladas mineralizadas se relaciona con un contenido de azufre que va desde el 5 al 30%.

## IV. BENEFICIO

El mineral con el cual se hicieron las pruebas de concentración por flotación, fué extraído del túnel N° 3 del yacimiento "Río Nasates", se emplearon tres toneladas de mineral para los correspondientes ensayos que se realizaron.

A continuación transcribimos el resumen del informe hecho por el ingeniero metalúrgico Jorge Avella S. y reacondicionado por el ingeniero Alvaro Castro L., sobre las pruebas de flotación de las tobas azufradas de "Río Nasates" realizadas en la Zona Minera de Pasto.

### 4.1. ANALISIS INICIALES

#### Análisis Químicos

Elementos principales (5%) :	Si.
Elementos (1 - 5%) :	Fe, Ti, Pb
Elementos (1%) :	Ca, Cu, Zn, Al, Mg
Elementos en trazas:	Ni, Ag, Sb, P

#### Examen mineralógico

Se nota macroscópicamente la presencia de azufre, sílice amorfa y de escasa pirita.

## 4.2. ENSAYOS DE FLOTACION

### a) Ensayos a tamaño laboratorio

En base al análisis químico y mineralógico se procedió a efectuar las pruebas preliminares a tamaño laboratorio. Estas con el objeto de elegir los reactivos apropiados para detener la ganca (sílice en nuestro caso), flotar el azufre lo más puro posible, elegir el tamaño de grano y regular el PH de operación de la flotación.

Se empezaron con tres pruebas de 500 gramos de mineral en la celda individual.

El tamaño de grano a que se trabajaron estas tres pruebas fué el siguiente:

<u>Mallas</u>	<u>Peso</u>	<u>%</u>	<u>% Acumulado</u>
35	0.0	0.0	0.0
42	6.0	3.0	3.0
65	4.0	2.0	5.0
80	10.0	5.0	10.0
100	13.0	6.5	16.5
150	30.0	15.0	31.5
170	31.0	15.5	47.0
200	10.0	5.0	52.0
-200	90.0	45.0	97.0

El resumen de las tres pruebas realizadas en celdas individuales es como sigue:

	<u>Prueba NQ 1</u>	<u>Prueba N° 2</u>	<u>Prueba N° 3</u>
Mineral	500 gr	500 gr	500 gr
Pacta	1:4	1:4	1:4
Reactivos	Silicato de Ma, aceite de pino.	Silicato de Na, carbonato de Na, cresopinol.	Silicato de Na, almidón cresopinol.
Tiempo de operación	30 minutos	30 minutos	30 minutos
PH original	2.0	2.0	2.0
PH de operación	6.0	8.5	6.0
%S en mineral	18.40	18.40	18.40
Peso concentrado	245 gr.	197 gr	192 gr
%S en concentrados.	32.32	28 12	39.92
% de concentrado	49.00	39.49	38.40
Peso de colas	251 gr	287 gr	300 gr
% de S en colas	4.75	10.01	5.51
% de colas	50.20	57.40	60.00
% pérdidas de mineral.	0.80	3.20	1.60
% de recuperación de S en concentrados.	66.06	60.22	81.23

Después se efectuaron otras cuatro pruebas de 500 gramos cada una, todas en la celda individual V con el siguiente análisis de mallas:

<u>Mallas</u>	<u>Peso</u>	<u>%</u>	<u>% Acumulado</u>
35	10	5.0	5.0
42	6	3.0	8.0
65	8	4.0	12.0
80	9	4.5	16.5
100	12	6.0	22.5
150	25	12.5	35.0
170	30	15.0	50.0
200	10	5.0	55.0
- 200	85	42.5	97.0

El resumen de las cuatro pruebas es el siguiente:

	<u>Prueba N° 4</u>	<u>Prueba N° 5</u>	<u>Prueba N°6</u>
Mineral	500 gr	500 gr	500 gr
Pasta	1:4	1:4	1:4
Reactivos	Silicatos de Na cresopinol	Cal, kerosene aceite de pi- no.	Silicato de Na, cresopinol
Tiempo de operación	30 minutos	30 minutos	30 minutos
PH original	2.0	2.0	2.0
% S en mineral	21.57	21.57	21.57
Peso concentra- do	138 gr	208 gr	142 gr
%S en concen- trado	43.39	25.10	36.32
% de concen- trado	27.60	41.60	28.40
Peso de colas	353 gr	286 gr	353 gr
%S en colas	4.86	6.83	13.48
% pérdidas de mineral	1.80	1.20	1.00
% de recupe- ración de S en concentra- dos.	55.52	48.41	47.82

Fruebü N<sup>o</sup> 7: realizada con 500 gramos de mineral y un 21.57% de azufre de cabezas, pulpa 1:4 PH original 2.0 y PH de operación 7.5, reactivos: cal, aerofloat 15 y creosota, tiempo de operación de 30 minutos. La operación no resultó, dentro de los concentrados se vinieron lodos y en las colas se observó a simple vista azufre apreciable.

#### 4.2.1. Observaciones a estas pruebas (Excluyendo la N<sup>o</sup>7)

El mayor porcentaje de azufre en los concentrados se obtuvo en la prueba N<sup>o</sup> 4.

El mejor porcentaje de recuperación de azufre en concentrados se obtuvo en la prueba N<sup>o</sup> 1, pero el tenor de azufre solo subió a 32.328.

En cambio la prueba N<sup>o</sup> 3 tuvo una buena recuperación de azufre (81.23%) y su tenor subió de 18.40 % a 38.92% de azufre, mientras que en la prueba N<sup>o</sup> 4 subió de 21.57% a 43.39% de azufre, pero la recuperación fué solo del 55.52%.

Las dos mejores pruebas fueron las números 3 y 4 que se efectuaron con silicato de sodio, cresopinol y además en la 3 se agregó almidón.

La N<sup>o</sup> 4 hubo que pararla más rápido que la N<sup>o</sup> 3, porque se observó que empezaban a flotar partículas de lodos. De aquí se dedujo la eficiencia en la depresión de lodos por parte del almidón.

Se indica además que haciendo una nueva relimpieza a los concentrados se podría mejorar el tenor de azufre de los mismos.

#### CONCLUSIONES

En base a las observaciones anteriores se eligió las condiciones de operación para la prueba tamaño piloto, estas fueron:

1. Moler a -35 mallas, mas grueso podrían quedar partículas de azufre sin flotar.
2. Utilizar una relación de pulpa 1:4
3. Utilizar silicato de sodio como deprecante de ganda, el silicato principalmente.
4. Utilizar cresopinol como colector y espumante de azufre.
5. Utilizar almidón como depresante de lodos.
6. El tiempo de operación debe ser treinta minutos.



7. El Ph original de 2.0
8. Trabajar a un PH de 6.0
9. Efectuar una relimpieza a los concentrados para subir los tenores de azufre.

4.2.2. Ensayo a Tamaño Piloto: Se realizó con 40 kilos de mineral a mallas -35, el circuito de 'flotación se esquematiza más adelante

#### Resumen de la operación

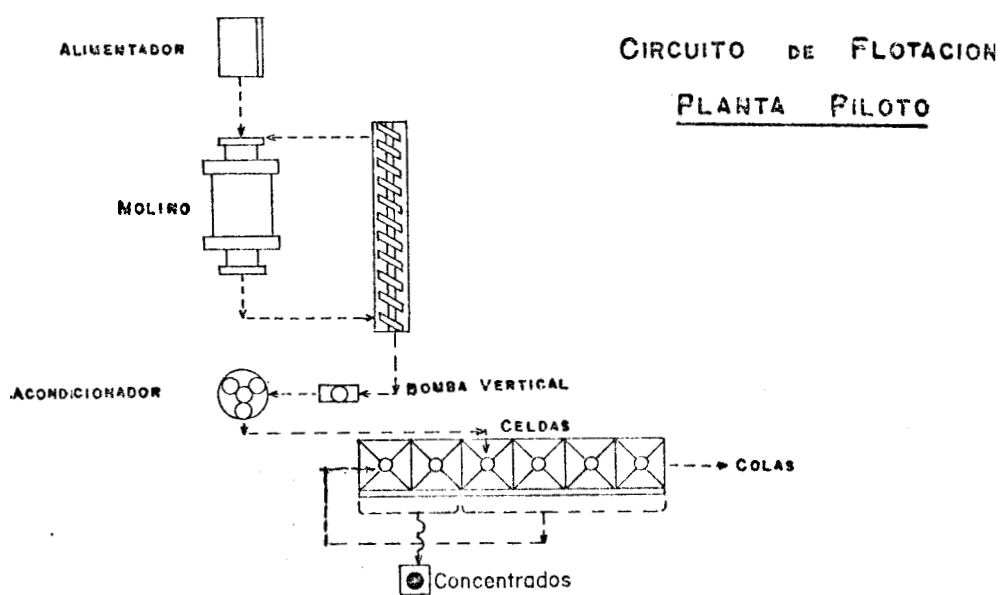
Cantidad de mineral	40 kilos
Pulpa	1:4
Reactivos	Almidón, silicato de Na, cresopinol.
Tiempo de operación	1 hora
PH original	2
PH de operación	6
% de S en el mineral	25.70
Peso de concentrados	15 kilos
% de S en concentrados	44.80
Porcentaje de concentrados	37.50
Peso de colas	7.30 kilos
% de azufre en colas	16.16
% de colas	18.25
Pérdidas de mineral	26.00 %

% de recuperación de S  
en concentrados.

81.42

## CONCLUSION

Esta prueba a tamaño piloto dió el resultado que se esperaba en base a las conclusiones sacadas de las pruebas a tamaño laboratorio realizadas en celdas individuales.



## V. CONSIDERACIONES ECONOMICAS

### 5.1. CONSUMO DE AZUFRE EN EL ECUADOR

Según datos obtenidos del Instituto Nacional de Comercialización (INAC), a continuación indicamos las importaciones de azufre hechas por el Ecuador en un período de 10 años y de su producción en un lapso de 6 años.

#### IMPORTACIONES DE AZUFRE

	Coloidal		Sublimado	
	Kilos netos	U.S. miles \$ CIF	Kilos netos	U.S. miles \$ CIF
1970	4.536	0.721	15.573	2.3
1971	2.000	0.385	18.924	5.7
1972	9.042		58.939	
1973	4.000	1,1	54.774	
1974	6.000	51,5	160.989	434,9
1975	7.248	2,9	170.000	22,0
1976	7	0,017	2.005	0,794
1977	215.500	39.2	2.012.400	141.9
1978	2.025.000	170.7	5.000	1.2
1979	1.195.900	196.1	15.500	5.3

## PRODUCCION DE AZUFRE

	Kilos netos	Viles de sures
1971	491.760	2.211,0
1972	548.910	4.122,6
1973	655.065	5.109,5
1974	236.115	2,892,0
1975	204.393	2.212,0
1976	126.810	1.372,0

De estos cuadros se saca como conclusión, que el azufre que consume la industria ecuatoriana ha ido en incremento cada año a pesar de no tener datos de producción desde el año de 1977, se sabe con certeza que el azufre que necesita el Ecuador ha ido en aumento en los últimos años, esto de acuerdo a informaciones de FERTISA (Industria Ecuatoriana de Fertilizantes) que es la principal consumidora de azufre para la producción de ácido sulfúrico.

El presente estudio tomando en cuenta lo arriba expuesto y otros factores que demuestran la factibilidad de la instalación de una planta con capacidad de producción de alrededor de 8.000 toneladas de azufre puro por año. Entre estos factores se anotan los siguientes:

El nuevo giro industrial que ha tomado el País relacionado con el Pacto Andino y la creciente demanda de azufre por parte de la industria colombiana a la que no puede abastecer en su totalidad las fuentes tradicionales (Puracé) .

Variadas industrias han sido asignadas al Ecuador - dentro del marco industrial subregional andino, entre las cuales podemos enumerar las siguientes: Insecricidas, Pulpa y papel, Pinturas y Barnices, Caucho, Productos alimenticios, etc. que emplean azufre en bruto y, entre las industrias que utilizan ácido sulfúrico enumeramos las que siguen: refinación del petróleo productos químicos, rayón y sintéticos, pinturas y pigmentos, usos metalúrgicos, textiles, etc.

Hay que indicar que la compañía minera que explota las tobas azufradas de Shucos, Tixán, Provincia del Chimborazo, en la actualidad ha disminuído su producción a niveles bajos ya que las reservas del depósito están al agotarse. Esta empresa minera abastece de azufre a Fertisa.

## 5.2. EVALUACION ECONOMICA

### 5.2.1. Costos de Exploración

Tomando en cuenta de que los datos de costos de exploración son confidenciales dentro de los trabajos que ejecuta la Zona Minera de Pasto, para el presente trabajo consideramos costos aproximados; en el año de 1972 tenemos S/. 700,00 sucres por metro de túnel de sección transversal 1.8 x 1.4 metros y S/. 1.000 sucres el metro de perforación a diamantina, anotando que el costo por metro de perforación es promedio, ya que la operación con el equipo Long Ycar fué superior al del equipo Boyles Bross.

En cuanto a los costos de la exploración geológica de superficie, no alcanzaron la cuarta parte de los de perforación y túneles, incluyendo los de análisis químicos y metalúrgicos.

### 5.2.2. Programa de desarrollo de la Mina

Considerando el tipo de maquinaria con la cual se benefician las tobas azufradas del yacimiento "Río Vinagre" por Industrias Puracé S. A. - Cali, como la mas apropiada para utilizar

la en el depósito de "Río Nasates" enumeramos las bases fundamentales sobre las cuales se hace la evaluación económica. De acuerdo a los datos obtenidos directamente de la industria Puracé; para una explotación a cielo abierto y beneficio por flotación y autoclaves, el valor de una planta y equipos para beneficiar y explotar 150 toneladas diarias de tobas azufradas, tienen los siguientes costos:

Costos indirectos:

Dos autoclaves japonesas

Un conjunto de celdas de flotación.

Equipo de arranque, transporte y molienda

Planta generador de energía eléctrica

Montaje, etc.

S/. 21.000.000,00

Costos directos (mensual)

Sueldos para arranque, transporte, molienda y beneficio.

Administración, prestaciones sociales.

Materiales y suministros, etc.

S/. 624.000,00

Mantenimiento (10% anual costo de equipo ) x mes

175.000,00

Depreciación (promedio de vida de equipo = 10 años) x mes

175.000,00

974.000,00

Activos corrientes

14% intereses (anual) de costos indirectos más costos directos (para 6 meses)

3.758.160,00

El valor total de la inversión incluye el costo total del equipo, capital de trabajo para seis meses e intereses por un año de costos indirectos más costos directos.

30.602.160,00

5.2.2.1. Evaluación económica mensual.

Datos:

150 ton/día

1 mes = 25 días hábiles

3.750 ton/mes



10% de agua

3.3'75 ton/mes base seca

20% de azufre-tenor

675 ton/mes = azufre puro

70% recuperación en planta

533 ton/mes = producción

- La recuperación en planta se calcula por **inedio** de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{c(f - t)}{f(c - t)}$$

$$R = \frac{1.00 (0.20 - 0.05)}{0.20 (1.00 - 0.05)} = \frac{0.15}{0.20 \times 0.95} = \frac{0.15}{0.19}$$

$$R = 0.7835$$

$$R = 79 \%$$

c = concentración = 100%

f = % alimentación = 20%

t = colas = 5%

### Ingresos

Venta bruta

(c/ton S/. 3.000,00 sucres en boca mina)

S/. 1.599.000,00

Egresos

Costos directos		624.000,00
Mantenimiento		175.000,00
Depreciación		175.000,00
Intereses		<u>313.180,00</u>
		1.287.180,00
Ganancia bruta	S/.	311.820,00
impuestos (5% sobre la producción)		79.950,00
Ganancia neta sin amortizar	S/.	231.870,00

## 5.2.2.2. Determinación del valor presente

El valor presente se calcula en base a la vida de la mina, sus reservas y producción anual.

De acuerdo al cálculo estadístico de **reservas** hechas de los sectores 1, 2 y 3 hay 4.620.987 toneladas de tobas azufradas que serían explotadas a cielo abierto.

## Datos:

Reservas de mineral	4.620.987 ton.
Recuperación de extracción 70%	3.234.691 ton.
Producción anual (150 x 300)	45.000 ton.

$$\text{Vida de la mina} \quad \frac{3.234.691}{45.000} = 71.88 = 72 \text{ años}$$

Ganancia mensual	S/. 231.870,00
Ganancia anual	2.782.440,00
Acumulado en 72 años	200.335.680,00
Interés anual	14 %

$V_p$  = valor presente de la mina

$$V_p = \frac{S}{(1+r)^n} = \frac{S}{R^n}$$

S = acumulado

p = rata de interés anual

n = vida de la mina

$\frac{1}{R^n}$  = factor sacado de tablas (Según H.D. Hoskold)

$$S = 200.335.680,00$$

$$r = 14\%$$

$$n = 72 \text{ años}$$

$$\frac{1}{R^n} = 0.00008$$

$$V_p = 200.335.680,00 \times 0.00008$$

$$V_p = \text{S/. } 16.026,85$$

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 1. CONCLUSIONES

- a) La naturaleza y estructura de la capa mineralizada del yacimiento de "Río Nasates" corresponde a tobas y brechas de origen andesítico, que no están bien compactadas por estar cerca de superficie, ya que las aguas meteóricas que han filtrado por este material permeable, han dado como resultado una roca de poca consistencia.
- b) El espesor de la capa estéril es delgada de 4 a 8 metros, y puede ser removida económicamente.
- c) La pendiente topográfica y la pendiente del manto mineralizado son menores a 25°.
- d) La explotación del yacimiento "Río Nasates" es rentable, tomando en cuenta las reservas calculadas, los costos de inversión y la evaluación económica mensual que dieron resultados positivos.

### 2. RECOMENDACIONES



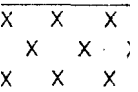
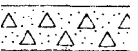
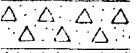
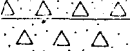
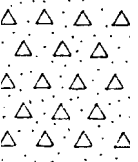
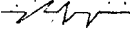
- a) Al explotarse el yacimiento, debe hacerse a cielo abierto, de acuerdo a las conclusiones a, b y c.

- b) Conjuntamente con la explotación de dichas tobas azufradas, se recomienda continuar los estudios del área de "Río Nasates" y extender los mismos a los distintos yacimientos que existen en el distrito del volcán nevado del Chiles, siguiendo la dirección de las fracturas, ya que este tipo de depósitos es característico en su presentación en estas zonas de volcanismo cenozoico.
- c) Extender los estudios a lo largo del eje volcánico Páramos del Angel, Yanahurco, Chiles, Cerro Negro y Cumbal, en este último hay pequeños depósitos de azufre de sublimación de tenor de más del 50% que son explotados por los nativos del lugar en reducida escala.


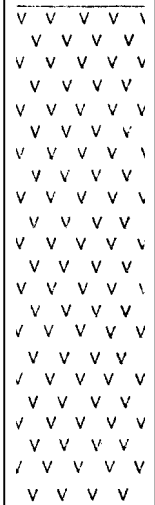
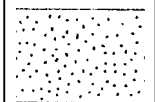
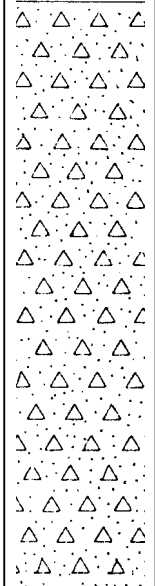
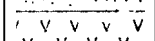
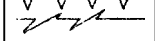
## APENDICES


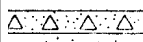
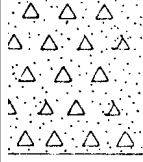

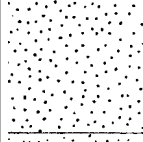

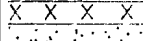
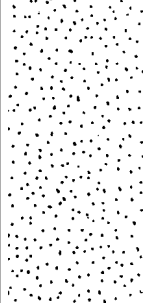
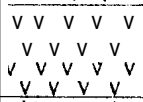
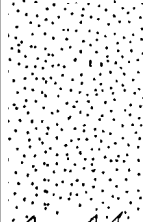
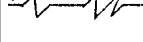
## A P E N D I C E    I

1.    **PERFILES** DESCRIPTIVOS
2.    DISTRIBUCION DEL % DE **AZUFRE**

Pf l.	Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	% prod
			Suelo y aluvión		
61			Basalto		
3.3			Andesita		
44		3.00	Erecha tobácea, matrix gris con azufre	8.80	
24			Brocha tobácea, matrix verde estéril		
35		1.50	Erecha tobácea, matrix verde con azufre	1.80	
2.0			Brocha tobácea, matrix verde estéril		
57					





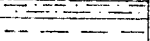
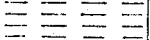
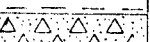
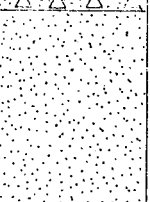
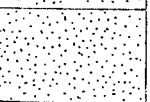
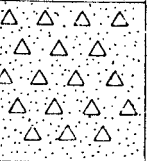
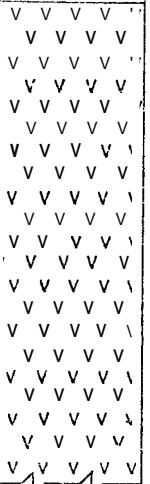
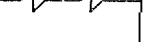













f.	Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%C prc
			<b>Suelo</b>		
30			<b>Basalto</b>		
.50			<b>Toba andesítica, gris oscura</b>		
67			<b>Brecha tobácea, matriz parda grisácea, muy alterada y suelta</b>		
30			<b>Basalto gris compacto</b>		
34					

Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO		%S	% pro
			Suelo y aluvión		
			Brecha andesítica, color gris obscura		
	10.66		Brecha andesítica con impregnaciones de azufre		
			Andesita		
			Toba andesítica, color rojizo a verde claro, estéril		
	4.61		Toba andesítica, impregnada de azufre	8.40 8.40 2.80 6.20 2.80 8.60	70.4
			Andesita	2.60	280
	21.33		Toba andesítica mineralizada	2.60 5.20 3.20 4.40 9.50 10.00 10.00 15.20 12.00 6.00 10.80 14.40 10.00 8.40 8.40	6.69
			Basalto		
	1.45		Toba andesítica brechoide, mineralizada	16.40 26.00 11.60	16.00
					

Profundidad 85.34 m.

ESCALA V=1:500

Rectificación 43 9

	Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	% pro
			Suelo y aluvión		
43			Basalto gris compacto		
3			Arcillas y cenizas blancas		
5			Arcillas blanco: muy puras		
3		2.43	Brecha tobacea, color rosada con azufre	2.00	
6		13.44	Tobas andesíticas color gris intermedio, con buena mineralización de azufre	7.60	
			Toba andesítica color gris intermedia con azufre	2.00	
7			Brecha volcánica, matriz clara (gris a verde) Guijarros de andesita	30.00	
4			Basalto o andesita indiferenciada color gris, compacto	10.00	
				19.60	
				21.60	
				19.60	
				14.80	
				16.40	
				3.130	
				32.80	
				13.20	
				12.80	
				9.60	
				6.80	
				8.40	
				5.60	
				4.60	
				4.40	
				4.40	

Litología	Potencia ni.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	on pror
		Suelo y aluvión		
	13.41	Toba andesítica, estéril, color gris	23.40 25.00 32.00 9.00	18.51
		Toba andesítica color gris azufrada	10.40 32.40 18.00 10.40 5.60	
	3.05	Toba andesítica, color gris, con poco azufre		
		Andesita estéril, color gris		
		Brecha volcánica de matriz clara (verde a gris) con guijarro de basalto		
		Brecha tobácea de matriz gris a rosada		


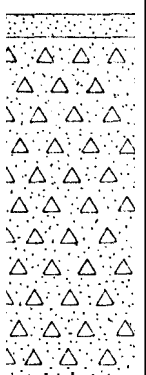
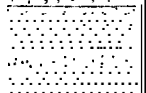
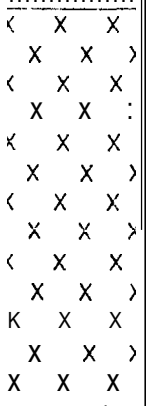

# PERFIL DESCRIPTIVO DEL POZO N° 5


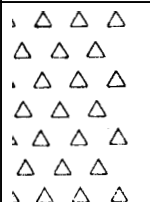

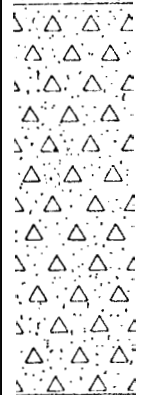
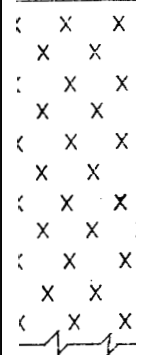
Profundidad 67.06m


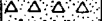
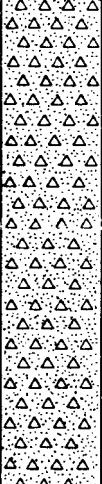
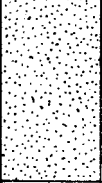
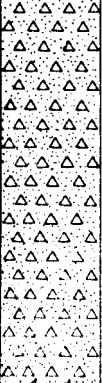
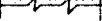
LCCALA V= 1:500

Recu

ración 16 %

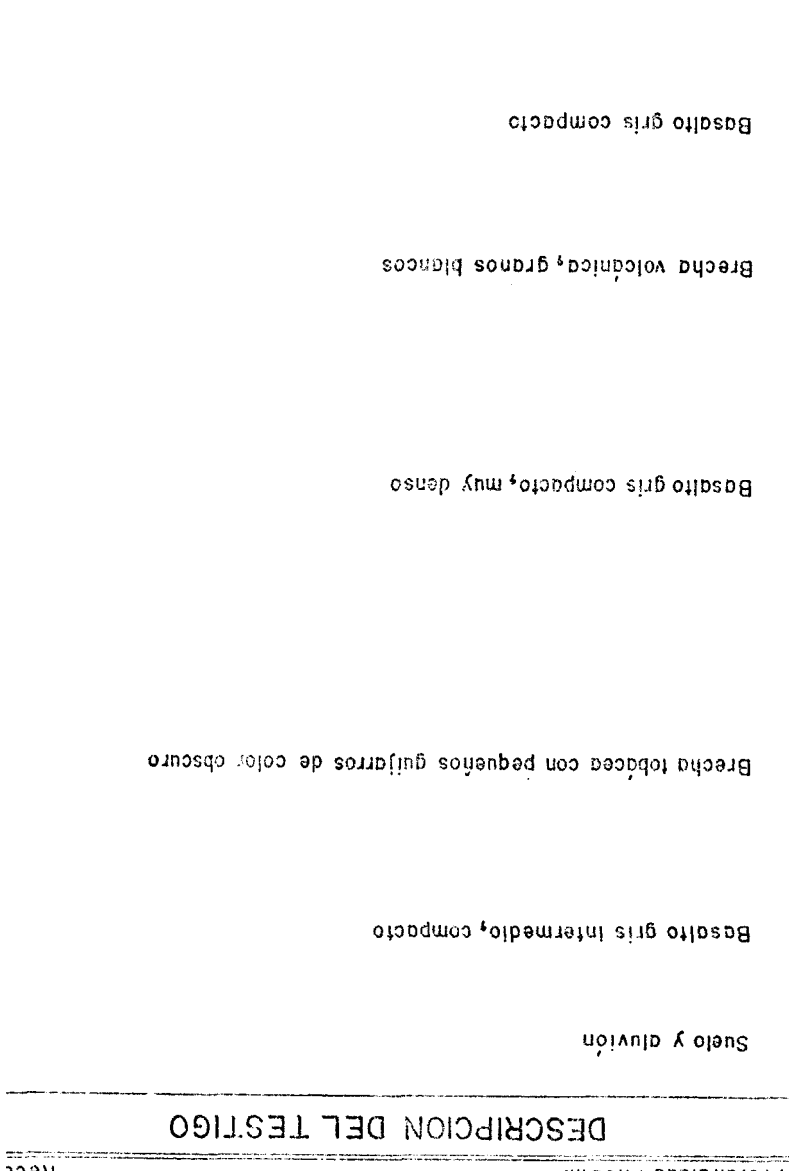
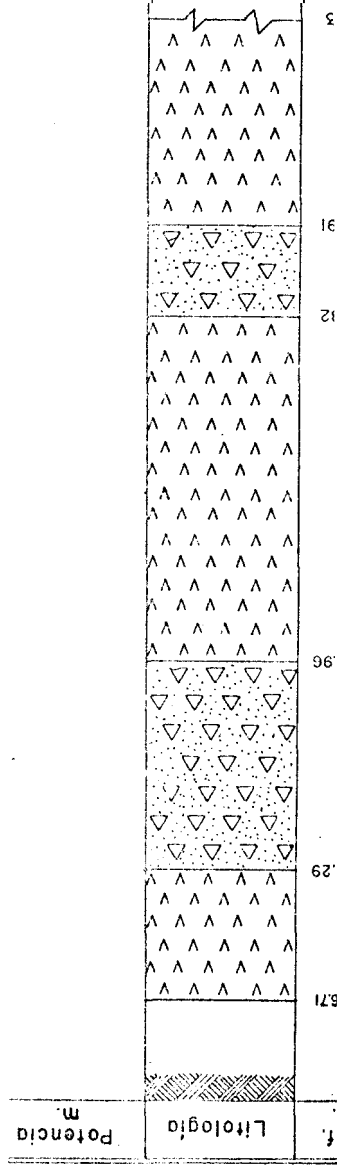
	Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%C pron
			<b>Suelo y aluvión</b>		
15 67			<b>Toba rosada, tipo andesítico</b>		
53			<b>Brecha tobácea de matriz gris clara a parda clara muy descompuesta</b>		
33			<b>Andesita estéril, color gris a verde</b>		
16					

Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%S prom
		Suelo y ajuvión		
		Brecha volcánica de matriz clara parda a gris con guijarros de basalto		
		Toba de tipo andesítico, matriz color gris claro, estéril		
		Brecha volcánica, matriz clara, principalmente rosada		
		Andesita estéril, color gris claro, muy ocasionalmente color rosado		

CHILES-Dpro NARIÑO COLOMBIA AZUFRE RIO NASATES			PERFIL DESCRIPTIVO DEL POZO N° 7		
			Profundidad 169.16m.	ESCALA V:1-500	Recuperación 77 %
Prof. m.	Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%S prom.
			Suele y aluvión		
13.41	X X		Andesita porosa de color prls doros y en algunas partes de color rosado		
41.15	△ △ a △ △ △ △		Brecha volcánica, matriz rosada a roja ladrillo, gujarros de feldespato y andesita		
44.81	X X X X X X X X X X X X X		Andesita color clara (gris a rosada)		
56.39	 		Brecha volcánica compacta, matriz rosada a roja, gujarros de andesita		
108.20			Toba andesítica color gris claro con abundancia de plagioclasa		
128.02			Brecha de matriz rosada a verde claro, con gujarros de andesita y de toba rosada		
169.16					

# PERFIL DESCRIPTIVO DEL POZO N°8

CHILES-Dpto. NARIÑO  
AZUFRE RIO NASATES



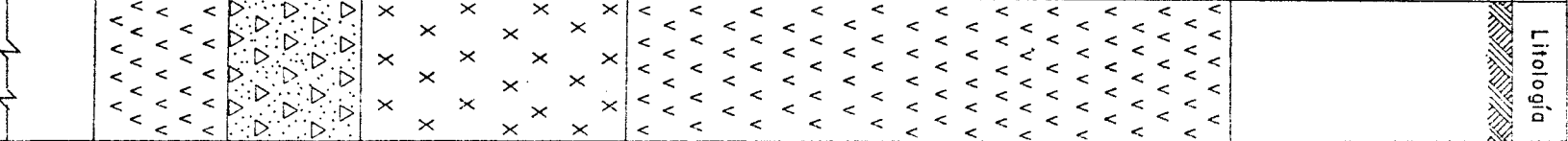
## DESCRIPCION DEL TESTIGO

Profundidad 71.63m. ESCALA V=1:500

Recl. fracción 53%

% pro



Litología	Potencia m.
	

DESCRIPCION DEL TESTIGO

%s

%s  
prom

Suelo > aluvión (sin recuperación)

Basalto compacto, color gris

Andesita de color claro (gris a rosada)

Brecha volcánica, matriz gris-clara a rosada, guijarros claros

Basalto compacto, gris intermedio, muy denso

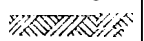
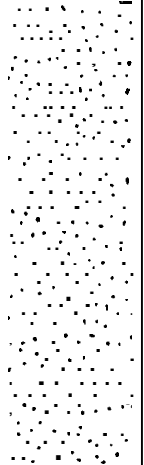
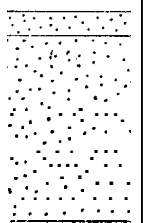
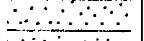


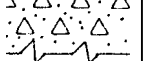

(Sin recuperación)




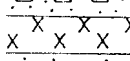
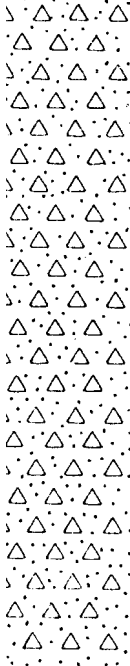

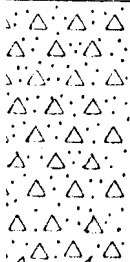
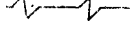
PERFIL DESCRIPTIVO DEL POZO N°9



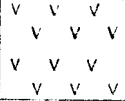
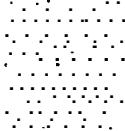

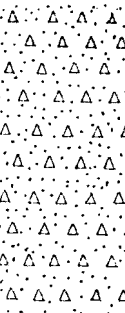


Profundidad 86.87m.

ESCALA V= 1:500

Recuperación 43.9%

f.	Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	% pro
					
			Suelo y aluvión		
		1,52	Toba andesítica, matriz de color gris intermedia con plagioclas y pirita	200 200 2.00 120 2.00 2.00	1.87
			Toba andesítica con azufre		
			Toba andesítica, compacta, estéril		
		2,14	Toba andesítica, con azufre	200 120 2.00 200 120 2.80 2.80	2.00
		1219	Brecho andesítica, matriz clara, guijarros oscuros, pintas escasas de azufre	2.80 1.20 1.20 2.00	2.00
					

Prof.	Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	% pro
			Suelo y aluvión		
76			Toba andesítica compacta, color rosada		
53			Brecha de matriz gris a amarilla		
15			Andesita semiconpacta, color gris		
39			Brecha de matriz verde a amarilla		
9			Andesita compacta, color gris		
5			Brecha tobácea, matriz café amarillenta		
4					

f.	Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	% prc
			Suelo y aluvión		
27		4.87	Taba andesítica, color gris, con feldespatos y azufre		
14			Basalto compacto, color gris, estéril		
85		9.45	Toba andesítica y azufrada, color gris	17.80 22.00 17.20 31.60 30.80 26.80 35.60 25.20 7.20	23.7
30			Brecha tobac-a, con guijarros de andesita, matriz rosada		
53			Brecha tobácea compacta, color verde clara, la matriz y los guijarros se confunde		
16			Brecha tobácea suelta, matriz color gris, con guijarros claros		
9					

Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%S pron
		<b>Suelo</b>		
		Basalto compacto, color gris		
	2.74	Brecha tobácea, matriz rosada, guijarros de andesita con impregnaciones de azufre		
		Brecha tobácea, matriz gris oscura con guijarros verdes claros, descompuestos		
		Andesita, matriz roja con feldespatos blancos		
		Toba compacta, color roja		
		Brecha tobácea, matriz gris, guijarros de andesita <b>gris</b> negros poco compactos, con ópalo.		
		Andesita <b>porosa</b> , color gris		
		Brecha, matriz clara, guijarros verdes a grises <b>oscuros</b>		
		Andesita compacta, color <b>gris</b> , con plagioclasa		

Profundidad 100.58m.

ESCALA V:F: 500

Recuperación 60%

Litología	Potencia m.	DESCRIPCIÓN DEL TESTIGO	%S	% pt or
	12.80	Suelo y aluvión	34.00 56.40 62.00 64.40 47.60 52.00 47.00 10.40 38.00 4.40 2.80 2.80 3.60	25.66
		Toba andesítica color gris semicompacta arufrada		
		Brecha volcánica, matriz clara casi blanco con gujarros grises a verdes		
		Toba andesítica fina, matriz color gris a rosada		
		Brecha andesítica, matriz amarilla a rosada con gujarros claros descompuesto		
	1.83	Brecha andesítica, con impregnación de azufre		
		Brecha andesítica, estéril		






# PERFIL DESCRIPTIVO DEL POZO N° 16

Profundidad 67.05m.

ESCALA V=1:500

Recuperación

30 %

Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%S prom
		Suelo y aluvión		
X X X X X X X X X X X X		Andesita semicompacta, color gris, con pirita.		
	24.39	Toba andesítica, color gris, azufrado	27.80 28.40 18.40 13.60 22.80 22.80 17.20 21.20 7.60 9.20	13.30
		Toba andesítica color gris, esteril		
	9.15	Toba andesítica, color gris, con azufra		
				


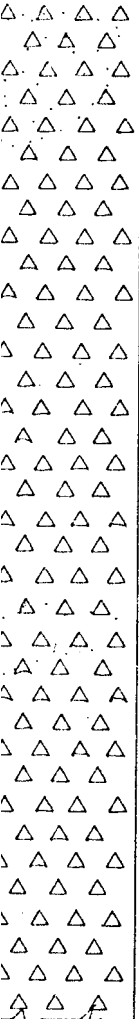
Profundidad 54.86m.

ESCALA V=1:500

Recuperación 44%

Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%S prom
		Suelo y aluvión		
		Toba andesítica, semi compacto con ligeras manifestaciones de pirita		
	4.58	Toba andesítica, semi compacta, color gris azufrado	200	
		Toba andesítica semi compacta	200	2h3
		Brecha andesítica, motriz gris a café, guijarros blancos y grises, conforme profundiza aumenta cantidad de pirita.	280	
		Andesita semi compacta, color gris que va cambiando a rojo	320	
			260	



Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%S propr
		Suelo y aluvión		
		<p>Brecha andesítica, matriz gris a café, gujarros blancos a grises, conforme se profundiza la matriz cambia de café a rojo ladrillo, con grano más fino.</p>		


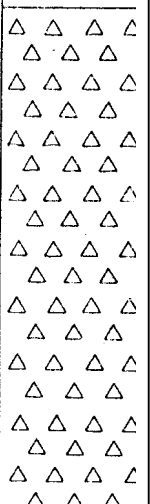
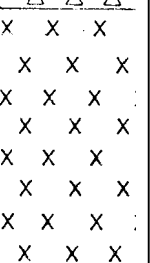

Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%S prom
		Suelo y aluvión		
		Brecha tobácea porosa, matriz gris claro casi blanca con ligeras manifestaciones de azufre.	3.60 2.80 3.60 4.40 4.40 4.40 4.40 2.80 3.60 4.40 3.60 2.80 2.00	3.50
		Toba andesítica compacta, con matriz color gris oscura, cristales de plagioclasa blanca.		
		Toba andesítica compacta, color ladrillo		
		Basalto compacto, color gris oscuro		

# PERFIL DESCRIPTIVO DEL POZO N°20

Profundidad 60.96m.

ESCALA V= I: 500

Recuperación 10 %

Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%S prot
		suelo y aluvión		
<p>5</p> 		Brecha volcánica semi alterada, color amarillenta, con granos blancos		
<p>2</p> 		Andesita porosa, semi compacta, color gris claro		
<p>3</p> 				

Profundidad 91.44 m.

ESCALA V= 1:500

Recuperación 42%

Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%S prom.
		Suelo y aluvión		
		Brecha semidescompuesta, matriz amarilla quemada, guijarros negros, gris oscuro y rojo ladrillo.		
		Andesita porosa, color gris, granos de plagioclasa blanca, algunas impregnaciones amarillos.		
		Basalto compacto, color gris, con granos blancos		
		Toba color amarillo pálido con granos blancos y grises, semicompacto		
		Andesita semicompacta color gris a rojisa.		

	Litología	Potencia m.	DESCRIPCION DEL TESTIGO	%S	%S prom
2			Suelo y aluvión		
0			Andesita compacta, color gris con granos de plagioclasa		
5			Brecha volcánica, poco alterada color amarilla con granos gruesos		

## DISTRIBUCION DEL PORCENTAJE DE AZUFRE

El análisis químico de las muestras tomadas de los pozos de perforación, túneles y afloramientos del área de Río Nasates, arrojaron los siguientes valores:

POZO N° 1

Cota: 3.625 m.

Profundidad: 45.72 m.

Espesor capa mineralizada: 4.50 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>% S(Azufre)</u>
JG - 75	25.91	8.83
JG-90	30.48	1.20
JG-100	32.00	0.80
	PROMEDIO	3.60% S

POZO N° 3

Cota: 3.680 m.

Profundidad: 94.49 m.

Espesor capa mineralizada: 36.58 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m.)</u>	<u>% S(Azufre)</u>
JG-147	47.24	8.40
JG-148	48.25	8.40
JG-148-A	48.80	2.20
JG-149	49.27	2.80
JG-150	50.29	9.20
JG-151	51.30	2.80
JG-152	52.32	3.60
JG-153	53.34	2.80

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-154	54.35	2.80
JG-155	55.37	5.20
JG-156	56.39	3.20
JG-157	57.40	4.40
JG-157-A	58.42	9.50
JG-158	59.44	10.00
JG-159	60.45	10.00
JG-160	61.47	15.20
JG-161	62.48	12.00
JG-162	63.50	6.00
JG-163	64.51	10.80
JG-164	65.53	14.40
JG-165	67.55	10.00
JG-166	69.60	3.40
JG-177	80.77	8.40
JG-3.78	83.82	16.40
JG-179	84.90	26.00
JG-180	85.95	11.60
	PROMEDIO :	8.89 %S

POZO N° 3-c

Cota: 3.675

Profundidad: 85.34 m.

Espesor capa mineralizada: 21.94 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-122	20.73	2.00
JG-123	21.64	7.60
JG-124	22.56	7.60
JG-125	23.47	2.00
JG-126	24.38	30.00

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG127	25.30	30.00
JG-128	26.21	30.00
JG-123	27.1	19.60
JG-130	28.04	21.60
JG-131	28.96	19.60
JG-132	29.87	14.80
JG-133	30.78	16.40
JG-134	31.70	34.80
JG-135	32.61	22.80
JG-136	33.53	13.20
JG-137	34.44	12.80
JG-138	35.36	9.60
JG-139	38.27	8.80
JG-140	37.19	6-80
JG-141	38.10	8.40
JG-142	39.01	5.60
JG-143	39.93	4.83
JG-144	40.84	<b>4.40</b>
JG-145	41.76	<b>4.40</b>
JG-146	42.67	<b>4.40</b>
	Promedio	13.68%

POZO N° 4

Cota: 3.750

Profundidad: 89.92 m.

Espesor capa mineralizada: 8.23 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-184	13.72	23.40
JG-185	14.70	25.20
JG-186	15.74	23.00
JG-187	16.76	9.20



<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-188	18.20	10.40
JG-189	19.81	32.40
JG-190	20.87	18.00
JG-191	21.95	10.40
JG-192	23.00	5.60
	Promedio	17.51%S

POZO N° 11

Cota: 3.652 m.

Profundidad: 69.19 m.

Espesor capa mineralizada: 9.45 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-195	17.22	17.60
JG-196	18.30	22.00
JG-197	19.81	17.20
JG-198	20.84	31.60
JG-199	21.85	30.80
JG-200	22.86	26.80
JG-201	23.40	35.60
JG-202	23.95	25.20
JG-203	24.84	7.20
	Promedio	23.78%S

POZO NQ 15

Cota: 3.682

Profundidad: 100.56 m

Espesor capa mineralizada: 12.19 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-215	4.88	31.00
JG-216	5.49	56.40

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-217	6.01	62.00
JG-218	6.71	64.40
JG-219	7.32	47.60
JG-220	7.92	52.00
JG-221	8.53	47.60
JG-222	9.30	10.40
JG-223	10.21	38.00
JG-224	10.97	4.41)
JG-225	11.58	2.80
JG-226	12.19	2.80
JG-227	13.11	3.60
JG-228	14.02	12.40
JG-229	14.63	15.60
JG-230	15.24	15.40
JG-231	15.85	2.80
JG-232	16.46	11.60
JG-233	17.07	2.80
	Promedio	25.66%S

POZO N° 16

Cota : 3.715

Profundidad: 67.05 m.

Espesor capa mineralizada: 10.21 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
J G 267	24.84	22.80
Jg-268	25.76	28.40
JG-269	26.82	18.10
JG-270	27.89	13.20
JG-271	28.80	22.80
JG-272	29.87	22.80
JG-273	34.24	17.20
JG-274	32.77	21.20

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-275	35.05	7.60
JG-276	38.50	9.20
	Promedio	18.36% S

POZO N° 17

Cota: 3.715

Profundidad: 54.86 m.

Espesor capa mineralizada: 6.40 m.

<u>MUESTRA NQ</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-257	19.05	2.00
JG-258	20.57	2.00
JG-259	21.76	2.80
JG-260	22.71	2.85
JG-261	23.62	2.80
JG-262	24.69	3.20
JG-263	25.45	2.80
	Promedio	2.63 % S

POZO N° 9

Cota: 3.676

Profundidad: 86.87 m.

**Espesor** capa mineralizada: 25.14 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-310	56.39	2.80
JG-311	57.40	2.80
JG-312	58.42	2.80
JG-313	59.44	2.00
JG-314	60.50	2.80
JG-315	62.00	2.80
JG-318	71.63	2.80
JG-319	73.00	2.00

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-320	74.68	3.60
JG-321	75.70	2.80
JG-322	76.71	2.00
JG-323	77.72	3.60
JG-324	78.80	3.60
JG-325	79.92	3.60
JG-326	81.53	2.00
JG-327	82.60	2.00
JG-328	83.61	2.80
	<b>Promedio</b>	<b>2.75% S</b>

POZO N° 19

Cota: 3.710

**Profundidad:** 67.06 m.

Espesor capa mineralizada: 30.48 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>PROFUNDIDAD (m)</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-291	4.57	3.60
JG-292	4,57	2.80
JG-295	10.67	3.60
JG-296	11.65	4.40
JG-297	12.70	4.40
JG-301	13.72	4.40
JG-302	14.60	4.40
JG-303	15.20	2.80
JG-304	16.00	3.60
JG-306	16.90	4.40
JG-307	17.53	3.60
JG-308	32.00	2.80
JG-309	35.05	2.00
	<b>Promedio</b>	<b>3.60 %S</b>

TUNEL N° 1

Cota: 3.585

Longitud: 35 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
RT-399	1.2
RT-400	14.0
E - 401	1.2
RT-402	NEGAT.
RT-403	12.8
RT-404	31.6
RT-405	21.6
RT-406	18.0
RT-407	21.6

Promedio 13.56%S

TUNEL N° 3

Cota: 3.678

Longitud: 90 m.

<u>MUESTRA N°</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
JG-238	53.4
JG-239	56.1
JG-240	56.4
RT-380	12.8
RT-381	5.2
RT-382	21.6
RT-383	17.20
RT-384	23.60
RT-385	33.60
RT-386	18.80
RT-387	6.80
RT-388	24.40
RT-389	11.60

<u>MUESTRA N°</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
RT-390	14.80
RT-391	17.20
RT-392	15.60
RT-393	14.80
m-394	22.80
m-395	14.00
RT-396	72.80
RT-397	62.00
RT-398	62.00
Promedio	28.98 %S

AFLORAMIENTOS RIO NASATES

CERCA TUNEL N° 1

Cota: 3.586

<u>MUESTRA N°</u>	<u>%S (AZUFRE)</u>
RT-408	13.40
RT-409	34.80
RT-410	<b>14.80</b>
RT-411	<b>34.40</b>
RT-412	7.60
Promedio	21.00 %S

A P E N D I C E    B

CALCULOS ESTADISTICOS

## POZOS DE CADA SECTOR

SECTOR N<sup>o</sup> 1: Pozos N<sup>o</sup> 3, 3-C, 4, 11, 15, 16

SECTOR N<sup>o</sup> 2: Pozos N<sup>o</sup> 1, 9, 17, 19

SECTOR N<sup>o</sup> 3: En esta área el porcentaje de azufre es menor al 5%, luego el cálculo del tonelaje se lo hizo aritéticamente.

## 1. Estimación estadística

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

$$s^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$$

donde:  $X_i$  = valores observados

$N$  = número de observaciones

$\bar{X}$  = media muestral

$s^2$  = varianza muestral

## 2. Areas bajo la curva normal

$$z = \frac{X - \bar{X}}{s}$$



POZO N° 3

$$\bar{X} = 8.89$$

$$\delta = 5.43$$

<u>OBSERVACIONES</u>	$\Sigma (X_i - \bar{X})^2$
1	$(8.40 - 8.89)^2 = 0.21$
2	$(8.40 - 8.89)^2 = 0.24$
3	$(2.20 - 8.89)^2 = 44.76$
4	$(2.80 - 8.89)^2 = 37.09$
5	$(9.20 - 8.89)^2 = 0.09$
6	$(2.80 - 8.89)^2 = 37.09$
7	$(3.60 - 8.89)^2 = 27.98$
8	$(2.80 - 8.89)^2 = 37.09$
9	$(2.80 - 8.89)^2 = 37.09$
10	$(5.20 - 8.89)^2 = 13.62$
11	$(3.20 - 8.89)^2 = 32.38$
12	$(4.40 - 8.89)^2 = 20.16$
13	$(9.50 - 8.89)^2 = 0.37$
14	$(10.00 - 8.89)^2 = 1.23$
15	$(10.00 - 8.89)^2 = 1.23$
16	$(15.20 - 8.89)^2 = 39.82$
17	$(12.00 - 8.89)^2 = 9.67$
18	$(6.00 - 8.89)^2 = 8.35$
19	$(10.00 - 8.89)^2 = 1.23$
20	$(14.00 - 8.89)^2 = 30.36$
21	$(10.00 - 8.89)^2 = 1.23$
22	$(8.40 - 8.89)^2 = 0.24$
23	$(8.40 - 8.89)^2 = 0.24$
24	$(16.40 - 8.89)^2 = 56.40$
25	$(26.00 - 8.89)^2 = 292.65$
26	$(11.60 - 8.89)^2 = 7.34$

$$\frac{738.29}{26-1}$$

738.29

INTERVALO DE CLASE (%S)	MARCA DE CLASE (%S)	LIMITES DE CLASE (%S)	Z PARA LOS LIMITES	*AREA BAJO LA CURVA	**AREA PARA CADA CLASE
0-5	2.5	0	-1.637	0.442	0.1862
5-10	7.5	5	-0.716	0.2630	0.1881
10-15	12.5	10	0.204	0.0809	0.2888
15-20	17.5	15	1.125	0.3697	0.1099
20-25	22.5	20	2.046	0.4796	0.0189
25-30	27.5	25	2.967	0.4985	0.0189
30-35	32.5	30	3.388	0.4997	0.0014
35-40	37.5	35	4.808	0.5000	0.0001
40-45	42.5	40	5.729	0.5000	0.0000
45-50	47.5	45	6.650	0.5000	0.0000
50-55	52.5	50	7.571	0.5000	0.0000
55-60	57.5	55	8.492	0.5000	0.0000
60-65	62.5	60	9.413	0.5000	0.0000
		65	10.333	0.5000	0.0000

\* De la tabla de la siguiente página 125

\*\*Probabilidad de ocurrencia del intervalo de clase (diferencia de las áreas bajo la curva correspondiente a los límites de la clase).

POZO N° 3-C

-

$$\bar{X} = 13.68$$

$$\delta = 9.87$$

OBSERVACIONES	$\Sigma (X_i - \bar{X})^2$
1	$(2.00 - 13.68)^2 = 136.4224$
2	$(7.60 - 13.68)^2 = 36.9664$
3	$(7.60 - 13.68)^2 = 36.9664$
4	$(2.00 - 13.68)^2 = 136.4224$
5	$(30.00 - 13.68)^2 = 266.3424$
6	$(30.00 - 13.68)^2 = 266.3424$
7	$(30.00 - 13.68)^2 = 266.3424$
8	$(19.60 - 13.68)^2 = 35.0464$
9	$(21.60 - 13.68)^2 = 62.7264$
10	$(19.60 - 13.68)^2 = 35.0464$
11	$(14.80 - 13.68)^2 = 1.2544$
12	$(16.40 - 13.68)^2 = 7.3984$
13	$(34.80 - 13.68)^2 = 446.0544$
14	$(22.80 - 13.68)^2 = 83.1744$
15	$(13.20 - 13.68)^2 = 0.2304$
16	$(12.80 - 13.68)^2 = 0.7744$
17	$(9.60 - 13.68)^2 = 16.6464$
18	$(8.80 - 13.68)^2 = 23.8144$
19	$(6.80 - 13.68)^2 = 47.3344$
20	$(8.40 - 13.68)^2 = 27.8784$
21	$(5.60 - 13.68)^2 = 65.2864$
22	$(4.80 - 13.68)^2 = 78.8544$
23	$(4.40 - 13.68)^2 = 86.1184$
24	$(4.40 - 13.68)^2 = 86.1184$
25	$(4.40 - 13.68)^2 = 86.1184$
	<u>2.335.6800</u>

$$\delta = \frac{2.335.68}{25-1}$$

INTERVALOS DE CLASE (% S)	MARCA DE CLASE (% S)	LIMITES DE CLASE (%S)	Z PARA LOS LIMITES	AREA BAJO LA CURVA	AREA PARA CADA CLASE
		0	-1.386	0.4171	
0 - 5	2.5				0.1068
		5	-0.879	0.3103	
5 -10	7.5				0.1649
		10	-0.373	0.1454	
10 -15	12.5				0.0921
		15	0.134	0.533	
15 -20	17.5				0.1856
		20	0.640	0.2389	
20-25	22.5				<b>0.7354</b>
		25	1.147	0.3743	
25-30	27.5				0.0765
		30	1.653	0.4508	
30-35	32.5				0.373
		35	2.160	0.4881	
35-40	37.5				0.0030
		40	2.667	0.4962	
40-45	42.5				0.0030
		45	3.173	0.4992	
45-50	47.5				0.0007
		50	3.680	0.4999	
50-55	52.5				0.0001
		55	4.186	0.5000	
55-60	57.5				0.0000
		60	4.693	0.5000	
60-65	62.5				0.000
		65	5.200	0.5000	

POZO NQ 4

$$\bar{X} = 17.51$$

$$\delta = 9.07$$

$$\delta = \frac{657.9289}{9-1}$$

OBSERVACIONES	$\Sigma (X_i - \bar{X})^2$
1	$(23.40 - 17.51)^2 = 34.6921$
2	$(25.20 - 17.51)^2 = 59.1361$
3	$(23.00 - 17.51)^2 = 30.1401$
4	$(9.20 - 17.51)^2 = 69.0561$
5	$(10.40 - 17.51)^2 = 50.5521$
6	$(32.40 - 17.51)^2 = 221.7121$
7	$(18.00 - 17.51)^2 = 0.2401$
8	$(10.40 - 17.51)^2 = 50.5521$
9	$(5.60 - 17.51)^2 = 141.8481$
	<u>657.9289</u>

INTERVALOS DE CLASE (%S)	MARCA DE CLASE (%S)	LIMITES DE CLASE (%S)	A PARA LOS LIMITES	AREA BAJO LA CURVA	AREA PARA CADA CLASE
		0	-1.931	0.4733	
0-5	2.5				0.0572
		5	-1.379	0.4161	
5-10	7.5				0.1200
		10	-0.828	0.2961	
10-15	12.5				0.1870
		15	-0.377	0.209%	
15-20	27.5				0.0008
		20	0.275	0.1083	
20-25	22.5				0.1873
		25	0.826	0.2956	
25-30	27.5				0.120%
		30	1.377	0.4158	
30-35	32.5				0.0573
		35	1.928	0.4731	
35-40	37.5				0.0203
		40	2.480	0.4934	
40-45	42.5				0.0054
		45	3.031	0.4988	
45-50	47.5				0.0010
		50	3.582	0.4998	
50-55	52.5				0.0002
		55	4.133	5.0000	
55-60	57.5				0.0000
		60	4.685	5.0000	
60-65	62.5				0.0000
		65	5.236	5.000	

POZO N° 1.1

$$\bar{X} = 23.78$$

$$\delta = 8.81$$

$$\delta = \frac{620.8356}{9-1}$$

OBSERVACIONES	$\Sigma (X_i - \bar{X})^2$
1	$(17.60 - 23.78)^2 = 38.1924$
2	$(22.00 - 23.78)^2 = 3.1684$
3	$(17.20 - 23.78)^2 = 43.2964$
4	$(31.60 - 23.78)^2 = 61.1524$
5	$(30.00 - 23.78)^2 = 49.2804$
6	$(26.80 - 23.78)^2 = 9.1204$
7	$(35.60 - 23.78)^2 = 139.7124$
8	$(25.20 - 23.78)^2 = 2.0164$
9	$( 7.20 - 23.78)^2 = 274.8964$
	620.8356

INTERVALOS DE CLASE (%S)	MARCA DE CLASE (%S)	LIMITES DE CLASE (%S)	Z PARA LOS LIMITES	AREA BAJO LA CURVA	AREA PARA CADA CLASE
		0	-2.699	0.4965	
0-5	2.5				0.0130
		5	-2.132	0.4835	
5-10	7.5				0.0424
		10	-1.564	0.4411	
10-15	12.5				0.1005
		15	-0.997	0.3406	
15-20	17.5				0.1746
		20	-0.429	0.1660	
20-25	22.5				0.1111
		25	0.138	0.0549	
25-30	27.5				0.2350
		<b>30</b>	<b>0.706</b>	0.2599	
30-35	32.5				0.1388
		35	1.274	0.3987	
35-40	37.5				0.0685
		40	1,841	0.4672	
40-45	42.5				0.0248
		45	2.409	0.4920	
45-50	47.5				0.0066
		50	2.976	0.4986	
50-55	52.5				0.0012
		55	3.544	0.4998	
55-60	57.5				
		60	<b>4.111</b>	0.5000	0.0002
60-65	62.5				
		65	4.679	0.5000	0.0000



POZO N° 15

$$\bar{X} = 25.66$$

$$\delta = 22.97$$

$$\delta = \frac{9.496.9644}{19-1}$$

OBSERVACIONES	$\Sigma (X_i - \bar{X})^2$
1	$(34.00 - 25.66)^2 = 69.5556$
2	$(56.40 - 25.66)^2 = 944.9476$
3	$(62.00 - 25.66)^2 = 1.320.5956$
4	$(64.40 - 25.66)^2 = 1.500.7876$
5	$(47.60 - 25.66)^2 = 481.3630$
6	$(52.00 - 25.66)^2 = 693.7956$
7	$(47.60 - 25.66)^2 = 481.3636$
8	$(10.40 - 25.66)^2 = 232.8676$
9	$(38.00 - 25.66)^2 = 152.2756$
10	$(4.40 - 25.66)^2 = 451.9876$
11	$(2.80 - 25.66)^2 = 522.5796$
12	$(2.80 - 25.66)^2 = 522.5796$
13	$(3.60 - 25.66)^2 = 486.6436$
14	$(12.40 - 25.66)^2 = 175.8276$
15	$(15.60 - 25.66)^2 = 101.2036$
16	$(16.40 - 25.66)^2 = 85.7476$
17	$(2.80 - 25.66)^2 = 522.5796$
18	$(11.60 - 25.66)^2 = 197.6836$
19	$(2.80 - 25.66)^2 = 522.5796$
	<u>9.496.9644</u>

INTERVALOS DE CLASE (%S)	MARCA DE CLASE (%S)	LIMITES DE CLASE (%S)	Z PARA LOS LIMITES	AREA BAJO LA CURVA	AREA PARA CADA CLASE
		0	-1.117	0.3680	
0-5	2.5				0.0524
		5	-0.899	0.3156	
5-10	7.5				0.0632
		10	-0.682	0.2524	
10-15	12.5				0.0738
		15	-0.464	0.1786	
15-20	17.5				0.0815
		20	-0.246	0.0971	
20-25	22.5				0.0855
		25	-0.029	0.0116	
25-30	27.5				0.0634
		30	0.189	0.0750	
30-35	32.5				0.0830
		35	0.407	0.1580	
35-40	37.5				0.0757
		40	0.624	0.2337	
40-45	42.5				0.0664
		45	0.842	0.3001	
45-50	47.5				0.0412
		50	1.060	0.3413	
50-55	52.5				0.0579
		55	1.277	0.3992	
55-60	57.5				0.0339
		60	1.495	0.4326	
60-65	62.5				0.0241
		65	1.713	0.4567	
65-70	67.5				0.0165
		70	1.930	0.4732	
70-75	72.5				0.0109
		75	2.148	0.4841	

INTERVALO DE CLASE (%S)	MARCA DE CLASE (%S)	LIMITES DE CLASE (%S)	Z PARA LOS LIMITES	AREA BAJO LA CURVA	AREA PARA CADA CLASE
75-80	77.5	80	2.366	0.4910	0.0069
80-85	82.5	85	2.583	0.4951	0.0041
85-90	87.5	90	2.801	0.4974	0.0023

POZO N° 16

$$\bar{X} = 18.36$$

$$\delta = 6.63$$

$$\delta = \frac{395.6640}{10-1}$$

OBSERVACIONES	$\Sigma (X_i - \bar{X})^2$
1	$(22.80 - 18.36)^2 = 19.7136$
2	$(28.40 - 18.36)^2 = 100.8016$
3	$(18.40 - 18.36)^2 = 0.0016$
4	$(13.20 - 18.36)^2 = 26.6256$
5	$(22.80 - 18.36)^2 = 19.7136$
6	$(22.80 - 18.36)^2 = 19.7136$
7	$(17.20 - 18.36)^2 = 1.3456$
8	$(21.20 - 18.36)^2 = 8.0656$
9	$(7.60 - 18.36)^2 = 115.7776$
10	$(9.20 - 18.36)^2 = 83.9056$
	395.6640

INTERVALOS DE CLASE (%S)	MARCA DE CLASE (%S)	LIMITES DE CLASE (%S)	Z PARA LOS LIMITES	AREA BAJO LA CURVA	AREA PARA CADA CLASE
		0	-2.769	0.4972	
0-5	2.5				0.0191
		5	-2.115	0.4781	
5-10	7.5				0.0817
		10	-1.261	0.3964	
10-15	12.5				0.2024
		15	-0.507	0.1940	
15-20	17.5				0.0965
		20	0.247	0.0975	
20-25	22.5				0.2441
		25	1.002	0.3416	
25-30	27.5				0.1188
		30	1.756	0.4604	
30-35	32.5				0.0336
		35	2.510	0.4940	
35-40	37.5				0.0054
		40	3.264	0.4994	
40-45	42.5				0.0006
		45	4.018	0.5000	
45-50	47.5				0.0000
		50	4.772	0.5000	

POZO N° 9

$$\bar{X} = 2.75$$

$$\delta = 0.60$$

$$\delta = \frac{5.7225}{17-1}$$

OBSERVACIONES	$\Sigma (X_i - \bar{X})^2$	
<b>1</b>	$(2.80 - 2.75)^2$	= 0.0025
2	$(2.80 - 2.75)^2$	= 0.0025
<b>3</b>	$(2.80 - 2.75)^2$	= 0.0025
<b>4</b>	$(2.00 - 2.75)^2$	= 0.5625
5	$(2.80 - 2.75)^2$	= 0.0025
6	$(2.80 - 2.75)^2$	= 0.0025
7	$(2.80 - 2.75)^2$	= 0.0025
8	$(2.00 - 2.75)^2$	= 0.5625
9	$(3.60 - 2.75)^2$	= 0.7225
10	$(2.80 - 2.75)^2$	= 0.0025
<b>11</b>	$(2.00 - 2.75)^2$	= 0.0025
12	$(3.60 - 2.75)^2$	= 0.5625
<b>13</b>	$(3.60 - 2.75)^2$	= 0.7225
<b>14</b>	$(3.60 - 2.75)^2$	= 0.7225
15	$(2.00 - 2.75)^2$	= 0.5625
<b>16</b>	$(2.00 - 2.75)^2$	= 0.5625
17	$(2.80 - 2.75)^2$	= 0.0025
		5.7225

INTERVALO DE CLASE (%S)	MARCA DE CLASE (%S)	LIMITES DE CLASE (%S)	Z PARA LOS LIMITES	AREA BAJO LA CURVA	AREA PARA CADA CLASE
		0	-4.583	0.5000	
0-5	2.5				0.0001
		5	3.750	0.4999	
5-10	7.5				0.0001
		10	12.083	0.5000	
10-14	12.5				0.0000
		15	20.417	0.5000	
15-20	17.5				0.0000
		20	28.750	0.5000	
20-25	22.5				0.0000
		25	37.083	0.5000	

POZO N° 17

$$\bar{X} = 2.63$$

$$\delta = 0.45$$

$$\delta = \frac{1.2343}{7-1}$$

OBSERVACIONES	$\Sigma (X_i - \bar{X})^2$
1	$(2.00 - 2.63)^2 = 0.3963$
2	$(2.00 - 2.63)^2 = 0.3969$
3	$(2.80 - 2.63)^2 = 0.0289$
4	$(2.80 - 2.63)^2 = 0.0289$
5	$(2.80 - 2.63)^2 = 0.0289$
6	$(3.20 - 2.63)^2 = 0.3249$
7	$(2.80 - 2.63)^2 = 0.0289$
	1.2343

INTERVALOS DE CLASE (%S)	MARCA DE CLASE (%S)	LIMITES DE CLASE (%S)	Z PARA LOS LIMITES	AREA BAJO LA CURVA	AREA PARA CADA CLASE
		0	-5.844	5.0000	
0-5	2.5				0.0000
		5	5.267	5.0000	
5-10	7.5				0.0000
		10	16.378	5.0000	
10-15	12.5				0.0000
		15	37.489	5.0000	
15-20	17.5				0.0000
		20	38.600	5.0000	
20-25	22.5				0.0000
		25	49.711	5.0000	

POZO N<sup>o</sup> 19

$$\bar{X} = 3.60$$

$$\delta = 0.80$$

$$\delta = \frac{7.68}{13-1}$$

OBSERVACIONES	$\Sigma (X_i - \bar{X})^2$
1	$(3.60 - 3.60)^2 = 0$
2	$(2.80 - 3.60)^2 = 0.64$
3	$(3.60 - 3.60)^2 = 0$
4	$(4.40 - 3.60)^2 = 0.64$
5	$(4.40 - 3.60)^2 = 0.64$
6	$(4.40 - 3.60)^2 = 0.64$
7	$(4.40 - 3.60)^2 = 0.64$
8	$(4.40 - 3.60)^2 = 0.64$
9	$(2.80 - 3.60)^2 = 0.64$
10	$(3.60 - 3.60)^2 = 0$
11	$(4.40 - 3.60)^2 = 0.64$
1%	$(3.60 - 3.60)^2 = 0$
13	$(2.80 - 3.60)^2 = 0.64$
14	$(2.00 - 3.60)^2 = 2.56$
	7.68

INTERVALOS DE CLASE (%S)	MARCA DE CLASE (%S)	LIMITES DE CLASE (%S)	Z PARA LOS LIMITES	AREA BAJO LA CURVA	AREA PARA CADA CLASE
		0	-4.50`30	5.000	
0-5	2.5				4.5401
		5	1.7500	0.4599	
5-10	7.5				4.5401
		10	8.000	5.0000	
10-15	12.5				0.0000
		15	14.250	5.0000	
15-20	17.5				0.0000
		20	20.500	5.0000	
20-2s	22.5				0.0000
		25	26.750	5.0000	



La probabilidad de ocurrencia de los intervalos de clase en los sectores 1 y 2 ha sido obtenida promediando las respectivas probabilidades de ocurrencias en los pozos del correspondiente sector. A continuación se describen los cálculos.

SECTOR N<sup>o</sup> 1

<u>POLO N<sup>o</sup></u>	<u>0-5%S</u>	<u>5-10%S</u>	<u>10-15%S</u>	<u>15-20%S</u>
3	0.1862*	0.1881*	0.2888*	0.1099
3-c	0.1068	0.1649	0.0921	0.1856*
4	0.0572	0.1200	0.1870	0.0008*
3.1	0.0130	0.0424	0.1005	0.1746*
15	0.0824	0.0632	0.0738	0.0815
16	<u>0.0191</u>	<u>0.0817</u>	<u>0.2024*</u>	<u>0.0965</u>
	0.4547	0.6503	0.9446	0.6489
Promedio	0.0775	0.1101	0.1574	0.1082
*Promedio corregido	0.0557	0.0944	0.1134	0.0960
<u>POZO N<sup>o</sup></u>	<u>20-25%</u>	<u>25-30%</u>	<u>30-35%</u>	<u>35-40%</u>
3	0.0189	0.0014	0.0001	0.0000*
3-C	0.1354	0.0765	0.0373	0.0081"
4	0.1873"	0.120%	0.0573	0.0203
11	0.1111	0.2050*	0.1388	0.0685
15	0.0855	0.0634	0.0830	0.0757
16	<u>0.2441</u>	<u>0.1188</u>	<u>0.0336</u>	<u>0.0054*</u>
	0.7823	0.5853	0.3501	0.1780
Promedio	0.1304	0.0976	0.0584	0.0297
*Promedio corregido	0.0877	0.0947	0.0700	0.0548

<u>POZO N°</u>	<u>40-45%</u>	<u>45-50%</u>	<u>50-55%</u>	<u>55-60%</u>
3	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
3-C	0.0030	0.0007	0.0001	0.0000*
4	0.0054	0.0010	0.0002	0.0000
11	0.0248	0.0066	0.0012	0.0002
15	0.0664*	0.0412*	0.0579	0.0334
16	<u>0.0006*</u>	<u>0.0000*</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0000</u>
	0.0996	0.0495	0.0594	0.0336
Promedio	0.0166	0.0083	0.0099	0.0056
	0.0109	0.0162	0.0149	0.0168
*Promedio corregido	0.0109	0.0028	0.0005	0.0002

\* La corrección se la ha hecho descartando valores muy altos o muy bajos.

SECTOR N° 2

<u>POZO N°</u>	<u>0-5%</u>	<u>5-10%</u>	<u>10-15%</u>	<u>15-20%</u>
9	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
17	0.0000"	0.0000*	0.0000	0.0000
19	<u>4.5401*</u>	<u>4.5401*</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0000</u>
	4.5402	4.5402	0.0000	0.0000
Promedio	<u>1.5134</u>	<u>1.5134</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0000</u>
*Promedio corregido	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000

SECTOR N° 3

En esta sea el porcentaje de azufre es menor al 5%, luego el cálculo del tonelaje se lo hizo aritméticamente.

3. Cálculo del contenido de azufre elemental

Este cálculo se lo ha realizado por sector y para todo el yacimiento:

## a. Por sector:

SECTOR N° 1

Area total	184.876 m <sup>2</sup>
"Espesor promedio mineralizado	16.16 m
Densidad del mineral	1.93 ton/m <sup>3</sup>
Toneladas totales de mineral	5.766.061

\*El espesor promedio se calculó aritméticamente, con los datos del espesor mineralizado de cada pozo que está dentro del sector N°1.

Distribución del contenido de azufre

INTERVALO %S	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	*TONELAJE MINERALIZADO	**CONTENIDO PRO MEDIO DE AZUFRE
0-1	0.0775	446.870	11.172
5-10	0.1101	634.843	47.613
10-15	0.1574	907.578	113.447
15-20	0.1082	623.888	109.180
20-25	0.0877	505.684	113.789
25-30	0.0947	546.046	150.063
30-35	0.0700	403.624	131.178
35-40	0.0548	315.980	118.493
40-45	0.0109	62.850	26.711
45-50	0.0028	16.145	7.669
50-55	0.0005	2.883	1.514
55-60	0.0002	<u>1.153</u>	<u>663</u>
T O T A L		4.467.544	831.492

SECTOR N° 2

Area total	62.640 m <sup>2</sup>
Espesor promedio mineralizado	16.63 m.
Densidad del mineral-	1.93 ton/m <sup>3</sup>
Toneladas totales del mineral	1.041.703

DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE AZUFRE

INTERVALO %S	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	*TONELAJE MINERALIZADO	**CONTENIDO PROMEDIO DE AZUFRE
0-5	0.0001	104	2,6
5-10	0.0001	<u>104</u>	<u>7,8</u>
T O T A L :		208	10,4

\*Toneladas totales del mineral x probabilidad de **ocurrencia del intervalo de clase.**

\*\*Tonelaje mineralizado por marca de clase.

SECTOR N<sup>o</sup> 3

Area total	22.700 m <sup>2</sup>
Espesor promedio mineralizado	3.5 m.
Densidad del mineral	1.93 ton/m <sup>3</sup>
Toneladas totales del mineral	153.339

Las toneladas totales del mineral para el sector N<sup>o</sup> 3 han sido consideradas con un contenido de azufre menor al 5%.

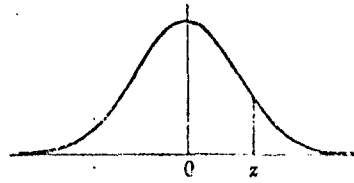
INTERVALO % S	TONELAJE MINERALIZADO				CONTENIDO PROMEDIO DE AZUFRE			
	SECTOR N°1	SECTOR N°2	SECTOR N°3	SUBTOTALES	SECTOR N°1	SECTOR N°2	SECTOR N°3	SUBTOTALES
0-5	446.870	104	153.339	600.313	11.172	2,6	3.833	15.008
5-10	634.843	104		634.843	47.613	7,8		47.621
10-15	907.578			907.578	113.447			113.447
15-20	623.888			623.888	109.180			109.180
20-25	505.684			505.684	113.789			113.789
25-30	546.046			546.046	150.063			150.063
30-35	403.624			403.624	131.178			131.178
35-40	315.980			315.980	118.493			118.493
40-45	82.850			82.850	26.711			26.711
50-55	16.145			16.145	7.669			7.669
55-60	2.883			2.883	1.514			1.514
	1.153			1.153	553			663
<b>TOTALES</b>				<b>4.620.387 ton.</b>				<b>835.336 ton.</b>

## TABLAS

- I. AREA EPJO LA CURVA NORMAL TIPIFICADA DP 0 A Z.
- II. VALOR PRESENTE DE \$1 DEBIDO A N AÑOS A LOS PORCENTAJES DE INTERES COMPUESTO.

TABLA I

AREAS  
BAJO LA  
CURVA NORMAL  
TIPIFICADA  
DE 0 a z



z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0754
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2258	0,2291	<b>0,2324</b>	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2518	0,2549
0,7	0,2580	0,2612	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2996	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4655	0,4664	0,4671	0,4675	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4757
2,0	0,4712	0,4778	<b>0,4783</b>	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3,0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990
3,1	0,4990	0,4991	0,4991	0,4991	0,4992	0,4992	0,4992	0,4992	0,4993	0,4993
3,2	0,4993	0,4993	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4995	0,4995	0,4995
3,3	0,4995	0,4995	0,4995	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4997
3,4	0,4997	0,4997	0,4917	0,4997	0,4397	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4998
3,5	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998
3,6	0,4998	0,4998	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,7	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,8	0,4999	0,4999	0,4939	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,9	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000



VALUATION TABLES

PRESENT VALUE OF A UNIT PRINCIPAL AT COMPOUND INTEREST

TABLE 2

The present value of \$1 due n years hence, at rates of 1, 1¼, 1½, 1¾, 2, 2¼, 2½, 2¾, 3, 3¼, 3½, 3¾, 4, 4¼, 4½, 4¾, 5, 5½, 6, 6½, 7, 7½, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 25, and 30 percent.

Calculated to 5 decimal places and to 50 years.

The factors given in this table represent values of

$$\frac{1}{(1+r)^n}$$

or  $\frac{1}{R^n}$

The factors given in this table are reciprocals of the corresponding factors in Table 1.

$$1 \div R^n = \frac{1}{R^n}$$

If the principal sum to be discounted is other than unity, this sum is multiplied by the factor given in the table to obtain the desired present value

$$V_p = \frac{P}{(1+r)^n}$$

$$= \frac{P}{R^n} = P \times \frac{1}{R^n}$$

$$= P \times \text{Table Factor.}$$

For instance, what is the present value of \$50 due 14 years hence at 6% compound interest?

$$V_p = 50 \times .44230 = \$22.11$$

PRINCIPAL IMPROVEMENT AND DISCOUNT

TABLE 2

Present value of \$1 due n years hence at the following rates percent, compound interest.

Years	14%	15%	16%	18%	20%	25%	30%
1	.87719	.86957	.86207	.84746	.83523	.80000	.76923
2	.76947	.76114	.75316	.71818	.69444	.64000	.59172
3	.67437	.66752	.66106	.60852	.57871	.51200	.45517
4	.59208	.57175	.55229	.51579	.48225	.40800	.35013
5	.51937	.49718	.47611	.43711	.40138	.32758	.26933
6	.45559	.43233	.41044	.37043	.33490	.26214	.20718
7	.39964	.37594	.35383	.31393	.27908	.20972	.15937
8	.35056	.32690	.30503	.26604	.23257	.16777	.12259
9	.30751	.28426	.26295	.22546	.19111	.13422	.09430
10	.26974	.24713	.22668	.19106	.16111	.10737	.07254
11	.23662	.21494	.19542	.16192	.13451	.08590	.05550
12	.20756	.18691	.16846	.13722	.11211	.06872	.04292
13	.18207	.16253	.14523	.11629	.09346	.05498	.03302
14	.15971	.14133	.12520	.09855	.07789	.04398	.02540
15	.14010	.12289	.10793	.08352	.06491	.03513	.01954
16	.12289	.10686	.09304	.07078	.05409	.02815	.01503
17	.10780	.09293	.08011	.05998	.04507	.02252	.01156
18	.09456	.08081	.06914	.05083	.03756	.01801	.00889
19	.08295	.07021	.05961	.04308	.03130	.01441	.00684
20	.07276	.06110	.05139	.03651	.02608	.01153	.00526
21	.06383	.05313	.04430	.03094	.02174	.00922	.00405
22	.05599	.04620	.03819	.02612	.01811	.00738	.00311
23	.04911	.04017	.03292	.02220	.01509	.00590	.00239
24	.04308	.03493	.02838	.01983	.01258	.00472	.00184
25	.03779	.03033	.02447	.01696	.01048	.00378	.00142
26	.03315	.02642	.02109	.01432	.00874	.00302	.00109
27	.02908	.02297	.01818	.01246	.00728	.00242	.00082
28	.02551	.01997	.01567	.01057	.00607	.00193	.00063
29	.02237	.01737	.01351	.00882	.00506	.00157	.00048
30	.01963	.01510	.01165	.00767	.00421	.00124	.00037
31	.01722	.01313	.01004	.00659	.00351	.00103	.00028
32	.01510	.01142	.00866	.00561	.00293	.00083	.00023
33	.01325	.00993	.00746	.00485	.00244	.00068	.00019
34	.01162	.00864	.00643	.00410	.00208	.00053	.00014
35	.01019	.00751	.00555	.00355	.00178	.00041	.00010
36	.00884	.00653	.00478	.00298	.00146	.00031	.00007
37	.00764	.00558	.00412	.00250	.00118	.00021	.00005
38	.00658	.00484	.00355	.00208	.00091	.00013	.00003
39	.00564	.00423	.00306	.00178	.00071	.00008	.00002
40	.00482	.00363	.00264	.00150	.00051	.00005	.00001
41	.00411	.00302	.00228	.00128	.00038	.00003	.00000
42	.00349	.00250	.00182	.00098	.00026	.00001	.00000
43	.00295	.00206	.00144	.00068	.00016	.00000	.00000
44	.00247	.00168	.00112	.00046	.00008	.00000	.00000
45	.00204	.00136	.00084	.00028	.00003	.00000	.00000
46	.00166	.00104	.00056	.00016	.00001	.00000	.00000
47	.00132	.00072	.00028	.00006	.00000	.00000	.00000
48	.00101	.00042	.00012	.00001	.00000	.00000	.00000
49	.00072	.00024	.00004	.00000	.00000	.00000	.00000
50	.00044	.00008	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000

PARKS ROLAND D. Examination and valuation of mineral property

## BIBLIOGRAFIA

1. AVELLA S. JORGE. Pruebas metalúrgicas del mineral de azufre del yacimiento "Río Nasates". Informe para la Zona Minera de Pasto. 1372.
2. Engineering and Mining Journal. Mayo, Junio, julio, agosto y octubre de 1963.
3. GONZALEZ R. JORGE. informe preliminar de los trabajos realizados en "Río Nasates". Corregimiento de Chiles. Zona Minera de Pasto. 1971.
4. LEWIS RICHARD W. Mineral facts and problems. Bureau de Minas. EE.UU. 1969. 1247, 1249, 1264 p.
5. LLOSA PAUTRAT MANUEL. Valuación de Minas (escrito). 1970.
6. Mc KINSTY HUGH EXTON. Geología de Minas. Ediciones Omega. España 1970. 101, 133, 80, 89, 289, 301, 302, 337, 374, 411 p.
7. MEGYESI IMVRE. Estudios sobre los depósitos de Azufre en la mina "El Vinagre", Puracé. Boletín geológico. Colombia. Vol. X. N° 1-3. 1962. 121 p.
8. MURRAY R. - SPIEGEL Ph.D. Teoría y Problemas Estadísti

ca. Shaum. Mc Graw Hill, Colombia. 1969. 69, 88 p.  
(tabla, pág. 343).

9. PARKS ROLAND D. Examination and valuation of mineral property Addison. Wesley Publishing Company Inc. Reading Massachusetts. 1957. 190, 203 p. (Tablas 364, 369 p.)
10. RADELLI L. Boletín Geológico. Colombia. Volumen IX. Enero, diciembre 1961.
11. SAUER WALTHER. Geología del Ecuador. Quito-Ecuador. 1965. 191, 194, 207, 223, 257, 276, 284, 288 p.
12. TAKEDA HIDEO Dr. Informe preliminar: Investigación geológica de los depósitos de azufre en el Distrito del volcán Chiles. Dirección Nacional de Geología - Quito. Ecuador. 1967.
13. THIELER ERICH. El **azufre**. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. 1937 3 p.
14. WHITE JAMES A.L. Native Sulfur Deposits Associated with Volcanic Activity. Mining Engineering. Junio 1968. 47, 50 p.

D-67412  
TESIS

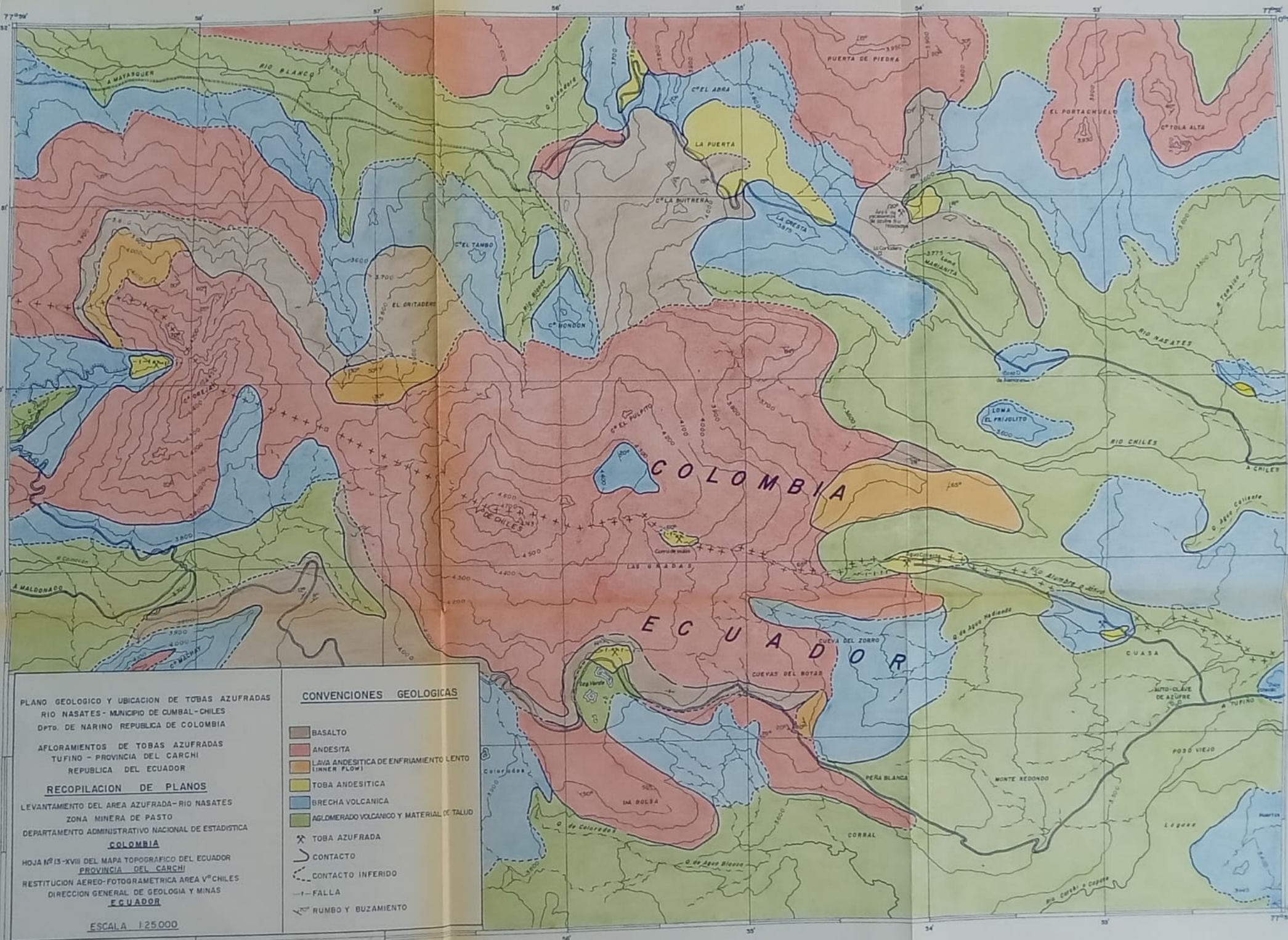
D-67412



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL







PLANO GEOLOGICO Y UBICACION DE TOBAS AZUFRADAS  
 RIO NASATES - MUNICIPIO DE CUMBAL - CHILES  
 DPTO. DE NARIÑO REPUBLICA DE COLOMBIA

AFLORAMIENTOS DE TOBAS AZUFRADAS  
 TUFINO - PROVINCIA DEL CARCHI  
 REPUBLICA DEL ECUADOR

RECOPILACION DE PLANOS  
 LEVANTAMIENTO DEL AREA AZUFRADA - RIO NASATES  
 ZONA MINERA DE PASTO  
 DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA

COLOMBIA  
 HOJA N° 13 - XVIII DEL MAPA TOPOGRAFICO DEL ECUADOR  
 PROVINCIA DEL CARCHI

RESTITUCION AEREO-FOTOGRAFICA AREA V° CHILES  
 DIRECCION GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS  
ECUADOR

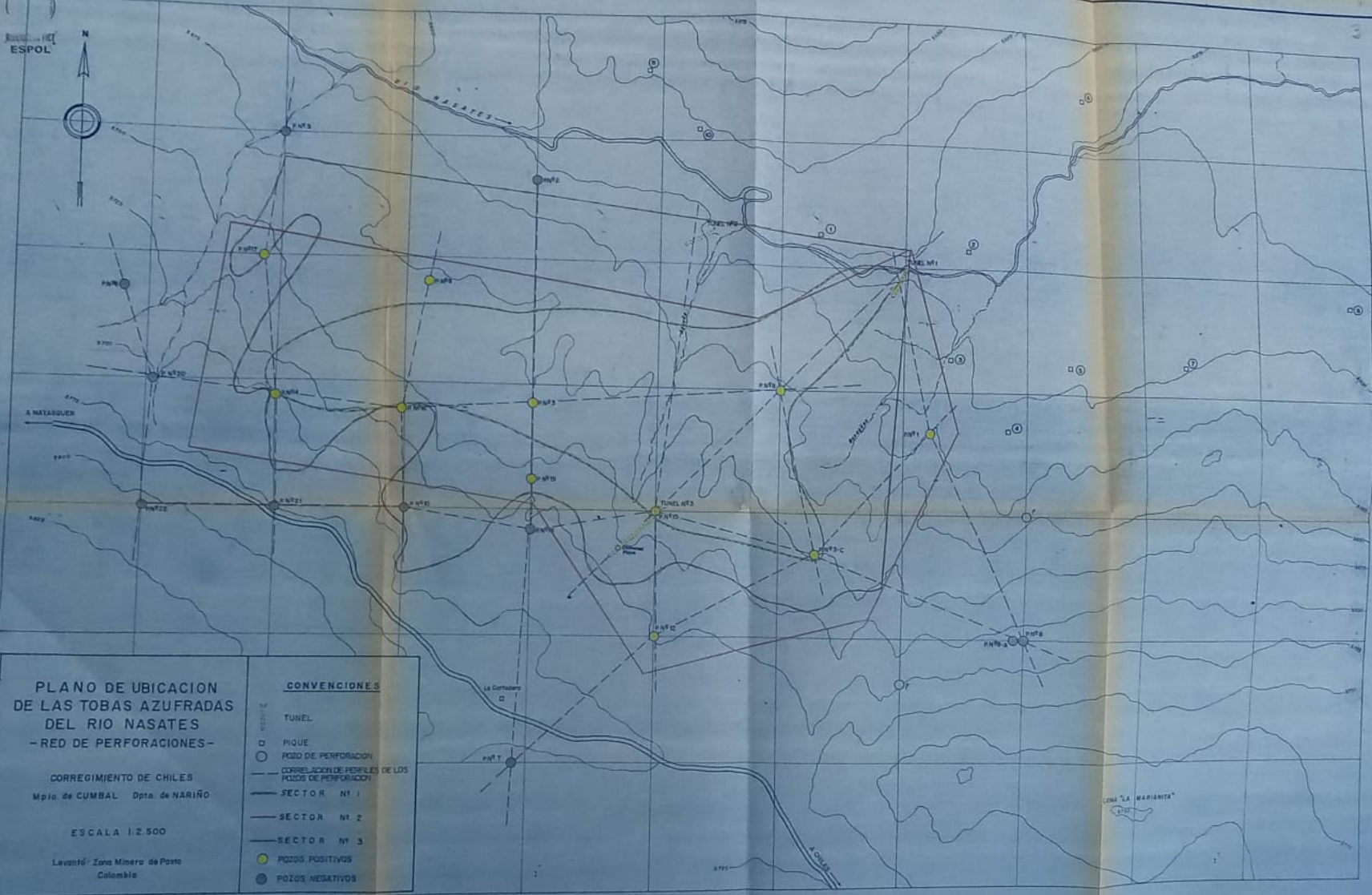
**CONVENCIONES GEOLOGICAS**

- BASALTO
- ANDESITA
- LAVA ANDESITICA DE ENFRIAMIENTO LENTO (INNER FLOW)
- TOBA ANDESITICA
- BRECHA VOLCANICA
- AGLOMERADO VOLCANICO Y MATERIAL DE TALUD
- TOBA AZUFRADA
- CONTACTO
- CONTACTO INFERIDO
- FALLA
- RUMBO Y BUZAMIENTO

ESCALA 1:25,000



ESPOL



**PLANO DE UBICACION  
DE LAS TOBAS AZUFRADAS  
DEL RIO NASATES  
- RED DE PERFORACIONES -**

CORREGIMIENTO DE CHILES  
Mpio. de CUMBAL Dpto. de NARIÑO

ESCALA 1:2.500

Levantó: Zora Mínera de Panto  
Colombia

**CONVENCIONES**

- TUNEL
- PIQUE
- POZO DE PERFORACION
- CORRELACION DE PERFILES DE LOS  
POZOS DE PERFORACION
- SECTOR N° 1
- SECTOR N° 2
- SECTOR N° 3
- POZOS POSITIVOS
- POZOS NEGATIVOS



# PERFIL DE LOS PIQUES

## PROSPECCION DE LAS TOBAS AZUFRADAS - RIO NASATES

ESCALA VERTICAL 1:250

### CONVENCIONES

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



Suelo



Aluvión



Brecha tobácea



Toba andesítica



Toba azufrada

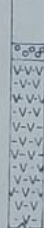


Basalto en capas



Basalto compacto

Nº 1  
Cota-3.608



Nº 2  
Cota-3.592



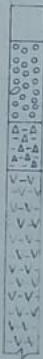
Nº 3  
Cota-3.605



Nº 4  
Cota-3.610



Nº 5  
Cota-3.595



Nº 7  
Cota-3.598



Nº 8  
Cota-3.580



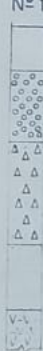
Nº 9  
Cota-3.575



Nº 10  
Cota-3.628



Nº 11  
Cota-3.627





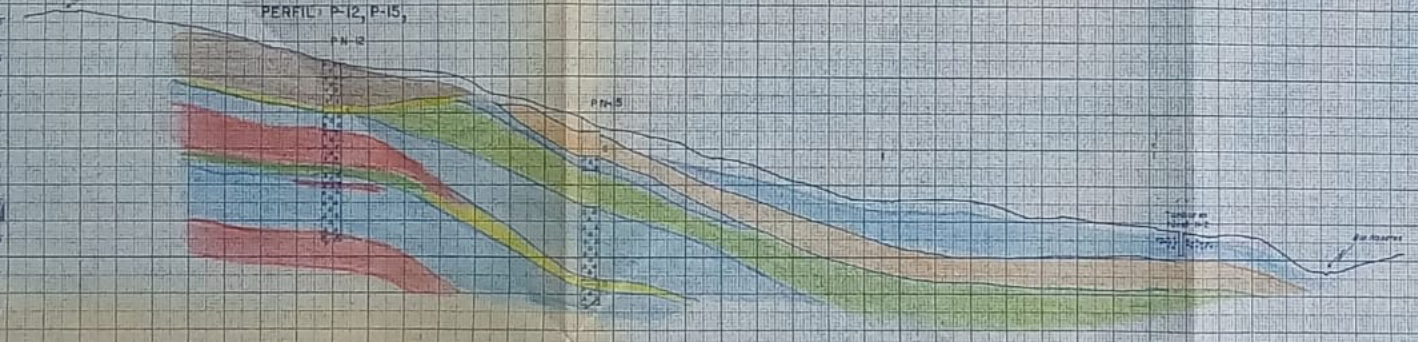
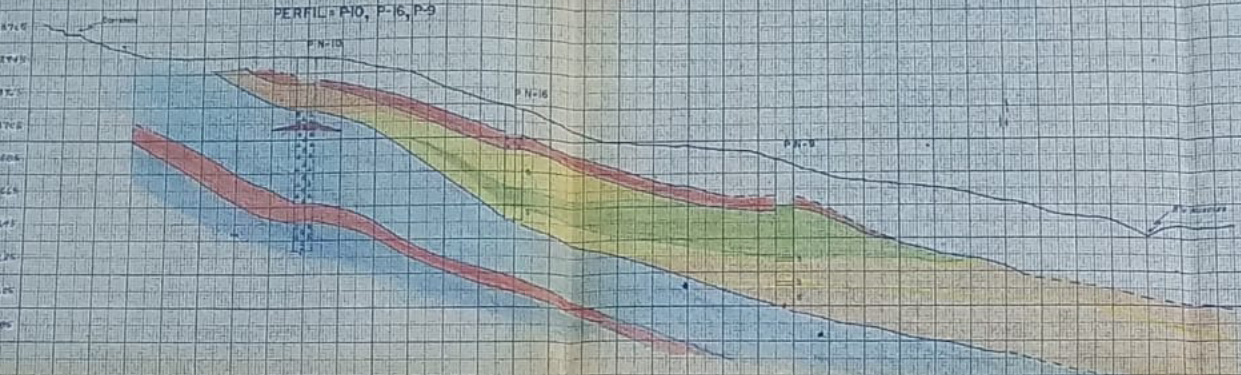
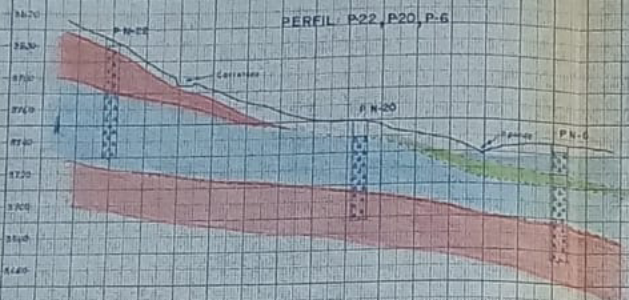
# PERFILES DE PROSPECCION DE AZUFRE

## "RIO NASATES"

RUMBO = S-N

Escala: V=1:2000  
H=1:2000

- ANDESITA
- BASALTO
- BRECHA TOBACEA
- BRECHA TOBACEA AZUFRADA
- ARCILLAS GRIS OBLANCAS
- TOBA ANDESITICA
- TOBA AZUFRADA





# PERFILES DE PROSPECCION DE AZUFRE "RIO NASATES"

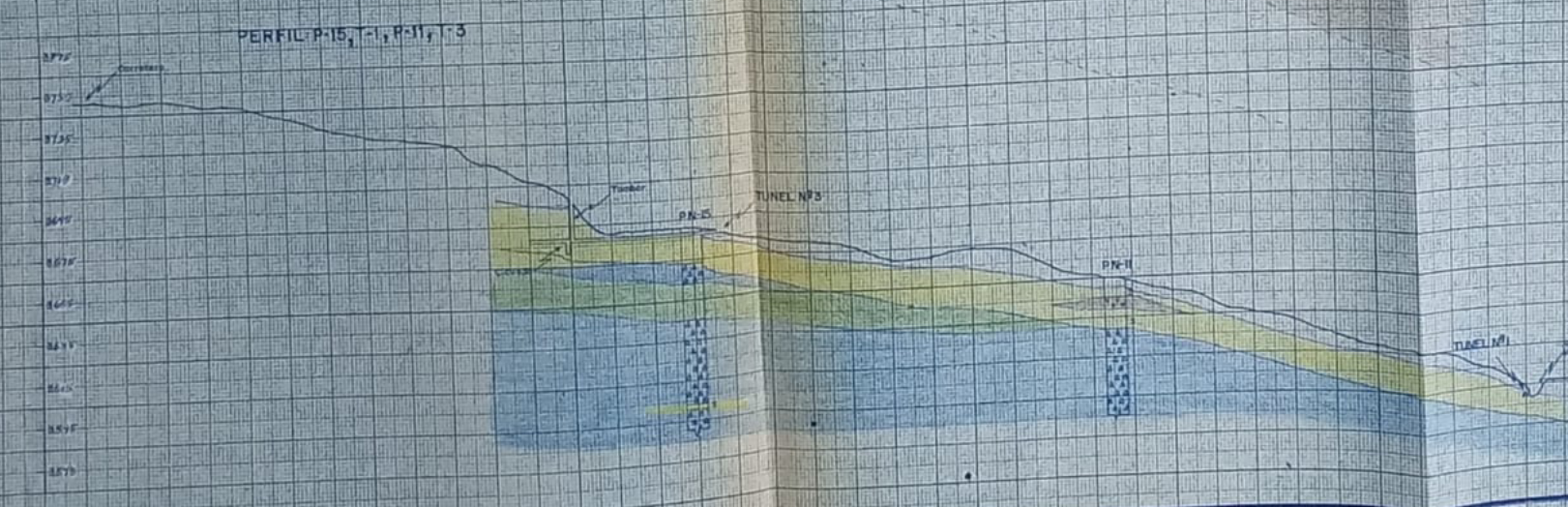
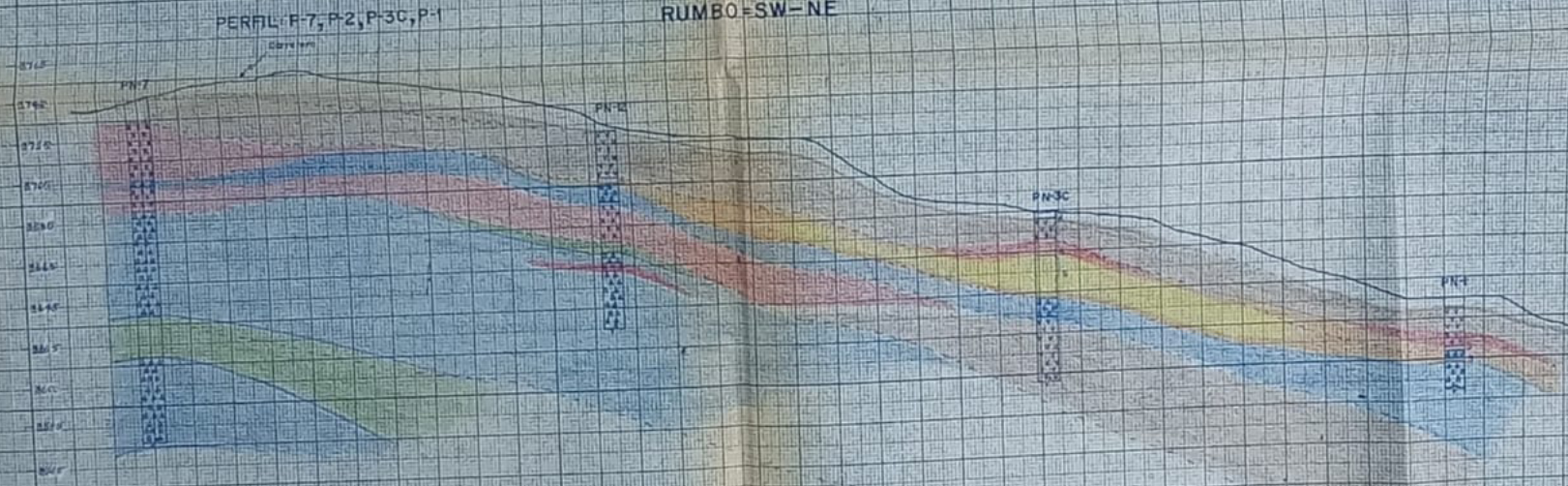
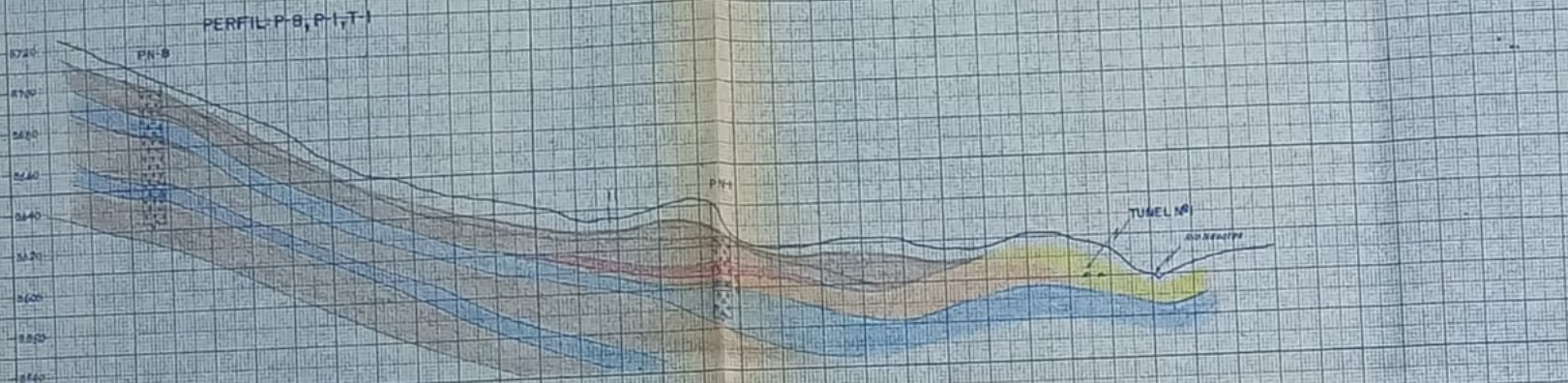
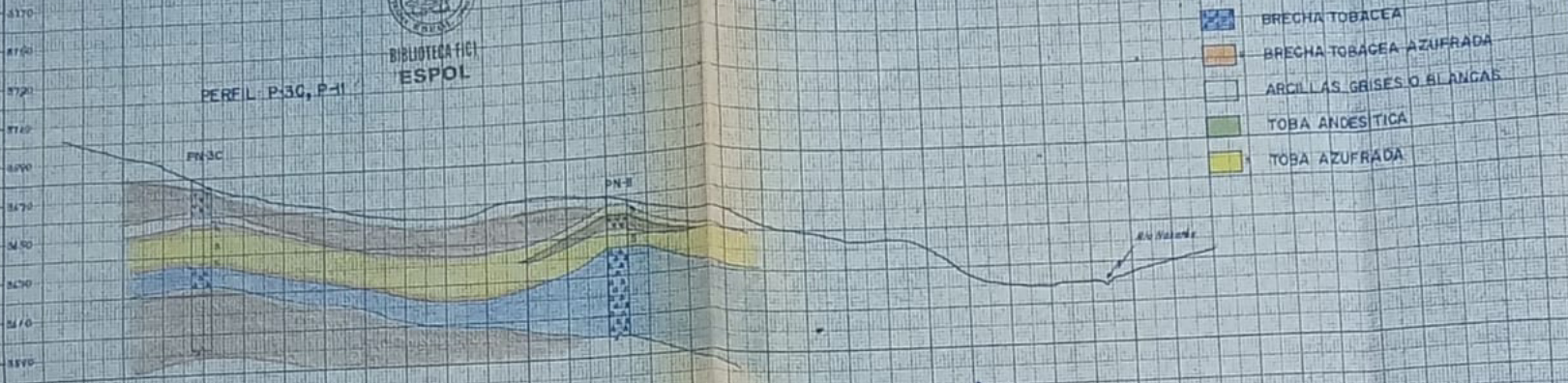


BIBLIOTECA TIC  
ESPOL

RUMBO = SE-NW

Escala: V=2000  
H=2000

- ANDESITA
- BASALTO
- BRECHA TOBACEA
- BRECHA TOBACEA AZUFRADA
- ARCILLAS GRISES O BLANCAS
- TOBA ANDESITICA
- TOBA AZUFRADA





# PERFILES DE PROSECCION DE AZUFRE

## "RIO NASATES"



RUMBO: W-E  
Escala: V=2000  
H=2000

- ANDESITO
- BASALTO
- ARCILLA TRAZADA
- ARCILLA TRAZADA AZULADA
- ARCILLA GRISA CLAYEADA
- TORBA NEGRITA
- TORBA AZULADA

