

# BOLETIN GEOLOGICO

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO-MINERAS

BOGOTA - COLOMBIA

VOLUMEN XX

No. 3

1972

## INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
H.González Iregui      Computadores aplicados a la clasificación química de las rocas ígneas (Métodos C.I. P.W. y Niggli) . . . . .	7
H. González Iregui      Posibles aplicaciones industriales de la serpentinita en Colombia. . . . .	45
J. Cruz Buenaventura      Yacimientos de Hierro en Colombia y depósitos de Hierro en Sudamerica . . . . .	59
D.Barrero, D.Mosquera, J.H. López y C. Buitrago      Geología del Depósito de Plomo - Zinc - Plata Las Nieblas, municipio de Salento, Quindío. . . . .	91
J. Cruz B. R. Vargas H.      Informe sobre los yesos en la Formación Rosablanca en la Mesa de Los Santos . . . . .	105



REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO - MINERAS

BOLETIN GEOLOGICO

VOLUMEN XX,

No. 3

1972

INDICE GENERAL

	<u>Páginas</u>
Humberto González Iregui	
Computadores aplicados a la clasificación química de las rocas ígneas (Métodos C. I. P. W. y Niggli) . . . . .	7 - 44
Humberto González Iregui	
Posibles aplicaciones industriales de la ser- pentinita en Colombia . . . . .	45 - 58
Jaime Cruz Buenaventura	
Yacimientos de Hierro en Colombia y depó- sitos de Hierro en Sudamerica . . . . .	59 - 89
Darío Barrero, Darío Mosquera, José H. López y Carlos Buitrago	
Geología del Depósito de Plomo-Zinc-Plata, Las Nieblas, municipio de Salento, Quindío	91 - 103
Jaime A Cruz B., Rodrigo Vargas H.	
Informe sobre los yesos en la Formación Ro- sablanca en la Mesa de Los Santos. . . . .	105 - 129

*La responsabilidad de los conceptos emitidos en este Boletín Geológico corresponden exclusivamente a sus autores.*

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
GEOLOGICO-MINERAS**

**Informe No. 1548**

**COMPUTADORES APLICADOS A LA CLASIFICACION QUIMICA  
DE LAS ROCAS IGNEAS**

**METODOS C. I. P. W. y NIGGLI**

**Por**

**Humberto González Iregui**  
Ingeniero-Geólogo

**BOGOTA, AGOSTO DE 1969**

53604

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN . . . . .	9
CALCULO DE LA NORMA Y CLASIFICACION SEGUN C.I.P.M . . . . .	9
DISCUSION TEORICA . . . . .	9
MOLECULAS MINERALES NORMATIVAS . . . . .	10
CALCULO DE LA NORMA . . . . .	12
CALCULOS . . . . .	13
ENTRADA Y SALIDA DE INFORMACION . . . . .	15
DISEÑO DE SALIDA DE INFORMACION DATOS PARA CLASIFI- CACION . . . . .	16
DIAGRAMA DE FLUJO PARA PROGRAMA DE CALCULO DE MO- LES DE LOS MINERALES DE LA NORMA . . . . .	17 a 25
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROGRAMA DE CLASIFICACION . . . . .	26 a 35
CALCULO DE LOS PARAMETROS DE NIGGLI A PARTIR DE LOS POR- CENTAJES POR PESO . . . . .	36
COMPOSICION NORMATIVA SIMPLIFICADA A PARTIR DE LOS PARAMETROS DE NIGGLI . . . . .	38
DIAGRAMA DE FLUJO PARA PROGRAMA DE CALCULO DE PA- RAMETROS DE NIGGLI Y NORMA SIMPLIFICADA . . . . .	40 a 43
BIBLIOGRAFIA . . . . .	44

## RESUMEN

Existen diversos métodos para clasificar las rocas de acuerdo a su análisis químico. Uno de los más empleados ha sido el de C.I.P.W. que da una composición teórica calculada o normativa. Al contrario de la composición actual o modal de la misma.

Esta clasificación nos indicaría una composición teórica del magma que dió origen a la roca actual.

Debido a lo extenso de los cálculos necesario para determinar los constituyentes de la norma y luego los cálculos para clasificar la roca, se hizo necesario dividir en dos partes el programa. En la primera se hacen los cálculos necesarios para determinar el

número de moles de cada uno de los constituyentes de la norma y en la segunda parte, tomando como datos los resultados del primer programa, se hace la clasificación de la roca.

Con el presente trabajo se busca una aplicación más amplia de los computadores a la Geología y además, el simplificar los cálculos necesarios para la clasificación química de las rocas ígneas, hace posible un estudio más detallado de las rocas ígneas buscando las posibilidades económicas de los magmas que dieron origen a dichas rocas, separando las diversas provincias magmáticas del país.

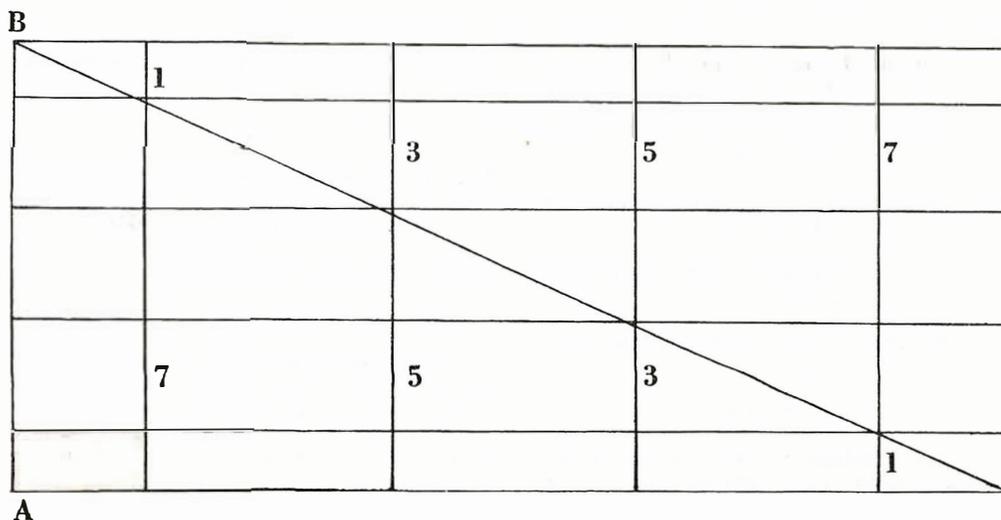
## CALCULO DE LA NORMA Y CLASIFICACION SEGUN C.I.P.M.

## DISCUSION TEORICA

En el sistema C.I.P.W., las moléculas de minerales hipotéticos se denominan minerales "standard" en contraste con los minerales modales que son los que actualmente se encuentran en la roca. Una lista de los minerales standard se da un poco más adelante. Debido a su composición variable y compleja los piroxenos y anfíboles alumínicos, mica, melilita y granate no se incluyen y en su lugar se usan kaliophilita, acmita, diopsido, hipersteno y otros.

La norma es la composición mineralógica calculada de la roca, en contraste con la composición actual o modo. De acuerdo a las proporciones de los minerales normativos se hacen divisiones arbitrarias. Cinco grupos diferentes (fig. 1), A - B, en los cuales los valores límites para A son: 100 - 87.5 ; 87.5 - 62.5 ; 62.5 - 37.5 ; 37.5 - 12.5 y 12.5 - 0. Las relaciones entre A y B son 7.00, 1.667, 0.600 y 0.143.

FIG. 1.- División de clases en el sistema C.I.P.W.



En todo el sistema los diferentes grupos van numerados y llevan los siguientes prefijos:

1. A extrema sobre B. Prefijo por a A
2. A dominante sobre B. Prefijo do a A
3. A aproximadamente igual a B. No tiene prefijo.

4. B dominante sobre A. Prefijo do a B
5. B extrema sobre A. Prefijo per a B

Como se indica en seguida, las moléculas minerales standard se dividen en dos grupos principales llamados salic y femic respectivamente.

#### MOLECULAS MINERALES NORMATIVAS

##### (Grupo Salic)

Cuarzo (Q)	SiO <sub>2</sub>								
Coridón (C)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Zircón (Z)	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>							
Ortoclasa (or)	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6SiO <sub>2</sub>						
Albita (ab) F	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6SiO <sub>2</sub>						
Anortita (an)	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2SiO <sub>2</sub>						
Leucita (Lc)	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AsiO <sub>2</sub>						
Nefelina (ne) L	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2SiO <sub>2</sub>						
Kaliophilite (kp)	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2SiO <sub>2</sub>						
Halita (hl)	NaCl								
(Grupo Femic)									
Acrmita (ac)	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4SiO <sub>2</sub>						
Metasilicato de Sodio (ns)	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>							
Metasilicato de Potasio (ks)	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>							
Diópsido (di) P. .	CaO	(Mg,Fe)O	SiO <sub>2</sub>						
Wollastonita (wo)	CaO	SiO <sub>2</sub>							
Hipersteno (hy)	(Mg,Fe)	O	SiO <sub>2</sub>						
Olivino (ol)	2(Mg,Fe)	O	SiO <sub>2</sub>						
O . . . . .									
Ortosilicato de calcio (cs)	2 (CaO		SiO <sub>2</sub>						
Magnetita (mt)	FeO		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						
Cromita (cm) H	FeO		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						
Hematita (hm)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
M . . . . .									
Ilmenita (il)	FeO		TiO <sub>2</sub>						
Titanita (tn) T	CaOTiO <sub>2</sub>		SiO <sub>2</sub>						
Perovskita (pf)	CaO	TiO <sub>2</sub>							
Rutilo (ru)	TiO <sub>2</sub>								
Apatito (ap)	3(3Ca2P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		CaF <sub>2</sub>						
Fluorita (fr) A	CaF <sub>2</sub>								
Pirita (pr)	FeS <sub>2</sub>								

##### Clases

Las clases se determinan por la relación SALIC-FEMIC. Las cinco clases son las siguientes:

- I Persalic. Relación salic: femic mayor de 7.00
- II Dosalic. Relación salic: femic entre 7.00 y 1.667
- III Salfemic. Relación salic. femic entre 1.667 y 0.60
- IV Dofemic. Relación salic: femic entre 0.60 y 0.143
- V Perfemic. Relación salic: femic menor 0.143

##### Subclases

Las subclases se basan en las proporciones de partes de los grupos salic y femic.

La mayor parte de las rocas ígneas está dentro de la subclase I, cualquiera que sea la clase.

##### Salic

- Parte 1. Cuarzo, feldespato, feldespatoides
- Parte 2. Coridón, zircón.

##### Femic

- Parte 1. Piroxenos, olivino, ortosilicato de calcio, magnetita, hematita, ilmenita, rutilo, titanita, perovskita
- Parte 2. Apatito, fluorita, pirita

##### Orden

Los órdenes se basan en las proporciones de las moléculas minerales de la parte 1 de cada clase. En las tres primeras clases existen divisiones diferentes teniendo en cuenta las relaciones de cuarzo o feldespatoides a feldespatos (fig. 2).

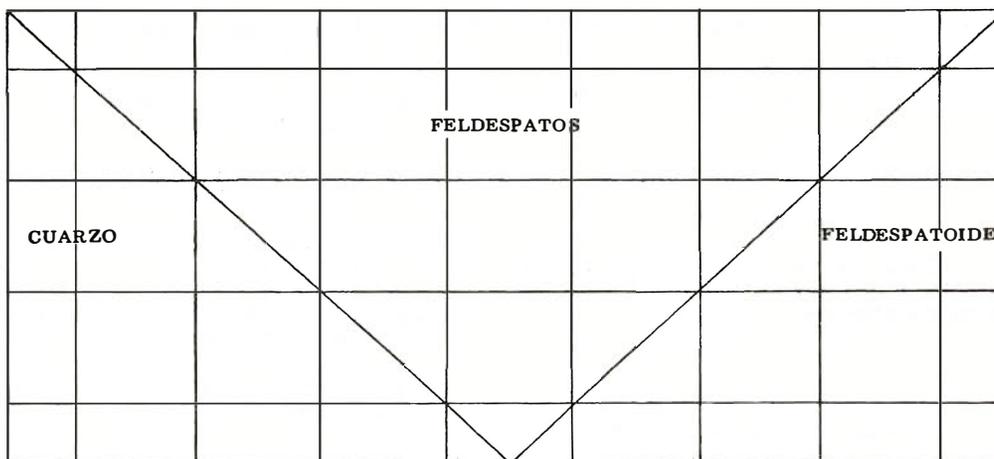


FIG. 2.- Ordenes en las clases I II III del sistema C.I.P.W.

*Ordenes en las Clases I, II y III*

- Orden 1 (perquaric) Relación Q: F Mayor de 10.0
- Orden 2 (feldoquaric) Relación Q: F Entre 10.0 y 1.5
- Orden 3 (quarfelic) Relación Q: F Entre 1.5 y 0.7
- Orden 4 (quardofelic) Relación Q: F Entre 0.7 y 0.1
- Orden 5 (perfelic) Relación Q: F Menor de 0.1  
Relación F: L Mayor de 10
- Orden 6 (lendofelic) Relación F: L Entre 10.0 y 1.5
- Orden 7 (lendofelic) Relación F: L Entre 1.5 y 0.7
- Orden 8 (feldolenic) Relación F: L Entre 0.7 y 0.1
- Orden 9 (perlenic) Relación F: L Menor de 0.1

*Ordenes en clases IV y V*

- Orden 1 (perpolitic) Relación (P - O): M Mayor de 10.0
- Orden 2 (dopolitic) Relación (P - O): M Entre

10.0 y 1.5

- Orden 3 ( (polmitic) Relación (P - O): M Entre 1.5 y 0.7
- Orden 4 (domitic) Relación (P - O): M Entre 0.7 y 0.1
- Orden 5 (permitic) Relación (P - O): M Menor de 0.1

En las clases IV y V las órdenes se subdividen en secciones. Las secciones en los órdenes 1, 2 y 3, son:

- Sección 1 (perpiric) Relación P: O Mayor de 10.0
- Sección 2 (dopiric) Relación P: O Mayor de 10.0
- Sección 3 (pirolic) Relación P: O Entre 1.5 y 0.7
- Sección 4 (domolic) Relación P: O Entre 0.7 y 0.1
- Sección 5 (perolic) Relación P: O Menor de 0.1

En el orden 4 las secciones son:

- Sección 1-2 (prepiric) Relación P: O Mayor de 1.5

Sección 3 (pirolic) Relación P: O Entre 1.5 y 0.7

Sección 4-5 (preolic) Relación P: O Menor de 0.7

En el orden 5 no hay subdivisiones.

#### Sub-órdenes

Rara vez son necesarias, pero ellos pueden formarse de manera análoga a las otras subdivisiones.

#### Rangos

En estas divisiones las moléculas de los óxidos y las no minerales se comparan. En las clases I, II y III, los órdenes se basan en la relación de los alcalinos, en los minerales del grupo salic y el calcio del mismo grupo.

Rango 1 (peralkalic) Relación  $SK_2O + SNa_2O$ :  $SCaO$  mayor de 10.0

Rango 2 (domalkalic) Relación  $(SK_2O + SNa_2O)$ :  $SCaO$  entre 10.0 y 1.5

Rango 3 (alkalicalcic) Relación  $(SK_2O + SNa_2O)$ :  $SCaO$  entre 1.5 y 0.7

Rango 4 (docalcic) Relación  $(SK_2O + SNa_2O)$ :  $SCaO$  entre 0.7 y 0.1

Rango 5 (percalcic) Relación  $(SK_2O + SNa_2O)$ :  $SCaO$  menor de 0.1

En las clases IV y V los rangos se basan en la relación entre el total de magnesio y hierro ferroso (No incluyendo el  $Fe_2O_3$  calculando como  $FeO$ ) más los alcalinos del grupo fémico y el calcio del mismo grupo.

Rango 1 (permiric) Relación  $(MgO + FeO + FNa_2O)$ :  $FCaO$  mayor de 10.0

Rango 2 (domiric) Relación  $(MgO + FNa_2O)$ :  $FCaO$  entre 1.5 y 0.7

Rango 3 (calcimintic) Relación  $(MgO + FeO + FNa_2O)$ :  $FCaO$  entre 1.5 y 0.7

Rango 4 (docalcic) Relación  $(MgO + FeO + FNa_2O)$ :  $FCaO$  entre 0.7 y 0.1

Rango 5 (percalcic) Relación  $(MgO + FeO + FNa_2O)$ :  $FCaO$  menor de 0.1

#### Subrangos

Los subrangos en las clases I, II y III, se basan en la relación entre  $K_2O$  y  $Na_2O$  del grupo sálico. En los rangos 1, 2 y 3, los subrangos son:

Subrango 1 (perpotasic) Relación  $SK_2O$ :  $SNa_2O$  mayor de 10.0

Subrango 2 (dopotasic) Relación  $SK_2O$ :  $SNa_2O$  entre 10.0 y 1.5

Subrango 3 (sodipotasic) Relación  $SK_2O$ :  $SNa_2O$  entre 1.5 y 0.7

Subrango 4 (dosodic) Relación  $SK_2O$ :  $SNa_2O$  entre 0.7 y 0.1

Subrango 5 (persodić) Relación  $SK_2O$ :  $SNa_2O$  menor de 0.1

En el rango 4 de las clases I, II y III, los subrangos son:

Subrango 1-2 (prepotasic) Relación  $SK_2O$ :  $SNa_2O$  mayor de 1.5

Subrango 3 (sodipotasic) Relación  $SK_2O$ :  $SNa_2O$  entre 1.5 y 0.7

Subrango 4-5 (presodic) Relación  $SK_2O$ :  $SNa_2O$  menor de 0.7

En el rango 5 de las mismas clases no hay subdivisiones. En los rangos 1, 2 y 3, de las clases IV y V los subrangos se basan en la relación  $MgO$ :  $(FeO + FNa_2O)$ .

Subrango 1 (permagenesic) Relación  $MgO$ :  $(FeO + FNa_2O)$  mayor de 10.0

Subrango 2 (domagnesic) Relación  $MgO$ :  $(FeO + FNa_2O)$  entre 10.0 y 1.5

Subrango 3 (magnesiferros) Relación  $MgO$ :  $(FeO + FNa_2O)$  entre 1.5 y 0.7

Subrango 4 (doferrous) Relación  $MgO$ :  $(FeO + FNa_2O)$  entre 0.7 y 0.1

Subrango 5 (porferrous) Relación  $MgO$ :  $(FeO + FNa_2O)$  menor de 0.1

En el rango 4 de las clases IV y V los subrangos son:

Subrango 1-2 (premagnesic) Relación  $MgO$ :  $(FeO + FNa_2O)$  mayor de 1.5

Subrango 3 (magnesiferrous) Relación  $MgO$ :  $(FeO + FNa_2O)$  entre 1.5 y 0.7

Subrango 4-5 (preferrous) Relación  $MgO$ :  $(FeO + FNa_2O)$  menor de 0.7

#### CALCULO DE LA NORMA

Ciertos constituyentes entran únicamente en aquellas moléculas que no pueden cambiar. Así  $ZrO_2$  aparece únicamente en Zircón,  $P_2O_5$  en Apatito. Otras constituyentes pueden formar diferentes moléculas

minerales de acuerdo a la cantidad presente de otras constituyentes. Potasio puede formar ortoclasa, leucita o kaliophilita, y sodio formar albita o nefelina según la cantidad disponible de sílice.

La alúmina, siempre entra en la proporción 1: 1 con potasio, sodio y calcio en los minerales del grupo sálico: ortoclasa, leucita, kaliphilita, albita, nefelina y anortita. En estos minerales cualquier mención de potasio, sodio o calcio, indica que se emplean igual número de moléculas de alúmina. Solamente el calcio de la anortita se considera como sálico, el exceso es fémico.

#### CALCULOS

- 1.) Se calcula el número molecular (cantidad) de cada constituyente dividiendo el porcentaje (en peso) por su peso molecular.
- 2.) Las cantidades de MnO y NiO se suman a la de FeO y las de BaO y SrO a la de CaO.
- 3.) Se toma una cantidad de CaO igual a 3.33 la de  $P_2O_5$  para formar apatito.  
Si hay F se toma una cantidad de CaO igual a 3.00 la de  $P_2O_5$  y 0.33 la de F para formar el apatito.
- 3b.) Se toma una cantidad de Na<sub>2</sub>O igual a la de CL para formar halita.
- 3c.) Una cantidad de FeO igual a la de S (o del S dado como  $SO_3$ ) para formar piritita.
- 3d.) Una cantidad de FeO igual a la de  $Cr_2O_3$  para formar cromita.
- 3e.) Una cantidad de FeO igual a la de  $TiO_2$  para formar ilmenita. Si hay exceso de  $TiO_2$  se toma una cantidad igual de CaO para formar titanita provisional, pero solo después de haber tomado el CaO necesarios para formar anortita (regla 4d). Si aún hay exceso de  $TiO_2$  éste se calcula como rutilo.
- 3f.) Se toma una cantidad de CaO igual a la mitad del F restante para formar fluorita.
- 3g.) Se toma todo el  $ZrO_2$  para formar zircon.
- 4a.) Se toma una cantidad de  $Al_2O_3$  igual a la de  $K_2O$  para formar ortoclasa provisional.
- 4b.) Si la cantidad presente de  $K_2O$  es mayor que la de  $Al_2O_3$  (un exceso muy raro) el exceso

raro) el exceso de  $K_2O$  se calcula como metasilicato de potasio.

- 4c.) Se toma una cantidad de  $Na_2O$  igual al exceso de  $Al_2O_3$  sobre  $K_2O$  para formar albita provisional. Si la cantidad de  $Al_2O_3$  es insuficiente se sigue la regla 4g.
- 4d.) Si la cantidad de  $Al_2O_3$  es mayor que la de  $Na_2O + K_2O$  se toma una cantidad de  $Al_2O_3$  igual al exceso de CaO para formar anortita.
- 4e.) Si hay exceso de  $Al_2O_3$  sobre CaO, el exceso se calcula como corindón.
- 4f.) Si hay exceso de CaO sobre  $Al_2O_3$ , éste se considera como fémico y se usa para formar diópsido y wollastonita (reglas 7a y 7b).
- 4g.) Si en la regla 4c hay exceso de  $Na_2O$  sobre  $Al_2O_3$  éste se usa para formar acmita y metasilicato de sodio (reglas 5a, 5b) y en este caso no hay anortita en la norma.
- 5a.) Una cantidad de  $Fe_2O_3$  igual al exceso de  $Na_2O$  sobre  $Al_2O_3$  (regla 4g) para formar acmita.
- 5b.) Si hay un exceso de  $Na_2O$  sobre  $Fe_2O_3$  (exceso raro), éste se calcula como metasilicato de sodio.
- 5c.) Si, y usualmente sucede, hay un exceso de  $Fe_2O_3$  sobre el  $Na_2O$  remanente, el exceso se toma para formar magnetita, tomando igual cantidad del FeO sobrante después de formar piritita, cromita e ilmenita.
- 5d.) Si hay exceso de  $Fe_2O_3$  éste se calcula como hematita.
- 6.) Todo el MgO y FeO remanente después de formar los minerales anteriores (reglas 3d, 3e, 3f y 5c) se suman y se calculan su proporción relativa.
- 7a.) La cantidad remanente de CaO después de formar la anortita (regla 4d) se toma con igual cantidad de  $MgO + FeO$  para formar diópsido. La proporción relativa de estos dos debe conservarse.
- 7b.) Si hay exceso de CaO éste se toma para formar wollastonita provisional.
- 7c.) Si hay exceso de ( $MgO + FeO$ ) en 7a, se forma hipersteno provisional. En seguida se considera la distribución de la sílice.

- 8a.) Se suma la cantidad de  $\text{SiO}_2$  usada hasta el momento de acuerdo a las siguientes relaciones: a la de  $\text{ZrO}_2$  para zircón (1:1), a la de  $\text{CaO}$  para titanita (1:1), al exceso de  $\text{Na}_2\text{O}$  para acmita (4:1), al exceso de  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  para metasilicatos de potasio y sodio (1:1), a la de  $\text{K}_2\text{O}$  para ortoclasa provisional (6:1), a la de  $\text{CaO}$  para anortita provisional (4:1), a la de  $\text{CaO} + (\text{Mg Fe})\text{O}$  para wollastonita provisional (1:1) y la de  $(\text{Mg Fe})\text{O}$  para hipersteno (1:1).

Las cantidades de  $\text{SiO}_2$  así asignadas se sustentan del total de sílice.

- 8b.) Si hay exceso de  $\text{SiO}_2$  éste se calcula como cuarzo.
- 8c.) Si hay deficiencia de sílice, el  $\text{SiO}_2$  tomado para el hipersteno se resta de la suma de  $\text{SiO}_2$  en 8a; el residuo anterior se resta del total de  $\text{SiO}_2$ . Si hay un exceso de  $\text{SiO}_2$  mayor que la mitad de  $(\text{Mg Fe})\text{O}$  de la regla 7c, se forma hipersteno y olivino de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$x = 2S - M \quad (1)$$

$$y = M - x \quad (2)$$

x = número de moléculas de hipersteno

y = número de moléculas de olivino

M = cantidad disponible de  $(\text{Mg Fe})\text{O}$

S = Cantidad disponible de  $\text{SiO}_2$

- 8d.) Si hay deficiencia de  $\text{SiO}_2$  en 8c, el  $\text{SiO}_2$  tomado para titanita se resta de la suma de  $\text{SiO}_2$  en 8a y el  $\text{CaO}$  y  $\text{TiO}$  se calculan como perofskita ( $\text{CaO TiO}_2$ ).

- 8e.) La suma de  $\text{SiO}_2$  necesaria para formar las moléculas de 8a, se resta del total de  $\text{SiO}_2$ , excepto que se ha sustituido hipersteno por olivino y titanita por perofskita y no se incluye albita. Si hay un residuo mayor que dos veces la cantidad de  $\text{Na}_2\text{O}$  empleada en la albita provisional el residuo se distribuye entre albita y nefelina de acuerdo a las ecuaciones 3 y 4. Si el residuo es menor se sigue 8f.

$$x = \frac{S - 2N}{4} \quad (3)$$

$$y = N - y \quad (4)$$

x = número de moléculas de albita.

y = número de moléculas de nefelina.

N = cantidad disponible de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

S = cantidad disponible de  $\text{SiO}_2$ .

- 8f.) Si en 8e hay déficit de  $\text{SiO}_2$ , todo el  $\text{Na}_2\text{O}$  se toma para formar nefelina y el  $\text{K}_2\text{O}$  se distribuye entre ortoclasa y leucita como sigue: En la suma de  $\text{SiO}_2$  de 8a se reemplaza hipersteno por olivino, titanita por perofskita y albita por nefelina y no se tiene en cuenta la ortoclasa. Esta suma se resta del  $\text{SiO}_2$  total en la roca si hay un exceso mayor que cuatro veces la cantidad de  $\text{K}_2\text{O}$  se forman ortoclasa y leucita. Si es menor se sigue 8g.

$$x = \frac{S - 4k}{2} \quad (5)$$

$$y = k - x \quad (6)$$

x = número de moléculas de ortoclasa

y = número de moléculas de leucita

k = cantidad disponible de  $\text{K}_2\text{O}$

S = cantidad disponible de  $\text{SiO}_2$

- 8g.) Se distribuyen el  $\text{CaO}$  del diópsido y wollastonita entre éstos y ortosilicato de calcio, y el  $(\text{Mg Fe})\text{O}$  del diópsido y olivino según la cantidad disponible de  $\text{SiO}_2$ . Hay dos casos posibles:

En el caso más común cuando no hay wollastonita o su cantidad es insuficiente para suplir la deficiencia de  $\text{SiO}_2$ . Se forma leucita con todo el  $\text{K}_2\text{O}$  disponible. Se suma el  $\text{SiO}_2$  necesario para formar leucita, nefelina, anortita, acmita, olivino (de regla 8c), zircón y metasilicato de sodio, cantidad así usada se resta del total de  $\text{SiO}_2$  y el residuo es la sílice disponible.

$$x = \frac{2S - M - C}{2} \quad (7)$$

$$Y = \frac{M - X}{2} \quad (8)$$

$$Z = \frac{C - X}{2} \quad (9)$$

X = número de nuevas moléculas de diópsido.

Y = número de moléculas de olivino.

Z = número de moléculas de ortosilicatos de calcio.

- S = cantidad disponible de SiO<sub>2</sub>.
- M = cantidad de (MgFe)O del diópsido provisional.
- C = cantidad de CaO del diópsido y wollastonita provisional.

Si el residuo de sílice calculado es menor que la mitad de la suma de las moléculas CaO, (MgFe)O del diópsido y olivino provisionales se sigue regla 8h.

En el segundo caso, cuando hay suficiente wollastonita provisional, se suma la cantidad de SiO<sub>2</sub> necesario para formar leucita, nefelina, anortita, acmita, diópsido, olivino y wollastonita provisional. Se hace la diferencia entre el SiO<sub>2</sub> total y la suma total. El residuo es el número de moléculas de ortosilicato de calcio, y también la cantidad de SiO<sub>2</sub> que se le debe asignar. La cantidad de CaO que requiere es el doble del residuo. El resto de CaO se toma para formar wollastonita, y el diópsido no se cambia.

8h) Si no hay suficiente SiO<sub>2</sub> para formar diópsido, se forma kaliophilita distribuyendo el K<sub>2</sub>O entre éste y leucita. En este caso no existen diópsido y wollastonita en la norma y el CaO empleado en éstos se usa para formar ortosilicato de calcio y el (MgFe)O como livino. La suma de SiO<sub>2</sub> necesario para nefelina, anortita, acmita, metasilicato de sodio, olivino, ortosilicato de calcio y zircón. Esta suma se sustrae del SiO<sub>2</sub> total y el residuo es la cantidad de SiO<sub>2</sub> disponible y las cantidades de leucita y kaliophilita se calculan de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$x = \frac{S - 2K}{2} \quad (10)$$

$$y = \frac{4K - S}{2} \quad (11)$$

- x = número de moléculas de leucita.
- y = número de moléculas de kaliophilita.
- S = cantidad disponible de SiO<sub>2</sub>.
- K = cantidad de K<sub>2</sub>O.

- 9). Habiendo ajustado las cantidades de SiO<sub>2</sub> y todos los otros constituyentes se calculan los porcentajes en peso.
- 10). Se determina la posición del magma en la clasificación calculando la clase, orden, sección, rango y subrango.

ENTRADA Y SALIDA DE INFORMACION

El programa tiene como únicos datos el resultado del análisis químico de la roca.

Estos resultados son los diversos óxidos dados en porcentaje por peso.

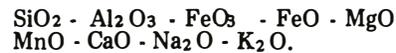
Los óxidos que entran en los cálculos son los siguientes: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, MnO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub>, Cl, F, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BaO, SrO, ZrO<sub>2</sub>, NiO, (en total 19 óxidos).

En la entrada de información del programa se debe seguir el orden anterior y cuando alguno (s) de los óxidos anteriores no exista, entonces se perfora como 0.00.

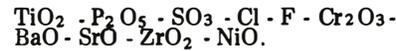
Como el análisis químico por lo general se da con dos cifras decimales como máximo, se utiliza en formato F7.2 Format (F7.2, F7.2, F7.2, F7.2, F7.2, F7.2, F7.2).

Por lo tanto en las tarjetas de datos van los en peso de:

1. Tarjeta:



2. Tarjeta:



Como resultados del primer programa se obtienen los valores moleculares de los constituyentes de la norma. Además como primeras tarjetas de resultados se obtienen dos tarjetas que son necesarias para la clasificación de la roca.

El formato de salida es F10.4 y se tienen las siguientes tarjetas Format (F10.4, F10.4, F10.4, F10.4, F10.4).

1. Tarjeta

	AMGO	CaO	Na <sub>2</sub> O	FeO	FeO	
2	AMGD	FeOD	AMGH	FeOH	AMGOL	FeOO
3	Q	C	Z	OR	AB	
4	AN	LC	NE	HL	Ac	
5	NS	KS	DI	WO	HI	TN
6	OL	CS	MT	CM	HM	PF
7	IL	RU	AP	FR	PR	KP

En el segundo programa se utilizan como datos los resultados del primer programa utilizando exactamente el mismo formato.

En los resultados de este programa se obtiene primero una serie de tarjetas con los datos utilizados para la clasificación que son

los valores moleculares transformados a porcentajes por peso de los constituyentes de la norma y luego aparece la clasificación definitiva de la roca.

Los formatos de salida del segundo programa son los siguientes:

- a) Formato de impresión de los datos para la clasificación FORMAT (18X, 24H Datos para la clasificación, 1).
- b) Formato para la distribución de los datos para clasificación: FORMAT (F10.4, F10.4, F10.4, F10.4, F10.4, F10.4).
- c) Formato que deja un espacio en blanco entre los datos para la clasificación y la clasificación FORMAT (/).
- d) Formato que imprime resultados para la clasificación FORMAT (15X, 30H resultados para la clasificación, 1).

e) Formato para la clasificación: FORMAT (9X, 42H Clase, orden, sección, rango, subrango).

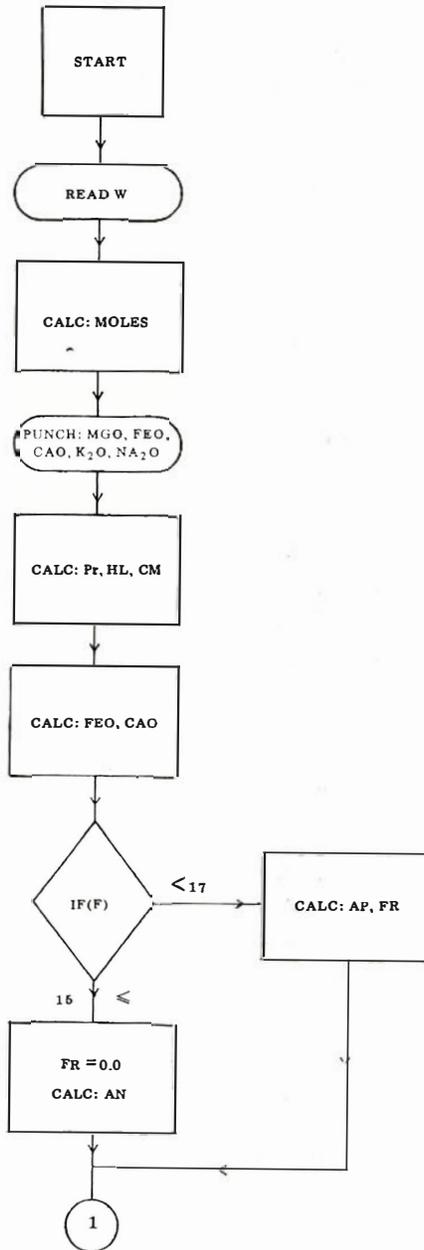
f) Formato para imprimir variables en punto decimal fijo: FORMAT (9X, 13, 5X, 13, 6X, 13, 6X, 13, 6X, 13, 11)

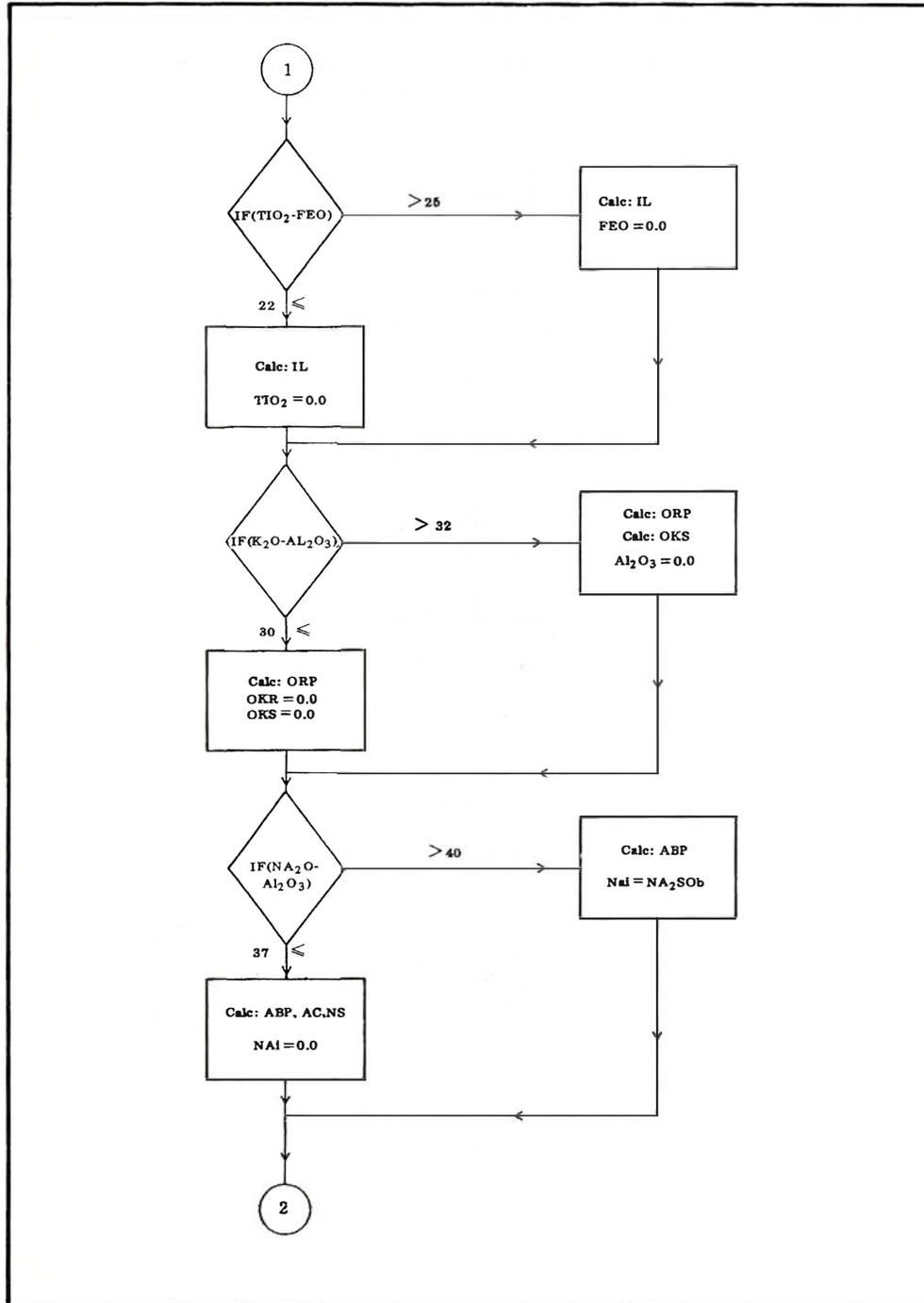
DISEÑO DE SALIDA DE INFORMACION  
DATOS PARA CLASIFICACION

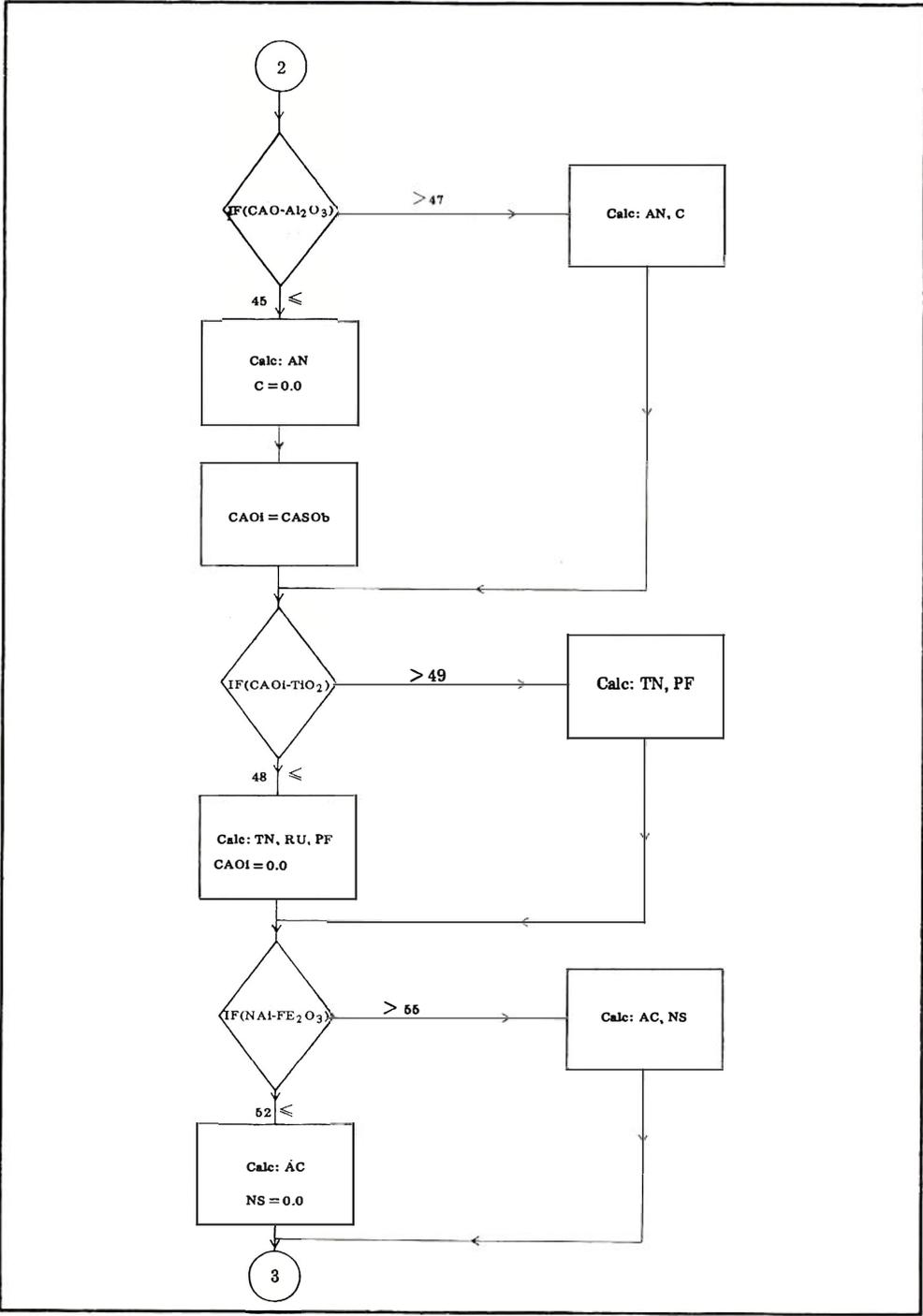
Q	C	Z	OR	AB		
AN	LC	NE	HL	AC		
NS	KS	DC	WO	HI	TN	
OL	CS	MT	CM	HM	PF	
IL	RU	AP	FR	PR	KP	

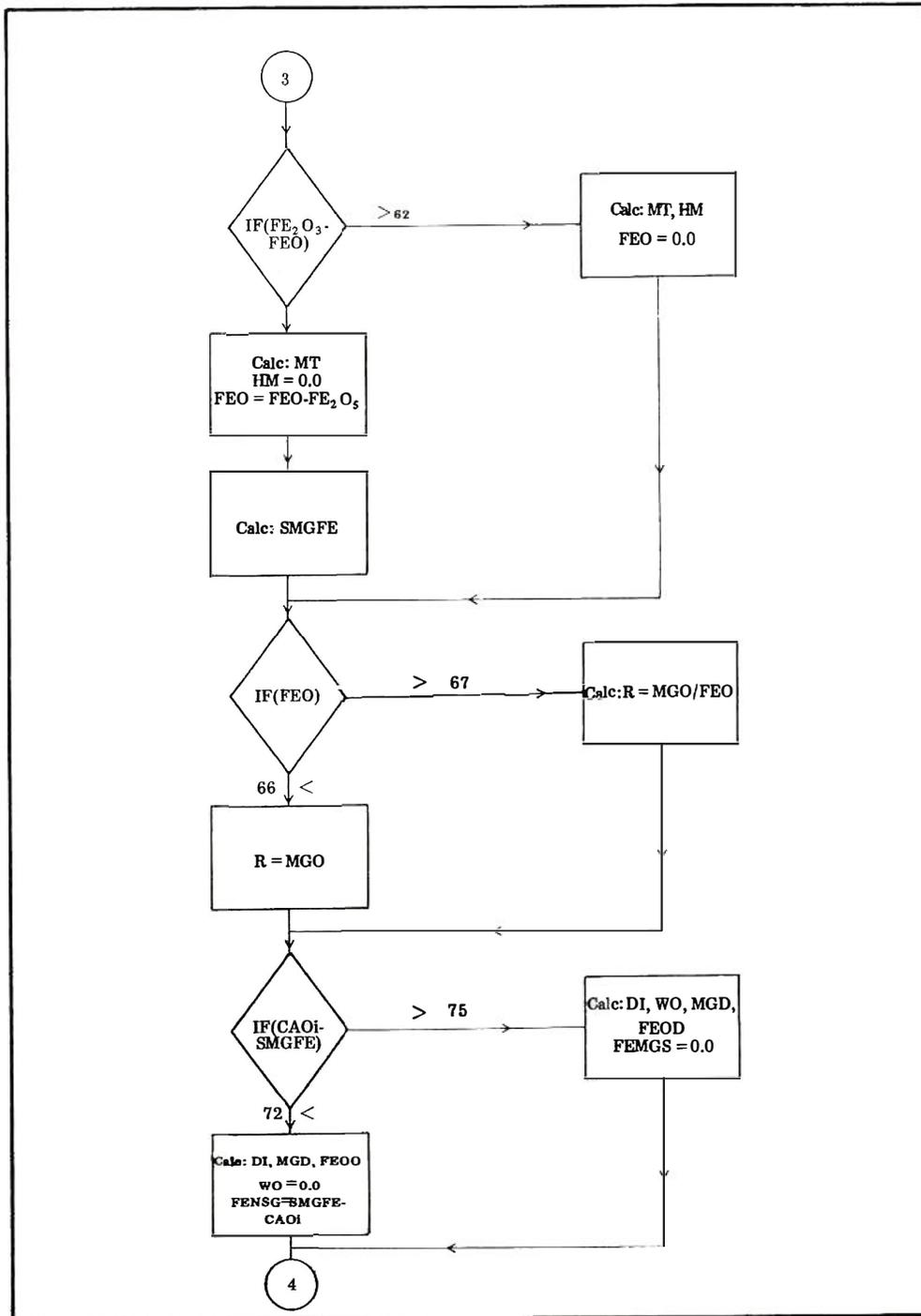
RESULTADOS DE LA CLASIFICACION  
Clase Orden Sección Rango Subrango

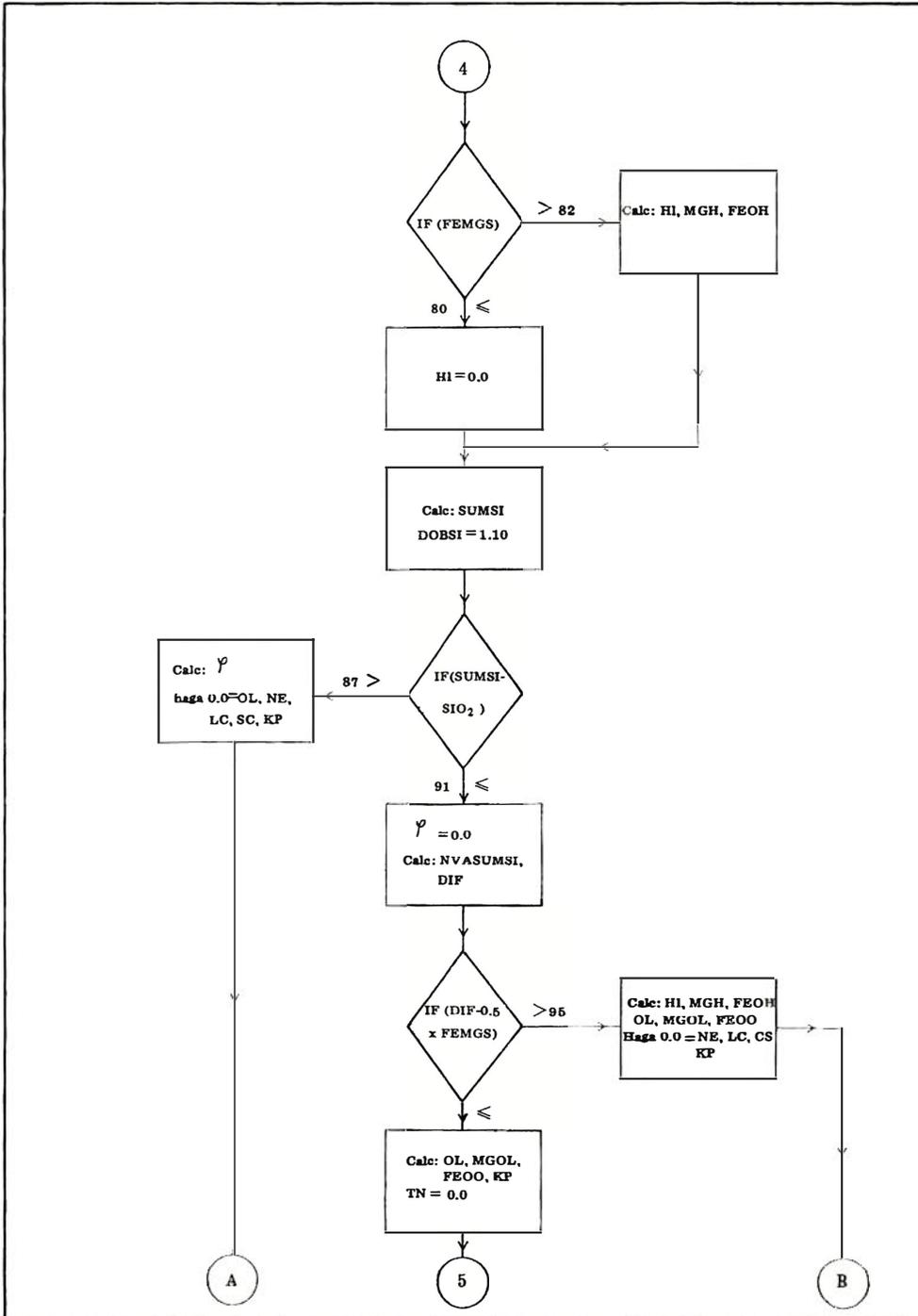
DIAGRAMA DE FLUJO PARA PROGRAMA DE CALCULO DE MOLES DE LOS MINERALES DE LA NORMA

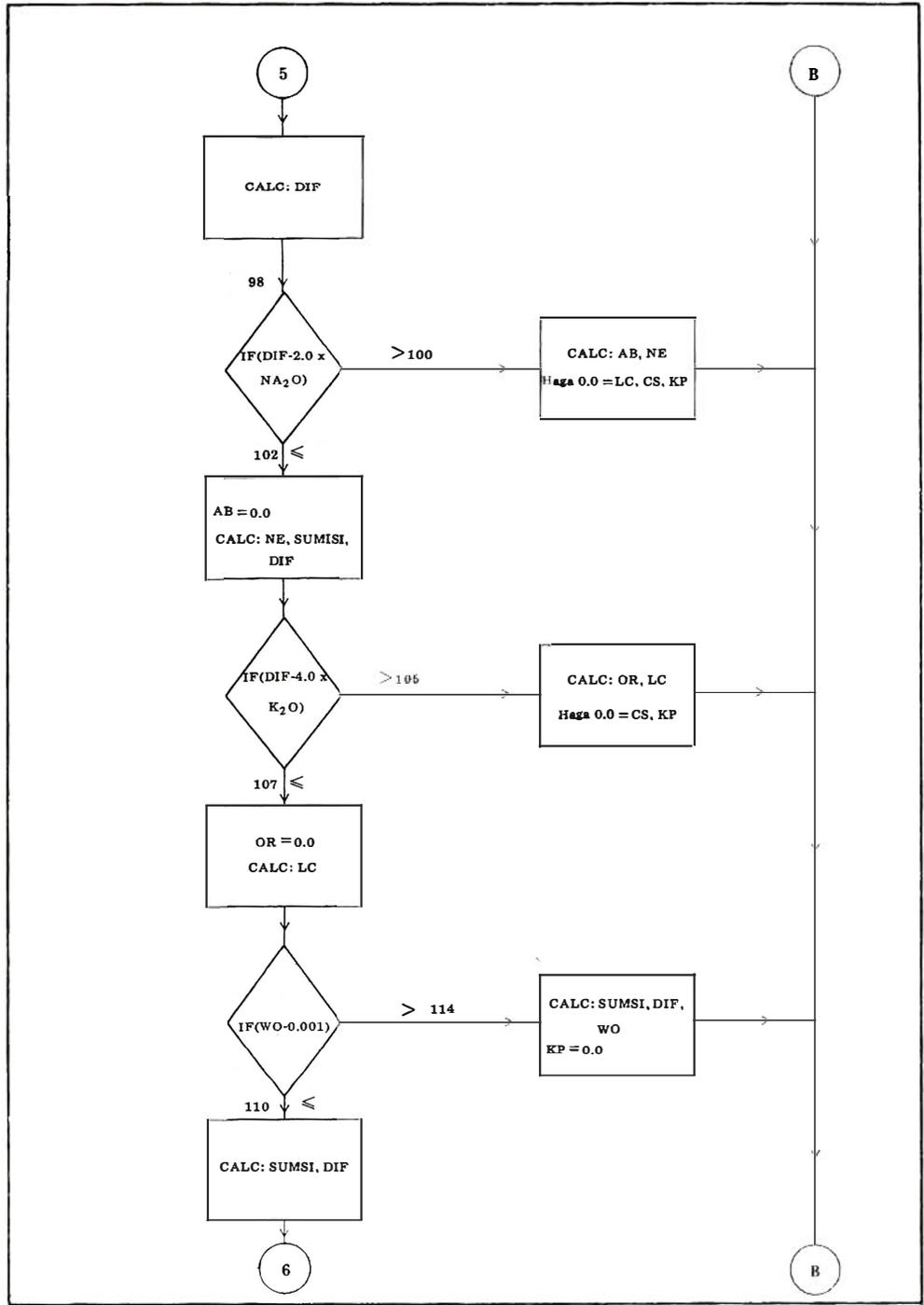


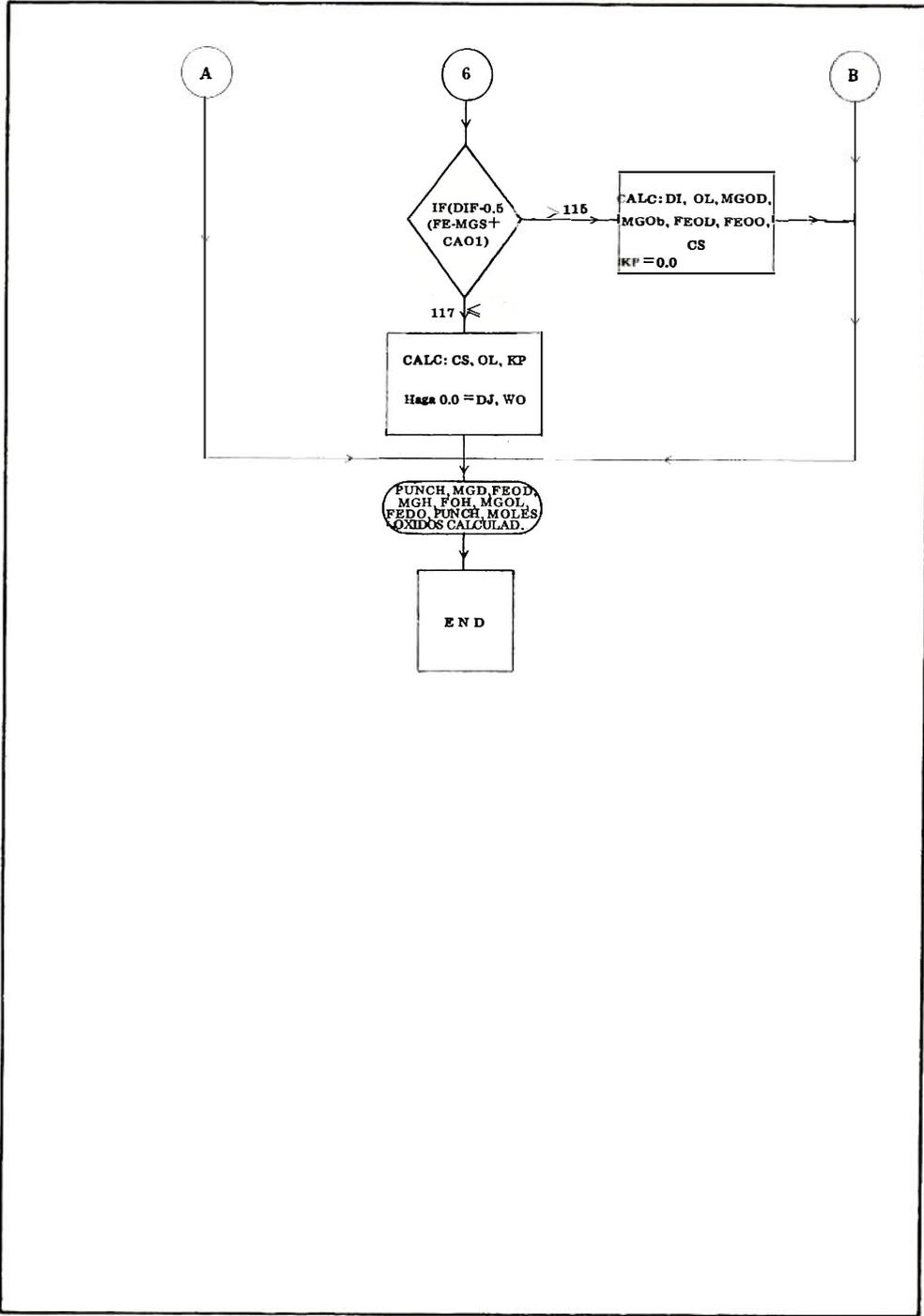












DIMENSION SI (15)

10 READ200,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , FEO,  
 ANGO, AMNO, CAO,  
 $\text{ANA}_2\text{O}$ ,  $\text{AK}_2\text{O}$ .

READ200,  $\text{TlO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$ , CL, F,  
 $\text{CR}_2\text{O}_3$ , BAO, SRO,  
 $\text{ZRO}_2$ , ANIO

$\text{SiO}_2$  =  $\text{SiO}_2/60.00$   
 $\text{Al}_2\text{O}_3$  =  $\text{Al}_2\text{O}_3/102.20$   
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  =  $\text{Fe}_2\text{O}_3/159.70$   
 FEO =  $\text{FEO}/71.85$   
 AMGO =  $\text{AMGO}/40.32$   
 CAO =  $\text{CAO}/56.09$   
 AMNO =  $\text{AMNO}/70.93$   
 $\text{ANA}_2\text{O}$  =  $\text{ANA}_2\text{O}/62.00$   
 $\text{AK}_2\text{O}$  =  $\text{AK}_2\text{O}/94.20$

PUNCH300, AMGO, CAO,  $\text{ANA}_2\text{O}$ ,  
 $\text{AK}_2\text{O}$ , FEO

$\text{TlO}_2$  =  $\text{TlO}_2/80.10$   
 $\text{P}_2\text{O}_5$  =  $\text{P}_2\text{O}_5/142.08$   
 PR =  $\text{SO}_3/80.07$   
 HL =  $\text{CL}/35.46$   
 F =  $\text{F}/19.00$   
 CM =  $\text{CR}_2\text{O}_3/152.00$   
 BAO =  $\text{BAO}/153.37$   
 SRO =  $\text{SRO}/103.63$   
 Z =  $\text{ZRO}_2/183.00$   
 ANIO =  $\text{ANIO}/74.71$   
 CAO =  $\text{CAO} + \text{BAO} + \text{SRO}$   
 FEO =  $\text{FEO} + \text{ANIO} + \text{AMNO}$   
 AP =  $\text{P}_2\text{O}_5$   
 IF (F) =  $15.15.17$

15 CAO1 =  $3.33*\text{P}_2\text{O}_5$   
 FR = 0.0  
 GO TO 20

17 CAO1 =  $3.00*\text{P}_2\text{O}_5$   
 FR =  $0.70*\text{F}$

20 CAO =  $\text{CAO}-\text{CAO1}$   
 $\text{ANA}_2\text{O}$  =  $\text{ANA}_2\text{O}-\text{HL}$   
 FEO =  $\text{FEO}-0.5*\text{Pr}-\text{CM}$   
 IF ( $\text{TlO}_2 - \text{FEO}$ ) 22,22,25

22 AIL =  $\text{FEO}-\text{TlO}_2$   
 $\text{TlO}_2$  = 0.0  
 GO TO 27

25 AIL = FEO  
 FEO = 0.0

27 SI (1) = Z  
 RSI =  $\text{SiO}_2-\text{SI} (1)$   
 IF ( $\text{AK}_2\text{O}-\text{AL}_2\text{O}_3$ ) 30,30,32

30 OR =  $\text{AK}_2\text{O}$   
 AKOR =  $\text{AK}_2\text{O}$   
 AKR = 0.0  
 $\text{AL}_2\text{O}_3$  =  $\text{AL}_2\text{O}_3-\text{OR}$   
 GO TO 35

32 OR =  $\text{AL}_2\text{O}_3$   
 AKOR =  $\text{AL}_2\text{O}_3$   
 $\text{AL}_2\text{O}_3$  = 0.0  
 AKR =  $\text{AK}_2\text{O}-\text{OR}$

35 ASK = AKR  
 AKR = 0.0  
 SI (2) =  $6.0*\text{OR}$   
 SI (3) = AKS  
 IF ( $\text{ANA}_2\text{O} \cdot \text{AL}_2\text{O}_3$ ) 37, 40,40

37 AB =  $\text{ANA}_2\text{O}$   
 ANAR =  $\text{ANA}_2\text{O}$   
 $\text{AL}_2\text{O}_3$  =  $\text{AL}_2\text{O}_3-\text{AB}$

AC = 0.0  
 ANS = 0.0  
 ANA1 = 0.0  
 GO TO 42

40 AB =  $\text{AL}_2\text{O}_3$   
 ANAB =  $\text{AL}_2\text{O}_3$   
 $\text{AL}_2\text{O}_3$  = 0.0  
 ANA1 =  $\text{ANA}_2\text{O}-\text{AB}$

42 SI (4) =  $6.0*\text{AB}$   
 IF ( $\text{CAO} - \text{AL}_2\text{O}_3$ ) 45,47,47

45 AN = CAO  
 $\text{AL}_2\text{O}_3$  =  $\text{AL}_2\text{O}_3-\text{AN}$   
 C =  $\text{AL}_2\text{O}_3$   
 GO TO 50

47 AN =  $\text{AL}_2\text{O}_3$   
 C = 0.0

50 SI(5) =  $2.0*\text{AN}$   
 CAO1 =  $\text{CAO}-\text{AN}$   
 IF ( $\text{CAO1}-\text{TlO}_2$ ) 48,48,49

48 TN = CAO1  
 $\text{TlO}_2$  =  $\text{TlO}_2-\text{CAO1}$   
 CAO1 = 0.0  
 RU =  $\text{TlO}_2$   
 GO TO 51

49 TN =  $\text{TlO}_2$   
 CAO1 =  $\text{CAO1} - \text{TlO}_2$   
 RU = 0.0

51 PF = 0.0  
 IF ( $\text{ANA1}-\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 52,55,55

52 AC = ANA1  
 ANS = 0.0  
 GO TO 57

55 AC =  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
 ANS =  $\text{ANA1}-\text{AC}$

57 SI(6) =  $4.0*\text{AC}$   
 SI(7) = ANS  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  =  $\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{AC}$   
 IF ( $\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{FEO}$ ) 60,62,62

60 AMT =  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
 HM = 0.0  
 FEO =  $\text{FEO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$   
 GO TO 65

62 AMT = FEO  
 FEO = 0.0  
 HM =  $\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{AMT}$

65 SMGFEE =  $\text{AMGO} \times \text{FEO}$   
 IF (FEO) 66,66,67

66 R = AMGO  
 GO TO 70

67 R =  $\text{AMGO}/\text{FEO}$

70 IF ( $\text{CAO1}-\text{SMGFEE}$ ) 72,75,75

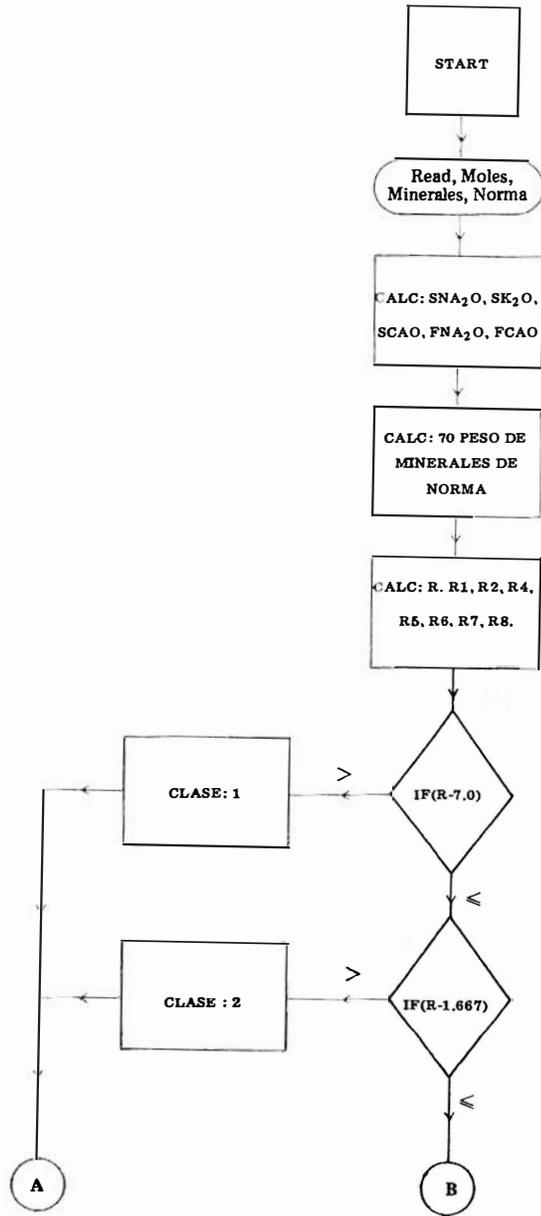
72 DI = CAO1  
 WO = 0.0  
 AMGI =  $\text{CAO1}*\text{AMGO}/\text{SMGFEE}$   
 FEO1 =  $\text{CAO1}*\text{FEO}/\text{SMGFEE}$   
 AMGD = AMG1  
 FEOD = FEO1  
 FEMGS =  $\text{SMGFEE}-\text{CAO1}$   
 GO TO 77

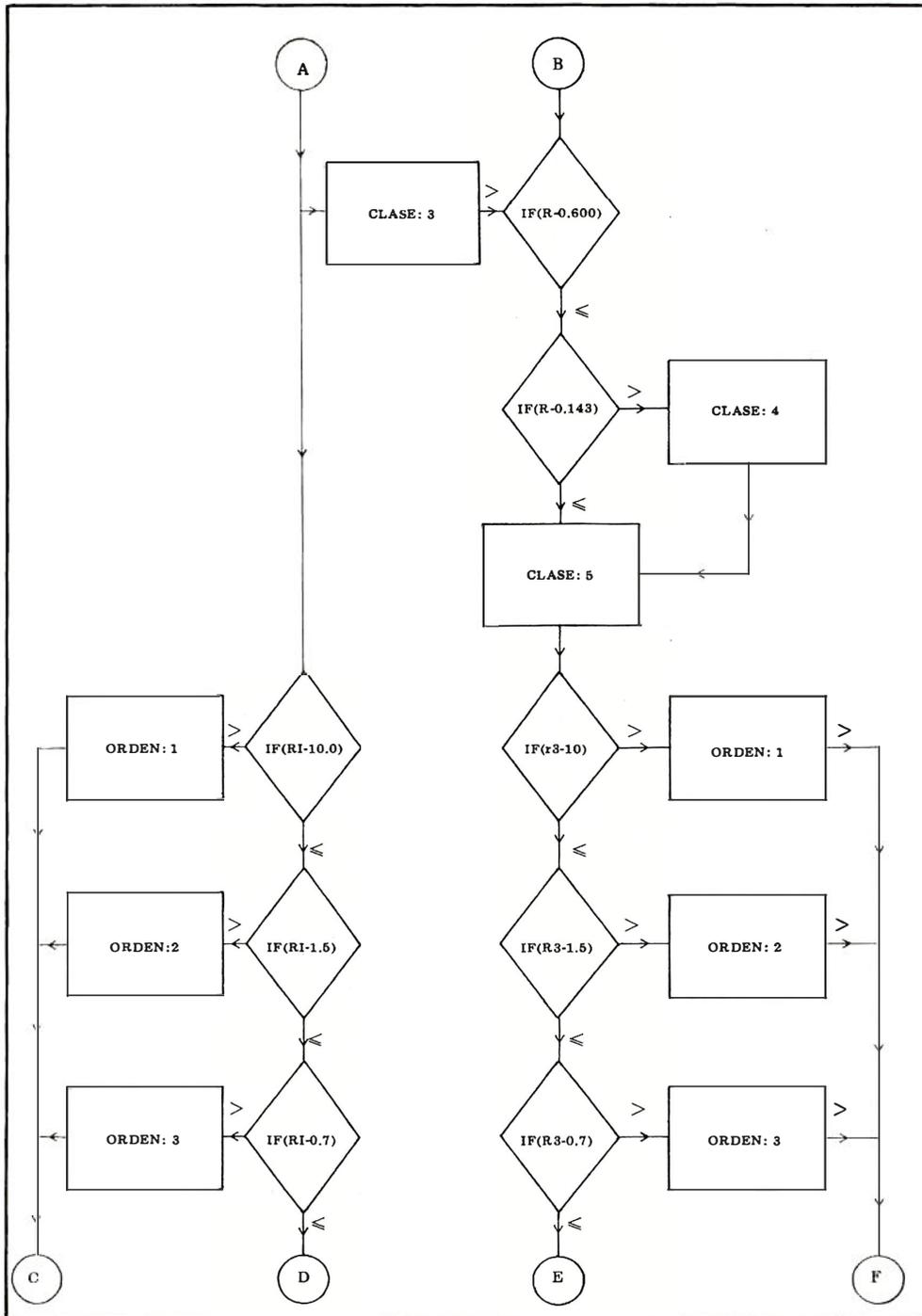
75 DI = SMGFEE  
 WO =  $\text{CAO1}-\text{DI}$   
 AMGD = AMGO  
 FEOD = FEO  
 FEMGS = 0.0  
 SMF =  $\text{AMGD} + \text{FEOD}$

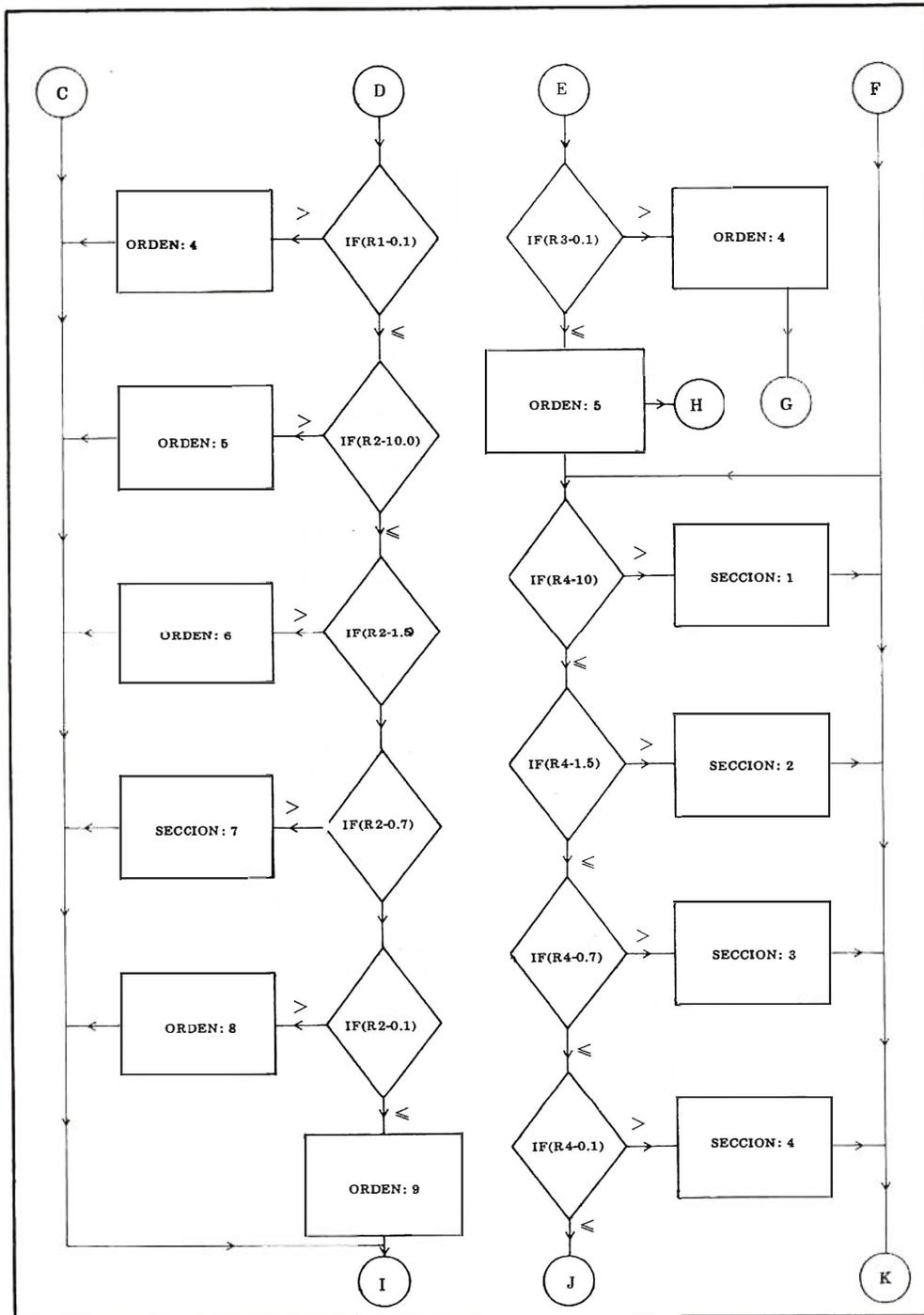
77 SI(8) =  $2.0*\text{DI}$

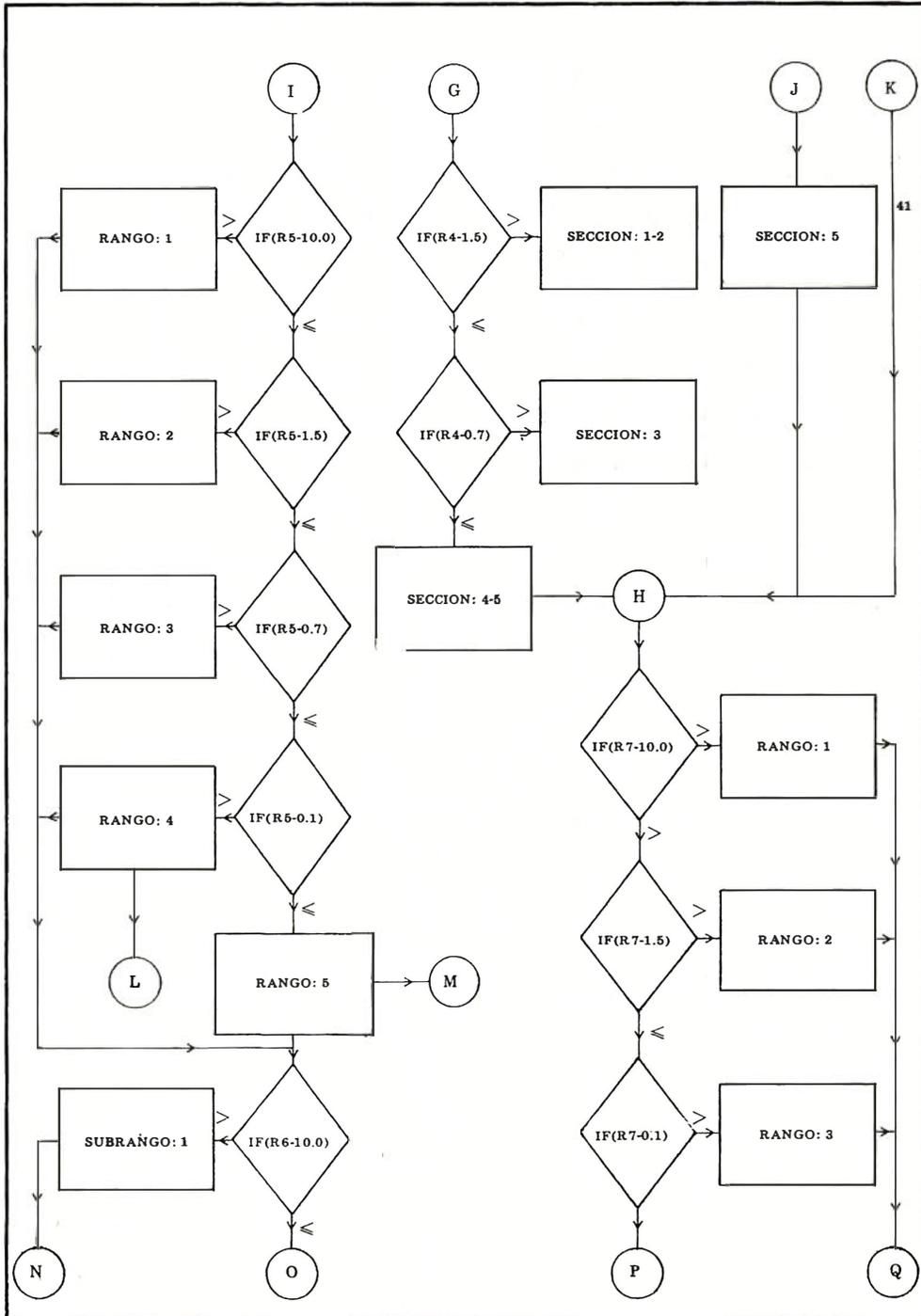
	SI(9)	=	WO		DIF	=	SIO <sub>2</sub> -SUMSI	
	IF(FEMGS)	=	80.,80,82		IF (DIF-0.0* AK <sub>2</sub> O)	=	107, 105, 105	
80	HI	=	0.0	105	OR	=	(DIF-4.0* AK <sub>2</sub> O)* 0.5	
	AMCH	=	0.0		ALC	=	AK <sub>2</sub> O-OR	
	FEOH	=	0.0		GO TO	=	30	
	SI(10)	=	0.0		OR	=	0.0	
	GO TO	=	83		ALC	=	AK <sub>2</sub> O	
82	HI	=	FEMGS		SI (2)	=	0.0	
	SI (10)	=	HI		SI (13)	=	4.0* AK <sub>2</sub> O	
	AMG2	=	FEO-FEO1		IF (WO-0.001)	=	110, 110, 114	
	AMGH	=	AMG2	110	SUMSI	=	SI (13)+SI (12)+SI (5) +SI (6)+SI (11)+SI (1) +SI (3).	
	FEOH	=	FEO <sub>2</sub>		DIFf	=	SIO <sub>2</sub> -SUMSI	
	SUMSI	=	0.0		IF (DIF-0.5*FEMGS-0.5*CAO1)	=	117, 117, 113	
	DO-851	=	1,10		DI	=	(2.0*DIF-SMF-CAO1)*0.5	
85	SUMSI	=	SUMSI + SI (1)		OL	=	(SMGF-FE-DI)* 0.5	
	IF (SUMSI-SIO <sub>2</sub> )	=	87,87,91		CS	=	(CAO1-DI)* 0.5	
87	Q	=	SIO <sub>2</sub> -SUMSI-IN		AMGD	=	DI*AMGO/SMGF	
	OL	=	0.0		FEOD	=	DI*FEO/SMGF	
	AMGOL	=	0.0		AMGOL	=	AMGO-AMGD	
	FEOO	=	0.0		FEOO	=	FEO-FEOD	
88	ANE	=	0.0		GO TO	=	901	
89	ALC	=	0.0	114	SUMSI	=	SI (13)+SI (5)+SI (6) +SI (8)+SI (9)+SI (11) +SI (12)	
90	CS	=	0.0		DIF	=	SUMSI-SIO <sub>2</sub>	
901	AKP	=	0.0		CS	=	2.0* DIF	
	GO TO	=	120		WO	=	WO-CS	
91	SUMSI	=	SUMSI-SI (10)		IF (WO)	=	115, 115, 901	
	Q	=	0.0	115	WO	=	0.0	
	SIF	=	SIO <sub>2</sub> -SIMSI		GO TO	=	901	
	IF (DIF-0.5*FEMGS)	=	92, 92, 95	117	DI	=	0.0	
92	HI	=	0.0		AMGD	=	0.0	
	OL	=	FEMGS		FEOD	=	0.0	
	SI (1)	=	0.5* FEMGS		WO	=	0.0	
	AMGOL	=	AMGH		CS	=	CAO1	
	FEOO	=	FEOH		SI (14)	=	CS* 0.5	
	AMGH	=	0.0		OL	=	SMGF	
	FEOH	=	0.0		AMGOL	=	AMGO	
	PF	=	TN		FEOO	=	FEO	
	TN	=	0.0		SI (11)	=	0.5* SMGF	
	SUMSI	=	SUMSI + SI (11)- SI (4).		SUMSI	=	SI (1)+SI (5)+SI (6)+SI (7)+SI (11)+SI (12)+ SI (14)	
	GO TO	=	98		DIF	=	SIO <sub>2</sub> -SUMSI	
95	HI	=	2.0* DIF-FEMGS		ALC	=	(DIF-2.0*AK <sub>2</sub> O)*0.5	
	OL	=	FEMGS-HI		AKP	=	(4.0*AK <sub>2</sub> O-DIF)* 0.5	
	IF (FEMGS-0.0001)	=	96, 96, 97	120	PUNCH300	=	AMGD,FEOD, AMGH, FEOH,AMGOL,FEOD	
96	AMGH	=	AMG <sub>2</sub> *0.5		PUNCH300	=	Q, C, Z, OR, AB	
	FEOH	=	FEO <sub>2</sub> *0.5		PUNCH300	=	AN, ALC, ANE, HL, AC	
	AMGOL	=	AMGH		PUNCH300	=	ANS, AKS, DI, WO, HI, TN	
	FEOO	=	FEOH		PUNCH300	=	OL, CS, AMT, CM, HM, PF	
	GO TO	=	88		PUNCH300	=	AIL, RU, AP, FR, PR, AKP	
97	AMG <sub>3</sub>	=	HI* AMG <sub>2</sub> /FEMGS.		GO TO	=	10	
	FEO <sub>2</sub>	=	HI* FEO <sub>2</sub> /FEMGS	200	FORMAT	=	(F7.2, F7.2, F7.2, F7.2, F7.2, F7.2, F7.2, F7.2, F7.2, F7.2)	
	AMG <sub>4</sub>	=	AMG <sub>2</sub> -AMG <sub>3</sub>		300	FORMAT	=	(F10.4, F10.4, F10.4, F10.4, F10.4, F10.4)
	FEO <sub>4</sub>	=	FEO <sub>2</sub> -FEO <sub>3</sub>					
	AMGH	=	AMG <sub>3</sub>					
	FEOH	=	FEO <sub>3</sub>					
	AMGOL	=	AMG <sub>4</sub>					
	FEOO	=	FEO <sub>4</sub>					
	GO TO	=	88					
98	DIF	=	SIO <sub>2</sub> -SUMSI					
	IF (DIF-2.0* ANAB)	=	102, 100, 100					
100	AB	=	DIF-2.0* ANAB)* 0.25					
	ANE	=	ANAB-AB					
	GO TO	=	89					
102	AB	=	0.0					
	ANE	=	ANAB					
	SI (4)	=	0.0					
	SI (12)	=	2.0* ANAB					
	SUMSI	=	SUMSI + SI (12)-SI (2).					

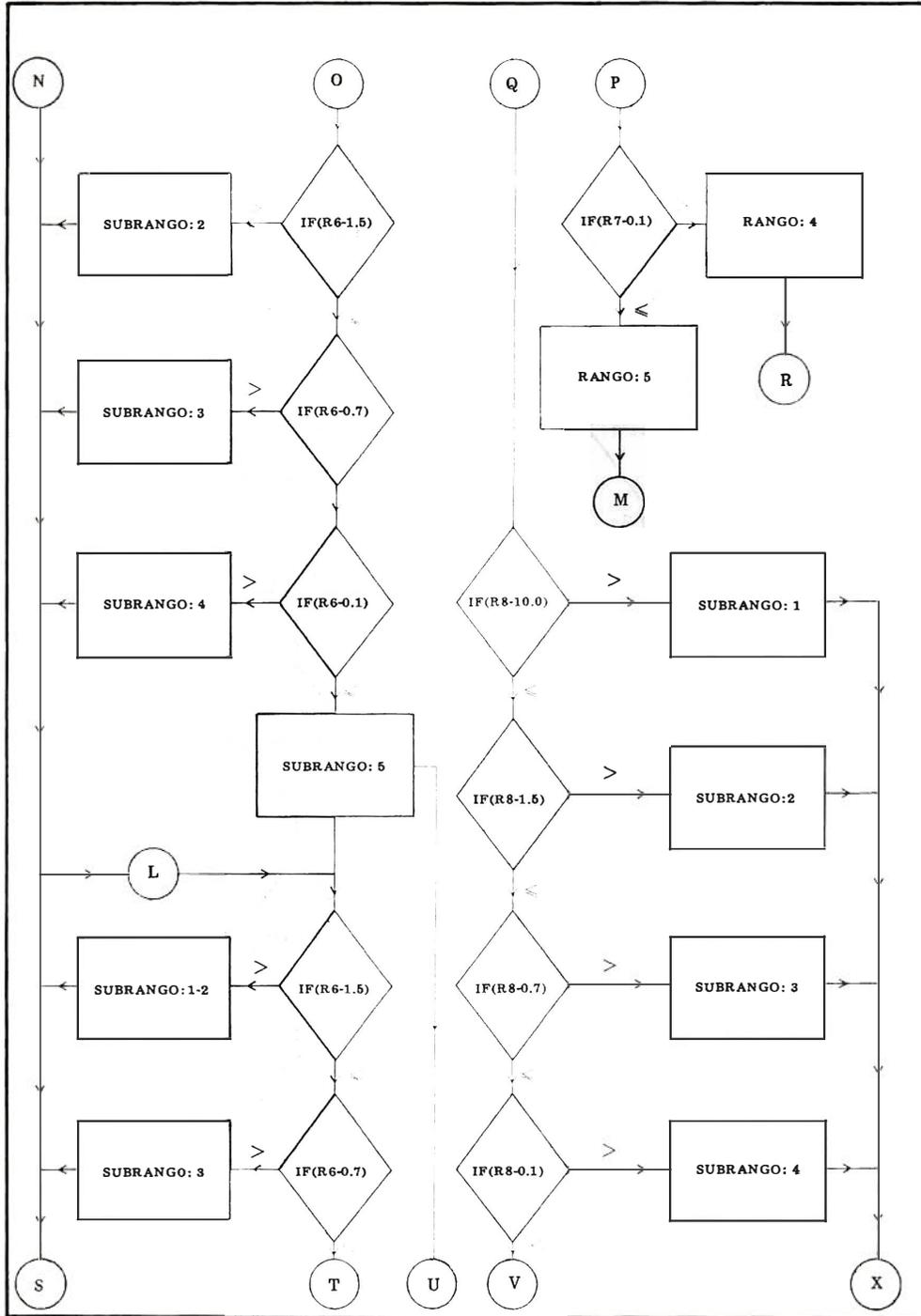
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROGRAMA DE CLASIFICACION

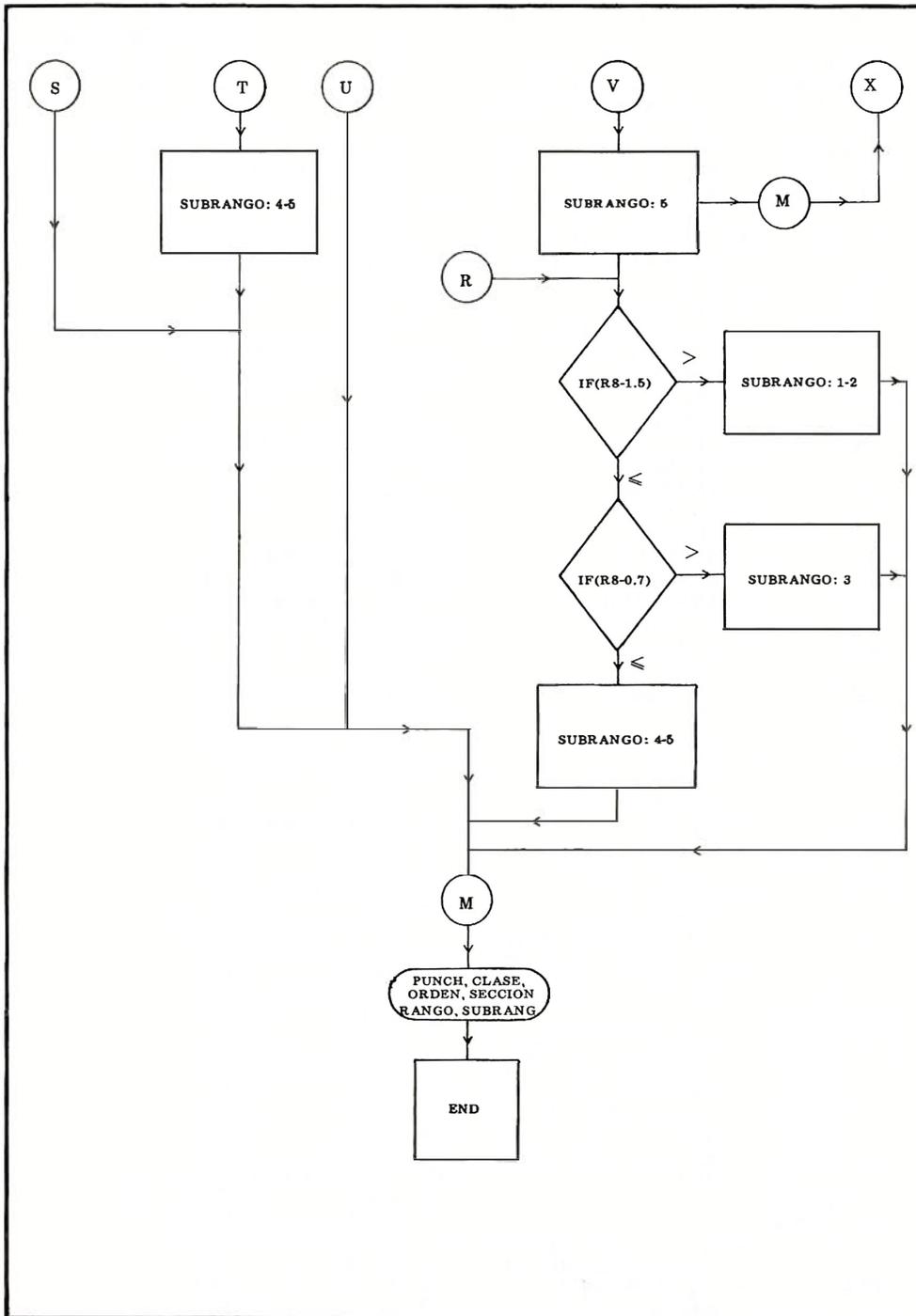












5	READ300,	AMGO, CAO, ANA20,	P	= AC+ ANS +AKS+DI+
		AK20, FEO		WO + HI
	READ300,	R1, R2, R3, R4, R5,	O	= OL + CS
		R6	H	= AMT + CM + HM
	READ300,	Q, C, Z, OR, AB	T	= AIL + RU + PF + TN
	READ300,	AN, ALC, ANE, HL, AC	AM	= CM + HM + AIL + PF
	READ300,	ANS, AKS, DI, WO, HL,		+ TN
		IN	A	= AP + FR + DR
	READ300,	OL, CS, AMT, CM, HM,	R	= SAL/FEM
		PF	IF (R-7.0) 10,10,12	
	READ300,	AIL, RU, AP, FR, PR,	12	ICK = 1
		AKP	ISL = 0	
	SNA20	= AB + HL + ANE	GO TO = 24	
	SK20	= OR + AKP + ALC	10	IF (R-1.667) 14,14,16
	SCAO	= AN	16	ICL = 2
	FNA20	= AC + ANS	ISC = 0	
	FCAO	= DI + WO + CS + 3.0*	GO TO = 24	
		AP + TN + PF	14	IF (R-0.600)20,20,18
	Q	= Q*60.0	18	ICL = 3
	C	= C*102.0	ISC = 0	
	Z	= Z*83.0	GO TO = 24	
	OR	= OR*556.0	20	IF (R-0.143)22,22,25
	AB	= AB*524.0	25	ICL = 4
	AN	= AN*278.0	GO TO = 60	
	ALC	= ALC*436.0	22	ICL = 5
	ANE	= ANE*284.0	GO TO = 60	
	HL	= HL*117.0	24	IF (F)28,28,27
	AC	= AC*462.0	27	R1 = Q/F
	ANS	= ANS*122.0	IF (RI)38,38,29	
	AKS	= AKS*154.0	29	IF (RI-10.0)26,26,28
	WO	= WO*116.0	28	IOR = 1
	CS	= CS*172.0	GO TO = 110	
	AMT	= AMT*232.0	26	IF (RI-1.5)30,30,32
	CM	= CM*224.0	32	IOR = 2
	HM	= HM*160.0	GO TO = 110	
	AIL	= AIL*152.0	30	IF (1-0.7)34,34,36
	RU	= RU*80.0	36	IOR = 3
	AP	= AP*336.0	GO TO = 110	
	FR	= FR*78.0	34	IF (RI-0.1)44,44,40
	PR	= PR*120.0	40	IOR = 4
	AKP	= AKP*317.0	GO TO = 110	
	TN	= TN*196.0	38	IF (AL)44,44,41
	PF	= PF*136.0	41	R2 = F/AL
	DI	= R1*216.0 + R2*248.0	IF (R2-10.0)42,42,44	
	HI	= R3*100.0 + R4*132.0	44	IOR = 5
	OL	= R5*66.0 + R6*114.0	GO TO = 110	
	PUNCH250		42	IF (R2-1.5)46,46,48
	PUNCH300,	Q, C, Z, OR, AB	48	IOR = 6
		AN, ALC, ANE, HL, AC	GO TO = 110	
	PUNCH300,	ANS, AKS, DI, WO, HI,	46	IF (R2-0.1)54,54,56
		TN	56	IOR = 8
	PUNCH300,	OL, CS, AMT, CM, HM,	GO TO = 110	
		PF	54	IOR = 9
	PUNCH300,	AIL, RU, AP, FR, PR,	GO TO = 110	
		AKP	60	IF (AM) 64,64,63
	PUNCH350		63	R3 = (D+0) /AM
	PUNCH350		IF (R3010.0)62,62,64	
	SAL	= Q +C+Z+OR+AB+AN	64	IOR = 1
		+ALC+ANE+HL+AKP	GO TO = 80	
	FEM	= CA+ANS+AKS+ DI +	62	IF (R3-1.5)66,66,68
		WO+MI+OL+CS+	68	IOR = 2
		AMT+HM+AIL+RU+	GO TO = 80	
		AP+FR+PR+PF+TN	66	IF (R3-0.7)70,70,72
	F	= OR+AB+AN	72	IOR = 3
	AL	= ALC+ANE+AKP	70	IF (R3-0.1) 74,74,76

76	IOR	=	4	148	IF (R6-0.7)	158,152,154
	GO TO		98	154	ISB	= 3
74	IOR	=	5		GO TO	210
	GO TO		128	152	IF (R6-0.7)	156,156,158
80	IF (0)	84,84,83		158	ISB	= 3
83	R4	=	R/O		GO TO	210
	IF (R4-10.0)	82,82,84		156	IF (R6-0.1)	160,160,162
84	ISC	=	1	162	ISB	= 4
	GO TO		128		GO TO	210
82	IF (R4-1.5)	86,86,88		160	ISB	= 5
88	ISC	=	2		GO TO	210
	GO TO		128	170	IF (R6-1.5)	172, 172,174
86	IF (R4-0.7)	90,90,92		174	ISB	= 12
92	ISC	=	3		GO TO	210
	GO TO		128	172	IF (R6-0.7)	176,176,178
90	IF (R4-0.1)	94,94,96		178	ISB	= 3
96	ISC	=	4		GO TO	210
	GO TO		128	176	ISB	= 45
94	ISC	=	5		GO TO	210
	GO TO		128		IF (FEO + FNA20)	184,184,183
98	IF (R4-1.5)	100,100,102		183	R8	= AMGO/ (FEO + FNA20)
102	ISC	=	12		IF (R8-10.0)	182,182,184
	GO TO		128	184	ISB	= 1
	IF (R4-0.7)	104,104,106			GO TO	210
106	ISC	=	3	182	IF (R8-1.5)	186,186,188
	GO TO		128	188	ISB	= 2
104	ISC	=	45		GO TO	210
	GO TO		128	186	IF (R8-0.7)	190,190,192
110	IF (SCAO)	114,114,113		192	ISB	= 3
113	R5	=	(SNA20+SK20)/SCAO		GO TO	210
	IF (R5-10.0)	112,112,114		190	IF (R8-0.1)	194,194,196
114	IRN	=	1	196	ISB	= 4
	GO TO		146		GO TO	210
112	IF (R5-1.5)	116,116,118		194	ISB	= 5
118	IRN	=	2		GO TO	210
	GO TO		146	201	IF (R8-1.5)	202,202,204
116	IF (R5-0.7)	120,120,122		204	ISB	= 12
122	IRN	=	3		GO TO	210
	GO TO		146		IF (R8-0.7)	206,206,208
120	IF (R5-0.1)	124,124,126		208	ISB	= 3
126	IRN	=	4		GO TO	210
	GO TO		170	206	ISB	= 45
	IRN	=	5	210	PUNCH400	
	GO TO		210		PUNCH450	
128	IF (FCAO)	132,132,131			PUNCH500, ICL, IOR, ISC, IRN, ISB	
131	R7	=	(AMGO+FEO+FNA20)/FCAO		GO TO	05
	IF (R7-10.0)	130,130,132		250	FORMAT (18X, 24H DATOS PARA CLASIFICACION, /)	
132	IRN	=	1	300	FORMAT (F10.4, F10.4, F10.4, F10.4, F10.4, F10.4)	
	GO TO		180	350	FORMAT (/)	
130	IF (R7-1.5)	134,134,136		400	FORMAT (15X, 30H RESULTADOS DE LA CLASIFICACION, /)	
136	IRN	=	2	450	FORMAT (9X, 42H CLASE ORDEN SECCION RANGO SUB-RANGO)	
	GO TO		180	500	FORMAT (9X, 13.5X,13, 6X,13, 6X,13 6X,13, //)	
134	IF (R7-0.7)	138,138,140				
140	IRN	=	3			
	GO TO		180			
138	IF (R7-0.1)	142,142,144				
144	IRN	=	4			
	GO TO		201			
142	IRN	=	5			
	GO TO		210			
146	IF (SNA20)	150,150,149				
149	R6	=	SK20/SNA20			
	IF (R6-10.0)	148,148,150				
150	ISB	=	1			
	GO TO		210			

## EJEMPLOS:

## M U E S T R A S

Oxidos	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	72.67	46.74	54.08	40.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.44	16.63	9.49	2.74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.06	2.17	3.19	10.83
FeO	1.56	10.60	1.03	7.38
MgO	0.23	6.11	6.74	12.04
MnO	0.00	0.26	0.05	0.16
CaO	1.15	8.66	3.55	20.21
Na <sub>2</sub> O	3.08	3.81	1.39	0.42
K <sub>2</sub> O	5.75	0.86	11.76	0.00
TiO <sub>2</sub>	Tr	2.54	2.08	4.76
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.33	1.35	0.45
SO <sub>3</sub>	0.26	0.11	0.29	0.02
Cl	0.00	0.00	0.04	0.00
F	0.00	0.00	0.49	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	Tr	0.07	0.00
BaO	0.00	Tr	0.67	0.03
SrO	0.00	Tr	0.20	Tr
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.03	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O	0.88	0.73	2.71	0.46

---

Muestra 1. Granito de Sohneeloch, Broken, Harz (Johannsen, 1939).

Muestra 2. Norita de Elizabethtown. Essex Country New York (Washington, 1917).

Muestra 3. Orendita de Fifteen Mile Spring, Leucita Hills, Wyoming (Cross, 1915).

Muestra 4. Piroxenita de Cebolla Springs, Colorado (Washington, 1917).

72.67	13.44	1.06	1.56	0.23	0.00	1.15	3.08	5.75	
0.00	0.12	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
.0057	.0205		.0496	.0610		.0217			
.0000	.0000		.0057	.0134		.0000	.0000		
.4923	.0030		.0000	.0610		.0496			
.0176	.0000		.0000	.0000		.0000			
.0000	.0000		.0000	.0000		.0191	.0000		
.0000	.0000		.0066	.0000		.0000	.0000		
.0000	.0000		.0008	.0000		.0032	.0000		
46.74	16.63	2.17	10.60	6.11	0.26	8.66	3.81	0.86	
2.54	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
.1515	.1543		.0614	.0091		.1475			
.0321	.0223		.0000	.0000		.1194	.0832		
.0000	.0000		.0000	.0091		.0516			
.0921	.0000		.0097	.0000		.0000			
.0000	.0000		.0545	.0000		.0000	.0000		
.2026	.0000		.0135	.0000		.0000	.0000		
.0317	.0000		.0023	.0000		.0013	.0000		
54.08	9.49	3.19	1.03	6.74	0.05	3.55	1.39	11.76	
2.08	1.35	0.29	0.04	0.49	0.07	0.67	0.20	0.00	0.00
.1671	.0632		.0224	.1248		.0143			
.0278	.0000		.1392	.0000		.0000	.0000		
.0227	.0000		.0000	.0928		.0000			
.0000	.0000		.0000	.0011		.0199			
.0013	.0319		.0278	.0000		.1392	.0131		
.0000	.0000		.0000	.0004		.0000	.0000		
.0127	.0000		.0095	.0180		.0036	.0000		
40.25	2.74	10.83	7.38	12.04	0.16	20.21	0.42	0.00	
4.76	0.45	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
.2986	.3603		.0067	.0000		.1027			
.2986	.0000		.0000	.0000		.0000	.0000		
.0000	.0000		.0000	.0000		.0000			
.0200	.0000		.0067	.0000		.0000			
.0000	.0000		.2986	.0086		.0000	.0000		
.0000	.0226		.0454	.0000		.0223	.0000		
.0594	.0000		.0031	.0000		.0002	.0000		

### CALCULO DE LOS PARAMETROS DE NIGGLI A PARTIR DE LOS PORCENTAJES POR PESO

De acuerdo al procedimiento seguido aquí, los porcentajes por peso obtenidos en el análisis químico se convierten a valores equivalentes, es decir a números equivalentes. Esto se hace dividiendo el valor numérico obtenido en el análisis por el peso molecular del óxido. Los valores obtenidos se denominan también: "proporciones moleculares", "número molecular", "cociente molecular" o "números moleculares equivalentes". Los números equivalentes se multiplican, por lo general, por un factor de 1.000 para no trabajar con fracciones.

Para reducir el número de componentes y poder trabajar con mayor claridad, éstos se agrupan, exceptuando  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{TiO}_2$  en la forma siguiente:

- I  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- II  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (calculado como  $\text{FeO} + \text{MnO}$ )
- III  $\text{CaO}$
- IV  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$

Los óxidos poco comunes se añaden a determinados grupos de acuerdo a consideraciones puramente químicas, según su valencia o posición en la tabla periódica. De acuerdo al conocimiento actual de la cristalografía química, los requerimientos especiales son el factor primordial en la incorporación de elementos en una estructura cristalina. Estos espacios están caracterizados por el llamado radio-iónico. Así, se deben introducir cambios con respecto a las reglas inicialmente aceptadas. Debe notarse lo siguiente (C. Burri 1956):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y  $\text{V}_2\text{V}_3$  se agregaron inicialmente a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  debido a su trivalencia. Sin embargo, se deben agregar a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  debido a su radio iónico empírico:

$\text{Cr}^{3+} - 0.64$ ,  $\text{V}^{3+} + 0.65$ ,  $\text{Fe}^{3+} + 0.67$ , comparados con el de aluminio  $\text{Al}^{3+} + 0.57$ .

$\text{MnO}$  se agrupa con  $\text{CaO}$  ya que  $\text{Mn}$  puede reemplazar parcialmente  $\text{Ca}$  en apatito.  $\text{NiO}$  y  $\text{CaO}$  se agrupan con  $\text{FeO}$ . Los radios iónicos correspondientes son:  $\text{Mn}^{2+} + 0.91$ ,  $\text{Fe}^{2+} + 0.83$ ,  $\text{Ni}^{2+} + 0.78$ ,  $\text{Co}^{2+} + 0.82$ , y  $\text{Ca}^{2+} + 1.06$ . En los últimos estudios  $\text{Sr}$  y  $\text{Br}$  se agrupan con  $\text{Ca}$ .

$\text{Ba}$  reemplaza con más frecuencia al  $\text{K}$  que al  $\text{Ca}$ , por ejemplo en los feldespatos, y por ello algunos autores lo agrupan con  $\text{K}_2\text{O}$ . Los radios iónicos correspondientes son:  $\text{Ba}^{2+} + 1.43$ ,  $\text{Sr}^{2+} + 1.27$ ,  $\text{K} + 1.33$  y  $\text{Ca}^{2+} + 1.06$ .

Cuando se determinan  $\text{Rb}_2\text{O}$  y  $\text{Cs}_2\text{O}$  se agrupan con  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$ ; pero cuando se ha calculado  $\text{LiO}_2$  éste debe considerarse

como un grupo aparte, debido a su importancia en la formación de las llamadas micas de litio, radio iónico 0.78 reemplaza  $\text{Mg}^{2+} + (0.78)$ .

Casi todos estos elementos ocurren en pequeñas cantidades en rocas cristalinas y cualquier modificación que se haga en los procedimientos de su cálculo variará muy poco los parámetros de Niggli. Los estudios actuales indican que deben tenerse en cuenta, aunque su efecto general sea poco.

Aunque el titanio es el noveno mineral en importancia en la litósfera y constituye el 0.44 en peso de ella, la evaluación de su papel se dificulta debido a que desde el punto de vista analítico es muy difícil distinguir entre la forma trivalente y tetravalente y ello es imposible en presencia de hierro divalente o trivalente.

El titanio puede estar formando minerales independientes como ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) y titanita ( $\text{Ca}(\text{Ti}(\text{O}, \text{CH}, \text{F})\text{SiO}_4)$ ), que pueden ser reemplazados por perovskita, cuando las rocas son muy pobres en  $\text{Si}$ . Además puede reemplazar  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Mg}^{2+}$ , en titanognetita o en augitas y hornblendas titaníferas. Los radios iónicos correspondientes son:  $\text{Ti}^{3+} - 0.69$ ,  $\text{Ti}^{4+} - 0.64$ ,  $\text{Mg}^{2+} - 0.78$ ,  $\text{Fe}^{3+} + 0.57$  y  $\text{Fe}^{2+} + 0.67$ . El reemplazamiento de  $\text{Ti}^{4+}$  por  $\text{Si}^{4+}$ , antiguamente considerado, es casi imposible debido a la gran diferencia de radios iónicos ( $\text{Si} - 0.39$ ).

Actualmente se considera que el  $\text{Ti}$  debe sumarse al  $\text{FeO} + \text{MgO}$ . De igual manera se toma el titanio para los diagramas QLM en los llamados valores básicos. El titanio incorporado en: aniones complejos (titanita); con carácter catiónico (augita y hornblenda) o con una unión tipo óxido (rutilo, ilmenita, perovskita), tiene mucha influencia en el contenido de titanio de las rocas normales, el cual nunca es muy alto.

El aluminio es tratado de la misma manera, puesto que el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de los análisis químicos incluye el  $\text{Al}$  combinado en los aniones aluminosilicatos, al igual que el  $\text{Al}$  que tiene un carácter catiónico; por ejemplo: augita, hornblenda y mica. Sin embargo, las relaciones aquí son más convenientes, puesto que la parte de  $\text{Al}$  contenido en los aniones aluminosilicatos puede ser estimada debido a su relación de 1:1 con respecto a:  $\text{Na}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{CaO}$ , a los cuales el  $\text{Al}$  está unido. Estas consideraciones simples no se pueden aplicar al titanio.

Por razones prácticas el proceso previamente adoptado es el que debe seguirse especialmente porque en éste se le da mayor importancia al papel del titanio. De acuerdo a

este método el parámetro Ti se calcula de igual manera al Si. Este método tiene también la ventaja de proporcionar datos simples para la comparación de los valores de Ti característicos de las provincias petrográficas.

Los número equivalentes incluidos en los grupos I- IV se recalculan a 100 y se designan como: al, c y alk.

Los números equivalentes de SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZrO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, Cl, Fe<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O se recalculan de igual manera y los valores se denominan Si, Ti, P, Zr, CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, F<sub>2</sub>, y H.

Los valores si, al, fem, c y alk en la mayoría de los casos son suficientes para la caracterización química de las rocas. En otros casos en necesario tener una mayor información de los componentes alk y fm. Esta mayor información se obtiene calculando las relaciones:

$$K = \frac{K_2O}{K_2O + Na_2O} = \frac{K^*}{K^* + Na^*}$$

$$mg = \frac{MgO}{FeO+MgO+MnO} = \frac{Mg^{2*}}{Fe^{2*}+Fe^{3*}+Mg^{2*}+Mn^{2*}}$$

Si en casos especiales, es necesario determinar el grado de oxidación del Fe, se calcula por la reacción:

$$w = \frac{2 Fe_2O_3}{2 Fe_2O_3 + FeO} = \frac{Fe^{3*}}{Fe^{3*} + Fe^{2*}}$$

Antiguamente se usaba la relación:

$$o = \frac{Fe^{3*}}{Fe^{3*}+Fe^{2*}+Mn^{2*}+Mg^{2*}}$$

P Pero la relación w tiene la ventaja de que solo compara un mineral con diferentes valencias.

REPRESENTACION DE RELACIONES  
PETROQUIMICAS FUNDAMENTALES  
POR MEDIO DE LOS PARAMETROS  
DE NIGGLI

A) El número de cuarzo qz, como indicativo de la saturación de la roca en SiO<sub>2</sub>.

Se pueden presentar dos casos en el cálculo de la cantidad de SiO<sub>2</sub> requerida para la formación de minerales altamente silíceos.

1A) Cuando al < alk y al mismo tiempo al > (alk+c), o sea que no hay exceso de alumina. Después de combinar todo el (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) con CaO en la relación 1:1 queda un

exceso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, T, que se combina con CaO en la relación 1:1 para formar anortita. Cada unidad de alk se combina con 6 de SiO<sub>2</sub>, correspondiendo a la composición de feldespatos alcalinos, 6 SiO<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Na, K) 20, quedando una cantidad de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> igual a al-alk para la formación de anortita; una cantidad de Si igual a 2 (al-alk) se combina con la anterior quedando la formula 2SiO<sub>2</sub>. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. CaO. La cantidad de c disponible para la formación de wollastonita (SiO<sub>2</sub>. CaO) es c-alk. El fm total queda disponible para la formación de nestatita o hipersteno.

La cantidad de Si necesario para la formación de minerales altos en sílice será entonces:

$$Si = 6 alk + 2 (al-alk) + (-(al - alk)) + fm$$

feld, alcalino anortita diopsido orto-augita como al fm + c + alk = 100

Entonces Si' = 100 + 4 alk.

1B). Cuando al > alk pero al mismo tiempo al > (alk + c), o sea que hay exceso de alumina sobre los alcalinos y calcio. Este caso ocurre rara vez en rocas ígneas frescas no endomórficas, pero es común en rocas ígneas meteorizadas y sedimentos arcillosos o en sus derivados metamórficos. En este caso, la ecuación Si' = 100 + 4 alk es válida únicamente cuando el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en exceso sobre al (alk + c) se ha combinado con SiO<sub>2</sub> en la relación 1:1 para formar sillimanita - andalucita - kianita.

Es necesaria una cantidad de Si igual a 6 veces la de alk para la formación de feldespatos alcalinos. La cantidad de c disponible, y no el exceso de al, forma la anortita que necesita una cantidad de Si igual a 2 c. El al restante, igual a al (alk + c), se combina con igual cantidad de Si para formar sillimanita. En este caso no hay wollastonita y con el fm se forma orto-augita.

entonces Si' = 6 alk + 2 c + al (alk+c) + fm  
feldespato alcalino anortita sillimanita  
oroto-augita como

$$al + alk + c + fm = 100$$

$$Si' = 100 + 4 alk$$

Cuando se forma coridón en lugar de sillimanita

$$Si' = alk + 2c + fm \text{ sumando y restando al}$$

$$= alk + c + al + 5 alk = c = fm - al$$

$$= 100 + 5alk = c$$

2). Cuando al < alk, se combina el total de alumina con (K, Na)<sub>2</sub>O en la relación 1:1 quedando un residuo de alk, que se denomina alk', que se usa para la formación de egrina y en este caso no se forma anortita. La composición de egrina es 4 SiO<sub>2</sub>. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Na<sub>2</sub>O y la cantidad necesaria de Si será:

$$Si' = 6 al + 4 (alk-al) + c + (fm-2(alk-al)).$$

Feldespato alcalino agrina diopsido + orto-augita.

$$Si' = 100 + 3 al + alk.$$

El número de cuarzo se define como:  
 $qz = Si - Si'$ .

$qz > 0$  SiO<sub>2</sub> libre, hay cuarzo en la roca.

$qz = 0$  paragénesis de compuestos cristalinos altamente silíceos.

$qz < 0$  Silicato pobre en sílice, olivino, melilita, feldespatoideos.

Otros minerales que no se han considerado en el cálculo del valor simplificado de Si pueden ocurrir en la roca; éstos pueden ser: augita, hornblenda, minerales metálicos pobres en sílice o minerales accesorios como titanita, apatita e ilmenita. En estos casos el valor de qz puede ser negativo y ocurrir algo de cuarzo en la roca. En el caso de rocas hemi-cristalinas, el cuarzo puede estar ausente y qz 0, el exceso de SiO<sub>2</sub> estar en forma de vidrio.

#### B) Exceso de alúmina.

Los siguientes puntos deben considerarse en el cálculo de la composición normativa simplificada: 2 alk es una medida de la cantidad de feldespatos alcalinos; k. 2 alk para feldespato de potasio y (1-k) para feldespato sodico.

(al-alk) = T es el exceso de alúmina sobre alcalinos e indica la cantidad de anortita, la cantidad de alúmina no correlacionada con los alcalinos se combina con calcio en la relación Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> :

$$CaO = 1 : 1.$$

La cantidad total de feldespatos es:  
 $F = 2 alk + (al-alk) = al + alk$ . Valores positivos de T indican la presencia de feldespato en la roca, valores negativos indican la ausencia de feldespatos.

Otro valor que se usa para la determinación de la composición mineral es:

$$t = al - (c + alk).$$

Si  $t > 0$   $al > (c + alk)$ , hay exceso de alúmina después de combinar alúmina con alcalinos y calcio en la relación 1:1 este valor es raro en rocas endomórficas. Si el valor es muy grande sirve como criterio para distinguir origen sedimentario en rocas metamórficas.

En la designación T y t Niggli no es uniforme. En su último trabajo ((1948) pag 336) los define así:  $t = al - (alk + c)$  y  $T = (al = alk)$  cuando este valor es positivo.

Si  $al - (c + alk) = 0$ ,  $al = (c + alk)$ , entonces la cantidad total de calcio y alcalinos se combina con alúmina en la relación 1 : 1 (feldespatos y feldespatoideos). Entonces no hay calcio para la formación de augita u hornblenda con calcio. Sin embargo, si :  $al - (alk + c) < 0$   $c > (al - alk)$  esto indica que, después de la formación de los feldespatos alcalinos ( y antes de su sustitución y anortita, sobre algo de calcio que no pudo combinarse con alúmina y queda incorporado en los minerales opacos. Esta parte del calcio corresponde al "chaux non feldespatisable" de los autores franceses y se denomina C'.

$$Ca = c - (al - alk).$$

#### COMPOSICION NORMATIVA SIMPLIFICADA A PARTIR DE LOS PARAMETROS DE NIGGLI

A menudo no es necesario determinar la composición normativa mineral a partir de los parámetros de Niggli y por lo general es preferible calcular la norma directamente de los porcentajes por peso. Sin embargo, en determinadas circunstancias es aconsejable recalcular la composición química de la roca definida por los parámetros de Niggli, a una composición mineral normativa.

Estos sucede, por ejemplo, cuando los parámetros de Niggli son determinados por interpolación a partir de un diagrama de variación.

Según lo visto en el cálculo de qz, los componentes finales en la norma son: minerales saturados en sílice, feldespatos y piroxeno. Las fórmulas isomórficas para feldespatos serían: ((SiO<sub>2</sub>)<sub>3</sub> AlO<sub>2</sub>) K para Or; ((SiO<sub>2</sub>)<sub>3</sub> AlO<sub>2</sub>) Na para Ab y (SiO<sub>2</sub>)<sub>3</sub> - (AlO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> Ca para An. Estas fórmulas corresponden a la sustitución de un Na o un Ca por un K.

Si el número de átomos presentes de K se toma como base para la formación de Or entonces este número se multiplica directamente por 5 para determinar la cantidad de Or presente ya que en la fórmula  $Si + al + K = 5$ . Como en el cálculo de los parámetros de Niggli se toma como base un al, debe considerarse que éste es equivalente a 2 (Na + K) ya que su cálculo se basa en la suma de (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) y el número de átomos de Na o K estará dado por la fórmula de  $k.2 alk$  o  $(1-k). 2 alk$  respectivamente.

La cantidad de An se puede obtener multiplicando Al por 5/2 según la fórmula  $(1 SiO_2) (AlO_2)_2 Ca$ , en este caso la suma de  $Si + Al + Ca = 5$ . Como el cálculo de F se basa en la cantidad Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, después de formados los feldespatos alcalinos queda una

cantidad de alúmina igual a  $(al - alk)$  para la formación de anortita. Entonces  $5 (al - alk)$  representa la cantidad de An. La relación Or: Ab: An está dada por:  $2 k, alk: 2 (1-k) alk: (al - alk)$ .

La composición normativa simplificada es:

$$Or = 5 k, 2 alk = 10k alk$$

$$AB = 5 (1 - k) 2 alk = 10 (1 - k) alk$$

$$AN = 5 (al - alk)$$

$$Wo = 2 (c - (al - alk))$$

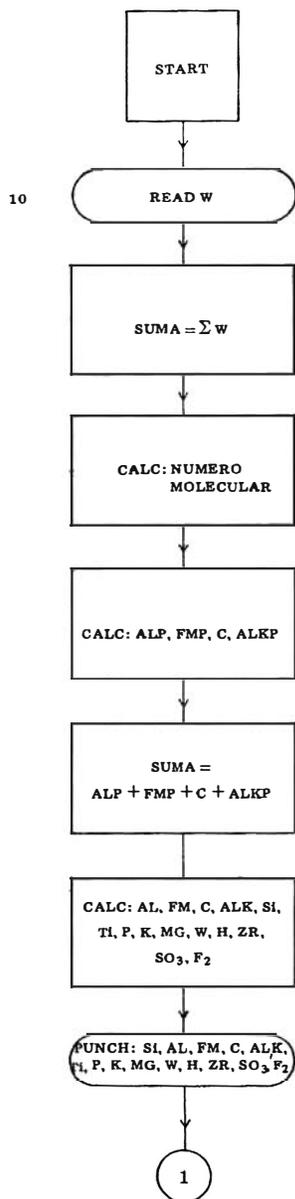
$$En = 2 mg. fm.$$

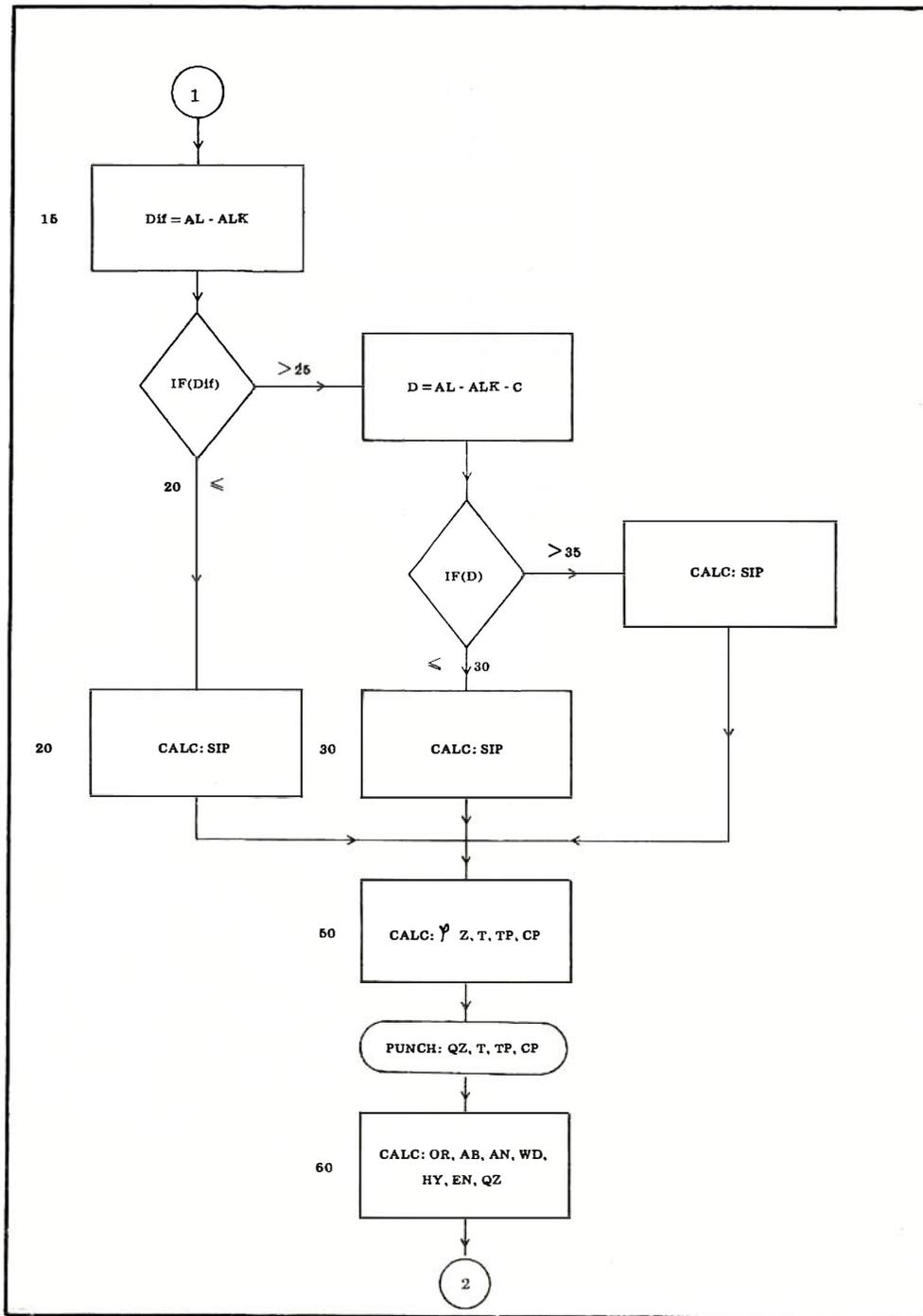
$$Hy = 2 (1 - mg) fm.$$

$$Q = Si - (100 + 4 ak) \approx qz$$

---

DIAGRAMA DE FLUJO PARA PROGRAMA DE CALCULO DE PARAMETROS  
DE NIGGLI Y NORMA SIMPLIFICADA





2

CALC: SUMA

CALC: MOLES MINERALES  
DE LA NORMA

PUNCH: OR, AB, AN, NO, EN  
HY, QZ

END

```

10  READ200, SiO2, Al2O3, Fe2O3, FEO,
      AMNO, AMGO, CAO,
      ANA20, AK20
READ200, TiO2, P2O5, SO3, CL, F,
      Cr2O3, BaO, SrO, ZrO2,
      ANIO, H2OP
SUMA  = SiO2 + Al2O3 + Fe2O3
      FeO + AMGO + AMNO
      + CaO + ANA20 + AK20
SUMA  = SUMA + TiO2 + P2O5
      + SO3 + CL + F + Cr2O3
      + BaO + ZrO2 + ANIO
      + H2OP
SIO2 = SIO2 * SUMA * 0.17
AL2O3 = AL2O3 * SUMA / 10.19
Fe2O3 = Fe2O3 * SUMA / 15.96
FEO    = FEO * SUMA / 7.18
AMGO   = AMGO * SUMA / 7.10
AMNO   = AMNO * SUMA / 4.03
CaO    = CaO * SUMA / 5.60
ANA20  = ANA20 * SUMA / 6.19
AKA20  = AKA20 * SUMA / 9.41
Ti2O  = Ti2O * SUMA / 7.99
P2O5 = P2O5 * SUMA / 14.19
SO3   = SO3 * SUMA / 8.01
CL     = CL * SUMA / 3.54
F      = F * SUMA / 1.90
Cr2O3 = Cr2O3 * SUMA / 15.20
BaO    = BaO * SUMA / 15.33
SrO    = SrO * SUMA / 10.36
ZrO2  = ZrO2 * SUMA / 12.26
ANIO   = ANIO * SUMA / 7.46
H2OP   = H2OP * SUMA / 1.81
ALP    = Al2O3 + Cr2O3
FMP    = 2.0 * Fe2O3 + FeO +
      AMG + AMNO + ANIO
C      = CaO + BaO + SrO
ALKP   = ANA20 X AK20
SUMA   = ALP + FMP + C + ALKP
AL     = 100.0 * ALP / SUMA
FMN    = 100.0 * FMN / SUMA
C      = 100.0 * C / SUMA
ALK    = 100.0 * ALKP / SUMA
SI     = 100.0 * SiO2 / SUMA
P      = 100.0 * P2O5 / SUMA
AK     = AK20 / ALKP
AMG    = AMGO / FMP
W      = 2.0 * Fe2O3 / (2.0 * FeO3
      + FeO)
H      = H2OP * 100.0 / SUMA
Zr     = 100.0 * ZrO2 / SUMA
SO3   = 100.0 * SO3 / SUMA
F2    = 100.0 * F / SUMA
PUNCH250
PUNCH300
PUNCH350, SI, AL, FM, C, ALK, TI,
      P, AK
PUNCH400
PUNCH350, AMG, W, H, Zr, SO3, F2

PUNCH450
GO TO 15
DIF-AL-ALK
15  IF (DIF) 20, 20, 25
25  D      = AL - ALK - C
      IF (D) 30, 30, 35
35  SIP   = 6.0 * ALK + 2.0 * C + FM
      GO TO 50
30  SIP   = 100.0 + 4.0 * ALK
      GO TO 50
50  QZ    = SI - SIP
      T    = AL - ALK
      TP   = AL - C - ALK
      CP   = C - AL + ALK
PUNCH500
PUNCH550
PUNCH350, QZ, T, TP, CP
PUNCH450
60  OR    = 10.0 * AK * ALK
      AB   = 10.0 * (1.0 - AK) * ALK
      AN   = 5.0 * (AL - ALK)
      WO   = 2.0 * (C - AL - ALK)
      EN   = 2.0 * AMG * FM
      HY   = 2.0 + (1.0 - AMG) * FM
      QZ   = SI - (100.0 + 4.0 * ALK)
      SUMA = OR + AB + AN + WO +
      EN + HY + QZ
      OR   = OR * 100.0 / SUMA
      AB   = AB * 100.0 / SUMA
      AN   = AN * 100.0 / SUMA
      WO   = WO * 100.0 / SUMA
      EN   = EN * 100.0 / SUMA
      HY   = HY * 100.0 / SUMA
      QZ   = QZ + 100.0 / SUMA
PUNCH600
PUNCH650
PUNCH350, OR, AB, AN, WO, EN,
      HY, QZ
GO TO 10
200 FORMAT (F7.2, F7.2, F7.2, F7.2,
      F7.2, F7.2, F7.2, F7.2,
      F7.2, F7.2)
250 FORMAT (18K, 20HPARAMETROS
      DE NIGGLI/)
300 FORMAT (9X, 22HSI AL FM C ALK
      TIP AK, /)
350 FORMAT (F10.4, F10.4, F10.4,
      F10.4, F10.4, F10.4, F10.4,
      F10.4, F10.4, F10.4)
400 FORMAT (9X, 17HAMG W H ZR
      SO3 F2, /)
450 FORMAT (/)
500 FORMAT (18X, 24HRELACIONES
      PETROQUIMICAS, /)
550 FORMAT (9X, 10HQZ T TP CP, /)
600 FORMAT (18X, 18HNORMA SIM-
      PLIFICADA, /)
650 FORMAR (9X, 20HOR AB AN WO
      EN HY QZ, /)

```

## BIBLIOGRAFIA

- BARTH**, *"Theoretical Petrology"*. 1965.
- BURRI**, *Petrochemical calculations. New York. 1956*
- H. S. WASHINGTON**, *"Chemical analyses of igneous rocks"* U. S.G.S., pp.99, 1917.
- JOHANNSEN, A.**, *"A. descriptive petrography of the igneous-rocks"*. Vol. 1, pag. 83-99, 1938. *The University of Chicago Press. Chicago.*
- NIGGLI, P.**, *Rocks and Mineral Deposits. San Francisco, W. H. Freeman and Company, 1954.*

\* \* \*

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
GEOLOGICO-MINERAS**

**Informe No. 1559**

**POSIBLES APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA SERPENTINITA  
EN COLOMBIA**

**Por**

**Humberto González Iregui**  
**Geólogo**

**BOGOTÁ, 1970**

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN. . . . .	49
INTRODUCCION . . . . .	49
DESCRIPCION PETROGRAFICA Y CLASIFICACION . . . . .	49
COMPOSICION MINERALOGICA. . . . .	49
SERPENTINITA . . . . .	49
OLIVINO . . . . .	49
ORTOPIROXENO . . . . .	49
CLINOPIROXENO . . . . .	52
MAGNETITA . . . . .	52
CROMITA-PICOTITA . . . . .	52
TEXTURA Y ESTRUCTURAS . . . . .	52
COLOR . . . . .	53
COMPOSICION QUIMICA . . . . .	53
NUEVOS EMPLEOS DE LAS SERPENTINITAS . . . . .	53
PIEDRA DE CONSTRUCCION . . . . .	53
PROPIEDADES FISICAS . . . . .	53
RESISTENCIA A LA COMPRESION . . . . .	53
ESFUERZOS TRANSVERSALES . . . . .	55
DUREZA Y PROPIEDADES RELACIONADAS . . . . .	56
POROSIDAD Y ABSORCION . . . . .	56
COLOR . . . . .	56
DURABILIDAD . . . . .	56
FERTILIZANTES . . . . .	57
REFRACTARIOS . . . . .	57
CONCLUSIONES . . . . .	58
BIBLIOGRAFIA . . . . .	58
APENDICE . . . . .	58

CUADROS

1. Análisis modales de la serpentinita . . . . .	52
2. Variedades petrográficas de rocas ultrabásicas . . . . .	53
3. Análisis químico en peso . . . . .	54
4. Cálculo de la norma en peso . . . . .	55
5. Comparación entre los valores obtenidos para peridotita, serpentina y otros tipos de roca. . . . .	55
6. Comparación entre los valores obtenidos en la Cordillera Central con diversos tipos de rocas, incluyendo serpentinas en otras partes de mundo . . . . .	56
7. Valor comparativo de los rangos entre la serpentinita y otros tipos de roca . . . . .	56
8. Valor comparativo de la absorción y porosidad de las rocas de la Cordillera Central con los obtenidos para los diversos tipos de rocas en otras localidades . . . . .	56

FIGURAS

1. Distribución de Rocas ultrabásicas en la Cordillera Central . . . . .	50
2. Variación de densidad en Rocas ultrabásicas de la Cordillera Central . . . . .	51

## RESUMEN

*La abundancia de cuerpos ultrabásicos serpentinizados en la Cordillera Central, hace pensar en la aplicación industrial de estas rocas.*

*En el presente trabajo se hace un estudio preliminar de su posible aplicación como abono mezclado con fosfatos; como refractario y como piedra ornamental, tanto de enchape como para pisos.*

\* \* \*

## INTRODUCCION

La abundancia de serpentinitas a lo largo de la Cordillera Central (fig. 1), hace pensar en la posible aplicación industrial de estas rocas.

El presente informe considera las posibilidades de su uso como piedra de construcción, en la fabricación de abonos y para refractarios.

Los estudios petrográficos fueron hechos por el autor; los análisis químicos, ejecutados en el Laboratorio Químico de Ingeominas. Los ensayos de resistencia, se llevaron a cabo en los laboratorios de la Facultad Nacional de Minas.

El autor quiere agradecer la colaboración prestada por el Director del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras "Ingeominas", ingeniero Andrés Jimeno Vega, para la elaboración del presente trabajo.

## DESCRIPCION PETROGRAFICA Y CLASIFICACION

La mayoría de las rocas ultrabásicas serpentinizadas se encuentran localizadas a lo largo del margen occidental de la Cordillera Central, siguiendo zonas de falla a las cuales están íntimamente relacionadas.

Ocurren como cuerpos alargados con dirección general norte-sur; su forma y tamaño son muy variables alcanzando en algunos casos, varios kilómetros de longitud.

## COMPOSICION MINERALOGICA

De los distintos estudios efectuados en la Cordillera Central, se relacionaron algunas muestras de las más representativas, con el fin de hacer un estudio detallado de su composición mineralógica, cuyo resultado puede observarse en el Cuadro No.1.

Los minerales más importantes en este estudio fueron determinados por métodos

ópticos; en unos pocos casos se emplearon rayos X y separación de minerales por medio del separador magnético isodinámico.

Las rocas denominadas serpentinitas pueden dividirse en tres grupos fácilmente cartografiables: masivas, cizalladas y foliadas. La transición entre las serpentinitas masivas y las ridotitas y dunitas frescas, es a menudo difícil, a no ser que se haga un estudio cuidadoso de densidades.

## SERPENTINA

El mineral predominante en el grupo de la serpentina es la antigorita, pseudomorfa, según olivino en la mayoría de las muestras, aunque en algunas se observa antigorita, según piroxenos. Este mineral en algunas muestras llega a formar hasta el 90% de la roca.

Crisolito es escaso, excepto en el área de Campemento y por lo general, se encuentra rellenando fracturas. Generalmente estas rocas, a medida que aumenta el contenido de crisolito, disminuye su densidad (fig.No.2).

Otras variedades de minerales del grupo de la serpentina son menos abundantes; se encuentra serpofita íntimamente mezclada con antigorita, lo que hace muy difícil su identificación, excepto por medio de rayos X (Difactómetro de rayos X).

Al Este de la población de Ituango se observa el desarrollo de picrolita en fibras, producida posiblemente, por recristalización de serpentina a lo largo de zonas de cizalladura.

## OLIVINO

En la mayor parte de las muestras estudiadas aparece parcial o totalmente serpentizado.

Granos anhedrales incoloros, con bordes irregulares corroídos, invadidos por antigorita. Bastante fracturado; presentando por lo regular, las facturas rellenas con magnetita-cromita posiblemente, como producto residual de la serpentización. La birrefringencia es baja, gris amarillo a rojizo de primer orden.

## ORTOPIROXENO

Se presenta en algunas variedades de peridotita, como núcleos parcialmente alterados a una masa fibrosa y con parting, de extinción 40°, posiblemente de una clinopiroxeno. El núcleo presenta extinción paralela, birrefringencia baja, biáxico positivo con ángulo 2V grande, parece corresponder a enstatita.

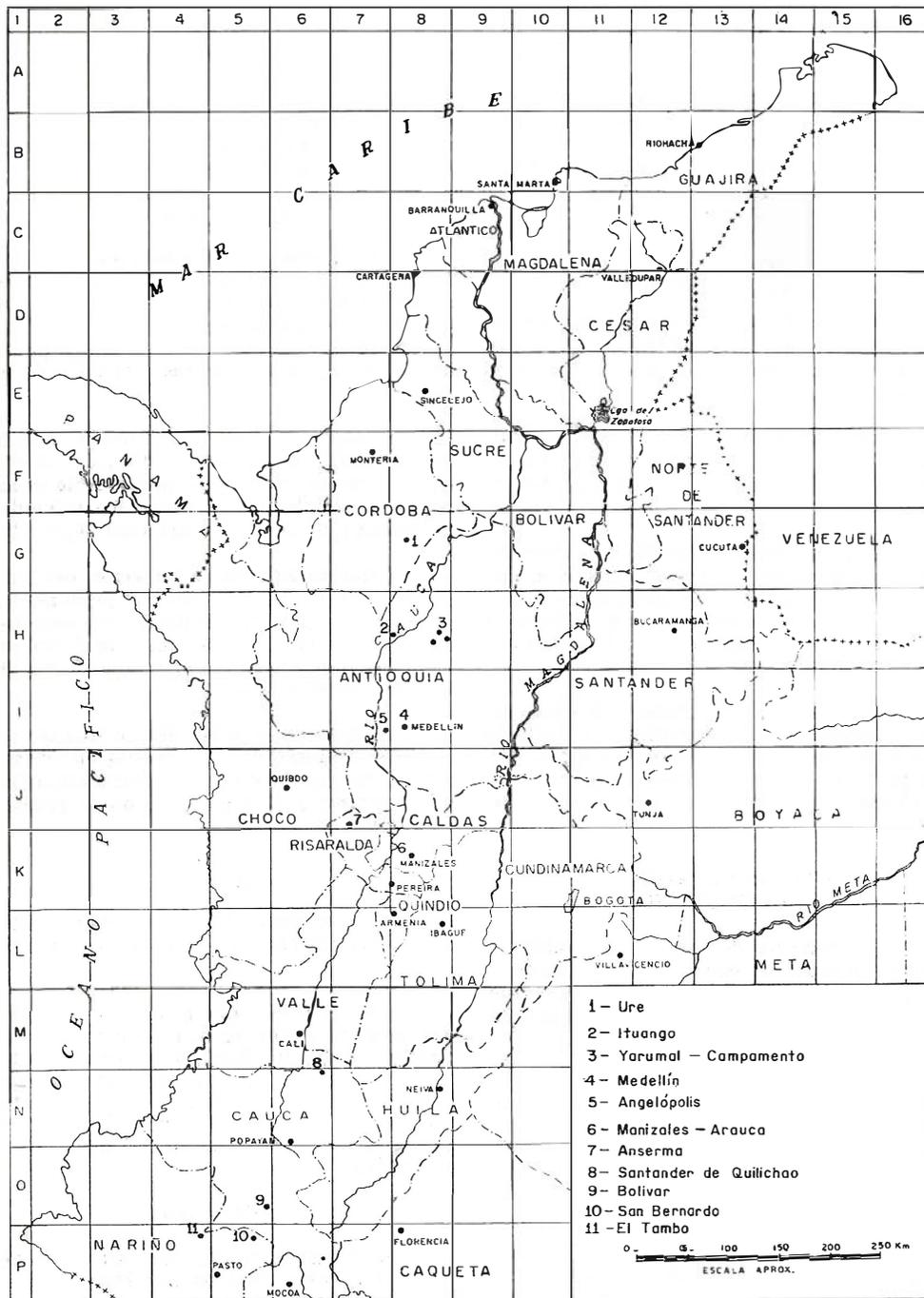


Fig.1-Distribución de Rocas Ultrabásicas en la Cordillera Central

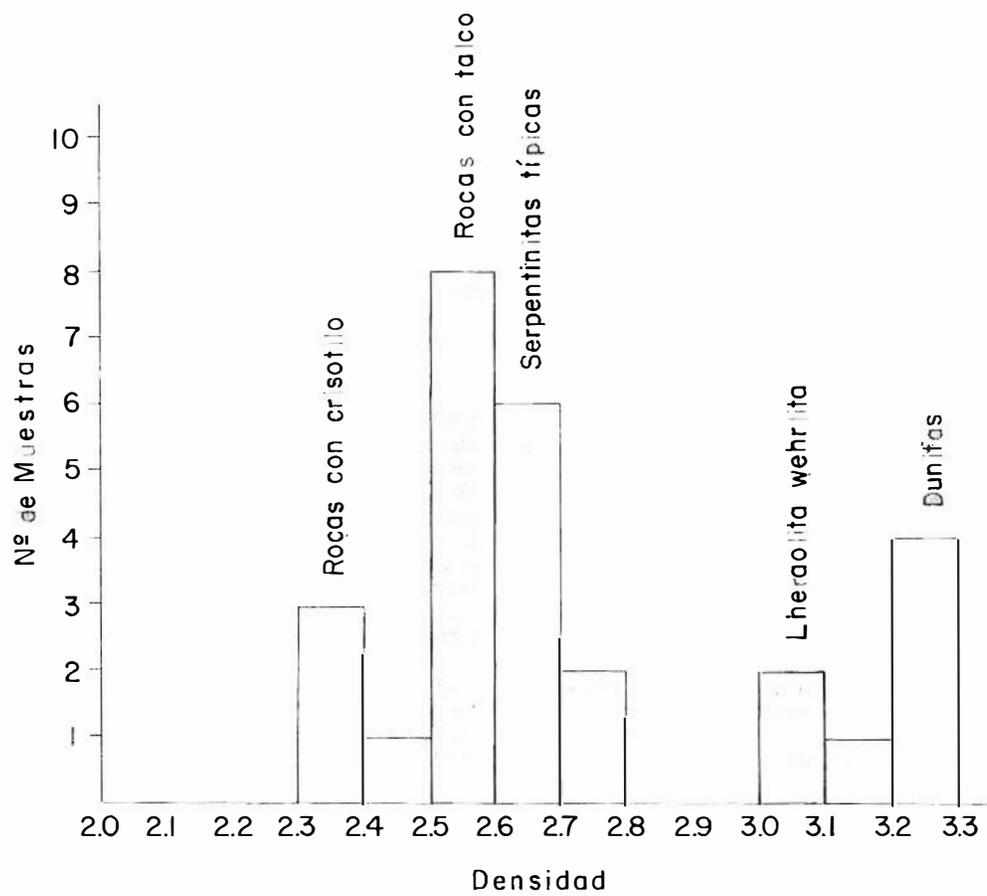


Fig.2 – Variación de Densidad en rocas ultrabásicas de la Cordillera Central.

## CUADRO No. 1

## ANALISIS MODALES DE SERPENTINITAS

Muestra*	Olivino	Piroxeno	Antigorita	Opacos	Carbonato	Plagioclasa	Talco	Clorita
HGJ-264	56.0	10.9	(1)	0.8	0.3	32.0	-	Tr
AE-84	34.0	17.0	46.0	3.0	-	-	-	-
AE-107	Tr	-	87.0	3.0	1.0	-	9.0	-
AE-283	Tr	Tr	95.5	3.0	-	-	-	1.5
JCH-86	33.9	11.6	50.5	1.8	0.6	-	Tr	1.6
RHB-"SM"	87.6	8.3	2.6	1.2	0.2	-	-	0.1
La Paloma	Tr	Tr	2.9	1.6	16.4	-	79.1	-
650-A (2)	7.95	-	84.7	7.10	-	-	-	-
724-A (2)	-	-	95.5	2.80	-	-	-	1.5
665-A (2)	34.9	-	61.0	2.00	-	-	-	2.0

(1) Incluido en olivino

(2) Muestras de la Facultad Nacional de Minas

\* Para localización de muestras, ver apéndice al final.

## CLINOPIROXENO

Como mineral primario en la mayoría de las muestras es dialaga con parting característico. En unas pocas muestras se encontró augita. También se encuentra jadeita, pero como producto de alteración de ortopiroxeno.

## MAGNETITA

Residual, en polvo fino a lo largo de las fracturas en olivino y muy poca en pequeños granos diseminados.

## CROMITA - PICOTITA

Accesorio en parte asociado a magnetita.

En la vecindad de la población de Yarumal, las rocas están compuestas esencialmente por talco-magnesita tremolita-actinolita.

Debe anotarse que aún dentro de un mismo cuerpo existe una gran variación en la composición mineralógica de las rocas, encontrándose distintas variedades petrográficas (Cuadro No.2).

## TEXTURA Y ESTRUCTURAS

Las texturas originales de las rocas analizadas, en la mayor parte de ellas, son muy difíciles de determinar debido al grado de alteración que presentan.

En algunas muestras se pueden observar constituyentes alotriomorfos.

Las muestras ricas en olivino, especialmente dunitas, presentan textura en mosaico equigranular, variando el tamaño del grano de medio a grueso, siendo raras las variedades de grano fino. Los tipos porfiríticos son raros; pero se encontraron muestras cuya textura varía de microporfirítica a macroporfirítica. En las rocas con olivino-piroxeno, es frecuente la textura pseudoporfirítica-poiquilítica, en la cual cristales alotriomorfos de piroxeno, tienen inclusiones de magnetita-cromita y en algunos casos, de olivino. La textura sideronítica rara, aparece en una muestra en la cual, la magnetita intersticial figura como cementando masas de antigorita según olivino.

Las sustituciones del olivino y en algunos casos piroxeno por: serpentinita, talco-clorita, magnetita, dan lugar a una amplia variedad de texturas secundarias como: aureolas, residuos, reticular, pseudobrechas, etc. Texturas cataclásticas son frecuentes.

Algunas de estas rocas presentan una esquistosidad definida debida a los efectos de de las distintas fallas a las cuales están asociadas, desarrollando una buena foliación. En su mayor parte pueden considerarse como rocas masivas.

Las deformaciones mecánicas producen cataclastitas y milonitas, orientando la roca en ciertos tramos; no obstante, tienen un carácter local si se compara con la orientación general de las serpentinitas de Medellín, las de Ituango y del Departamento del Cauca.

CUADRO No. 2

VARIETADES PETROGRAFICAS DE ROCAS  
ULTRABASICAS

Nombre de la roca	Número de Secciones delgadas estudiadas
Serpentinitas	31
Dunitas	3
Dunitas serpentinizadas	12
Wehrlitas con serpentización	5
Harzburgitas con serpentización	3
Lherzolitas con serpentización	2
Piroxenitas con serpentización	3
Rocas de talco-carbonato	16

Según D. Barrero et al., 1969

COLOR

El color varía en tonalidades de verde grisáceo (10Y 4/2) Rock color chart a gris y verde oscuro y aún negro, en las más frescas, por lo general, la cara superficial muestra colores diferentes debidos especialmente a picrolita, dándole a la roca un atractivo color. Otros minerales que juegan papel importante en la coloración son: el talco y los carbonatos. El carbonato invade la serpentinita en multitud de venas irregulares y pequeñas masas aisladas que cuando frescas, tienen color blanco grisáceo a pardo claro, con superficies lustrosas en los planos de clivaje; cuando se alteran se tornan pardo-amarillentas o pardo-rojizas, por la presencia de limonita. Es común encontrar zonas de serpentinita moteada de manchas pardo-rojizas. El talco tiene un efecto decolorante y acompañado por carbonatos, da un moteado gris verdoso.

La clorita, cuando está presente, da tonos más oscuros si se halla diseminada; o en manchas y vetas oscuras, cuando está en agregados.

COMPOSICION QUIMICA

En el cuadro No. 3, se da el resultado de los análisis efectuados a algunas de las rocas representativas de los distintos cuerpos de serpentinitas.

El  $H_2O^+$  se calculó deduciendo de las pérdidas por calcinación entre 105° y 1000°C, el contenido de CO<sub>2</sub>. Esto es cierto, siempre y cuando el contenido de materia orgánica en la roca, sea despreciable.

Se hizo el cálculo de la norma para la muestra HGI-264 (cuadro No.4, recolectada cerca a Anserma. Es una roca, con un contenido alto en olivino parcialmente serpenti-

zado y con plagioclasa cálcica, pudiéndose considerar como una picrita.

NUEVOS EMPLEOS DE  
LAS SERPENTINITAS

Entre las nuevas aplicaciones industriales en las cuales se pueden utilizar las serpentinitas tenemos, de acuerdo a su aplicación inmediata:

- 1) Piedra de construcción.
  - a) ornamental, tanto para pisos como de enchape.
  - b) afirmados y terrazzo.
- 2) Como refractario.
- 3) Como fertilizante.

A continuación se hace un análisis de las características de las serpentinitas, para cada uno de los usos mencionados anteriormente.

PIEDRA DE CONSTRUCCION

Las serpentinitas pueden emplearse tanto como piedra ornamental para enchapes y pisos, como triturada para afirmados especialmente en carreteras y para terrazzo.

Las características que hacen que una roca pueda emplearse como piedra de construcción, dependen de su composición mineralógica y química (descritas anteriormente) y de sus propiedades físicas.

PROPIEDADES FISICAS

Las propiedades físicas de la piedra de construcción difieren algunas veces, de acuerdo al uso que se les vaya a dar. En general, la durabilidad y resistencia son los factores primordiales, aunque existan otras de importancia, si va a ser usada en enchapes de exteriores, para decoración de pisos, piezas de ornamentación, etc. Las propiedades físicas más importantes son:

RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la comprensión es una medida de la capacidad soportante de la roca; es de especial importancia en el caso de serpentinitas usadas para pisos o triturada para afirmado de carreteras.

Ensayos hechos siguiendo normas de A.S.T.M. (C 99-52) en los laboratorios de la Facultad de Minas, dieron los siguientes resultados: para muestras frescas 11.000 a 23.000 psi; muestras serpentinizadas 3.600 a 9.100 psi.

El límite dado por la USBS es de 3.000 psi o sea que las muestras ensayadas cumplen

CUADRO No. 3

Muestra	Pozo-27-510	Pozo 045	AE-115	AE-340	AE-310-B	JD-564	DU-783	JMC-39D	HGI-264
No. Laborat.	001488	001489	001492	001496	001500	001509	001512	001553	
ANALISIS QUIMICO % EN PESO									
SiO <sub>2</sub>	37.09	39.44	34.99	37.14	39.24	44.52	38.48	38.16	40.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.76	15.76	8.17	4.24	12.94	4.83	13.44	5.16	7.21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.43	6.03	0.27	0.57	7.31	0.00	0.00	1.52	2.80
FeO	1.63	2.77	5.59	0.93	4.93	3.29	1.70	4.45	15.41
MgO	26.90	26.05	38.31	40.37	19.70	33.68	22.63	18.01	24.02
CaO	2.80	2.80	2.80	1.54	5.53	1.32	9.20	20.58	5.54
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.02	0.05	0.04	0.67	0.12	0.14	0.08	0.78
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.01	0.08	0.08	0.00	0.00	0.09	0.24
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	11.45	13.61	7.27	12.25	8.26	9.89	7.35	10.19	1.42
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	1.51	0.84	0.88	1.18	0.32	0.54	0.20	11.06	0.06
TiO <sub>2</sub>	0.75	0.66	0.38	0.56	0.32	0.47	0.47	0.24	0.64
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.05	0.00	0.00	0.01	0.12	0.06	0.00	0.05
MnO	0.09	0.15	0.15	0.09	0.34	0.06	0.10	0.12	0.29
CO <sub>2</sub>	0.13	0.10	0.52	0.66	0.00	0.68	5.80	0.02	0.38
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.02	0.01	0.00	0.15	0.53	0.10	0.03	0.03
NiO	0.26	0.45	0.53	0.27	0.19	0.21	0.34	0.33	0.05
CL	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
F	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01

CUADRO No. 4

CALCULO DE LA NORMA EN % PESO

**Muestra: HGI-264 - Anserma -Caldas-**

Ortoclasa	or	0.832			
Albita	ab	7.453	Salic:		24.103
Anortita	an	15.784	Fonic:		75.896
Leucita	Lc	0			
Nefelina	ne	0	Diópsido	di	6.585
Halita	Hl	0.0179	Di - Wo		3.413
Wollastonita	Wo	3.409	Di - EN		2.243
Enstatita	En	3.860	Di - fs		0.928
Ferrosilita	fs	1.602			
Forsterita	fo	41.801	Hipersteno	hy	2.275
Fayalita	fa	19.069	hy - En		1.609
Ortosilicato de Ca	Cs	0	hy - fs		0.666
Magnetita	mt	4.120			
Ilmenita	il	1.037	Olivino	ol	60.870
Apatito	ap	0.120	ol - fo		41.805
Fluorita	fr	0.010	ol - fa		19.065
Calcita	cc	0.870			
Total :		99.9849			

los requisitos de resistencia. Los ensayos de otras clases de esfuerzos se realizan muy rara vez, admitiéndose en la práctica valores por comparación a los de compresión. Para la resistencia a la flexión se acepta como coeficiente 1/ 10el esfuerzo de compresión, para la cizalladura 1/ 15 y para la tracción 1/30 del mismo esfuerzo.

En el cuadro No.5 puede hacerse una comparación entre el valor obtenido para las peridotitas y serpentinitas y los valores usuales en otros tipos de rocas (tomando de Kesler et al., 1940).

CUADRO No. 5

Roca	Rango (psi)
Mármol . . . . .	8.000 - 27.000
Caliza . . . . .	2.600 - 28.000
Arenisca . . . . .	5.000 - 20.000
Cuarcita . . . . .	16.000 - 45.000
Serpentinita . . . . .	3.600 - 9.100
Peridotitas . . . . .	11.000 - 23.000
Granitos . . . . .	13.000 - 47.000

ESFUERZOS TRANSVERSALES

Los ensayos para determinar los esfuerzos transversales dan un valor más tangible, ya que determinan la flexión que puedan sufrir las rocas cuando estén sometidas a grandes cargas.

El ensayo de la A.S.T.M. (c 99 - 52) determina el módulo de ruptura según la fórmula:

$$R = \frac{3 w L}{2b t_2} ; \text{ en donde}$$

- W = Carga de ruptura, en libras.
- L = Longitud de la luz, en pulgadas.
- b = Ancho de la muestra, en pulgadas.
- t = Espesor de la muestra en pulgadas.
- R = Módulo de ruptura, psi.

Los valores obtenidos variaron entre 1.000 y 9.600 psi, mostrando a medida que aumenta el grado de serpentización, disminuye el módulo de ruptura. Estos valores los podemos comparar (Cuadro No. 6) con los valores dados por Kesler (1940) para diversos tipos de rocas, incluyendo serpentinitas de otras partes del mundo.

CUADRO No. 6

Roca	Rango (psi)
Granito . . . . .	1.380 - 5.500
Mármol . . . . .	600 - 4.000
Caliza . . . . .	500 - 2.000
Pizarra . . . . .	6.000 - 15.000
Serpentinitas . . . . .	1.300 - 11.000
Arenisca . . . . .	700 - 23.000

Las características textuales de la roca, influyen directamente en el esfuerzo transversal; entre mayor coherencia presenten los cristales, mayor será el módulo de ruptura de la roca.

#### DUREZA Y PROPIEDADES RELACIONADAS

La dureza de una roca es diferente a la dureza de sus constituyentes; es una función compuesta de la dureza de sus minerales, dependiendo en parte, de la abundancia relativa de éstos, de su textura y algunas veces, de la porosidad de la roca.

No existen ensayos definidos para determinar la dureza de una roca; pero hay ciertas pruebas que pueden servir para determinar la dureza relativa, tal como la resistencia a la penetración.

Relacionada a la dureza, se halla la resistencia a la abrasión. El desgaste producido por frotamiento es una de las características principales a considerar, en las piedras destinadas a pisos. Depende de la naturaleza de la misma piedra y la del material con que se efectúa el rozamiento.

El ensayo de la A.S.T.M. (c 241 - 51) dió como resultado (ensayo efectuado en el Ministerio de Obras Públicas), un rango en Ha, entre 13 y 110, dependiendo del grado de serpentización de la roca. Estos valores podemos compararlos en el cuadro No. 7, con valores para otros tipos de roca.

CUADRO No. 7

Material	Rango (Ha)
Granito . . . . .	37 - 88
Mármol . . . . .	8 - 42
Caliza . . . . .	1 - 24
Arenisca . . . . .	2 - 26
Pizarra . . . . .	6 - 12
Serpentinita . . . . .	13 - 110
Travertino . . . . .	1 - 16

#### POROSIDAD Y ABSORCION

La porosidad y la absorción tienen una influencia directa en la resistencia a la meteorización y por lo tanto, en la duración de una roca. La porosidad se refiere al volumen de espacios vacíos; la absorción se refiere a la cantidad de líquido que puede absorber cuando se sumerge en éste y se halla íntimamente relacionada a la porosidad.

El ensayo de la A.S.T.M. (c 97 - 47) para determinación de absorción y porosidad, dió el siguiente resultado para serpentinitas de Ituango y Manizales:

0.4 a 1.62 como rango de porosidad.

Estos valores se pueden comparar en el cuadro No. 8 con valores obtenidos por la A.S.T.M., para diversos tipos de rocas.

CUADRO No. 8

Material	Volumen (%)
Granito . . . . .	0.4 - 3.84
Mármol . . . . .	0.4 - 2.30
Pizarra . . . . .	0.1 - 1.70
Cuarcita . . . . .	1.5 - 2.90
Arenisca . . . . .	1.9 - 27.30
Caliza . . . . .	1.1 - 31.00
Serpentinita . . . . .	0.6 - 3.00

#### COLOR

El color es una propiedad importante en piedras que van a ser usadas en construcción, especialmente cuando tienen fines ornamentales. El color arquitectónico de una piedra se debe al color del mineral predominante, afectado parcialmente por los demás constituyentes. En la parte descriptiva de las serpentinitas, se hizo un análisis del color y de su variaciones, de acuerdo a los cambios en la composición mineralógica y al grado de alteración de los constituyentes.

#### DURABILIDAD

Tanto al productor como al consumidor les conviene un patrón mediante el cual, la duración o vida de una piedra, pueda determinarse satisfactoriamente por medio de constantes físicas. La A.S.T.M. tiene dos ensayos tentativos, A.S.T.M. C 217 - 48 T y C 218 - 48 T, ya que es muy difícil trasladar las medidas de laboratorio, en términos de un proceso natural.

Se define como durabilidad, el número de años que una piedra pueda conservar su integridad como material de construcción.

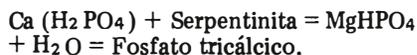
De estudios hechos en la ciudad de New York, se presume que durabilidad, en condiciones normales, de la una serpentinita usada en exteriores, es de 50 - 100 años.

#### FERTILIZANTES

La abundancia de roca fosfórica en la Cordillera Oriental y el futuro desarrollo de la industria de fertilizantes en el país, basada en estos hallazgos, hace pensar en la posible fabricación de superfosfatos de magnesio.

Mezclando tres partes de superfosfato con una parte de serpentinita, se produce al ser aplicado en el terreno, un fosfato de magnesio que contiene magnesio soluble en agua y disminuye la cantidad de ácido fosfórico soluble (Askew, Stanton).

La química de esta reacción podría presentarse aproximadamente por la siguiente reacción:



La mezcla resultante, tiene la ventaja de convertir el agua hidrosfópica en agua de cristalización, dando un fertilizante que no es aglutinante (Askew, 1942). El carácter no aglutinante es una gran ventaja, ya que el superfosfato-serpentina, puede aplicarse fácilmente por medio de avionetas, evitando en parte, el empaque en bolsas y haciendo una repartición más uniforme sobre grandes áreas con mayor economía de tiempo.

Originalmente se pueden hacer ensayos mezclando tres partes de superfosfato con una de serpentinita, ya que probablemente, el factor determinante es el contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  por unidad. Para usar una proporción 3:1 el contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  debe ser de 25% (66-70 FCH). Otra característica del superfosfato-serpentina, es que tiene un PH neutro o casi neutro, permitiendo su uso en aquellas áreas donde la germinación de las semillas requiere un fertilizante activo, pero es inhibida por un PH bajo.

En estudios recientes, se ha descubierto que una cantidad considerable de magnesio es desplazada de los suelos cuando a éstos se les aplica superfosfato o cloruro de potasio. Hogg (1962) demostró que la aplicación de la mezcla superfosfato-serpentina, da una cantidad suficiente de magnesio soluble (2.3-5.6%) para reemplazar el desplazado por la aplicación de cloruro de potasio o de superfosfato.

Las explotaciones para serpentinita deben ser a cielo abierto, buscando aquellas áreas de mayor accesibilidad de modo que se justifique su transporte al centro de produc-

ción de fertilizantes, sin que afecte en mucho el precio del superfosfato y aprovechando inicialmente las zonas de mayor cizallamiento que facilitan la explotación.

Los trabajos sobre fertilizantes especifican que la serpentinita debe contener un 30% de MgO soluble en ácido (en HCL - normal) y menos del 10% de  $\text{P}_2\text{O}_3$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), soluble en ácido. Estos valores no son difíciles de obtener en la mayoría de los cuerpos de serpentinita de la Cordillera Central (ver cuadro No. 3) ya que algunas muestras llegan a tener hasta 40% de MgO y menos del 10% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  combinado. Serpentinitas que contienen inclusiones tectónicas y alteraciones secundarias que produzcan carbonato o pérdida de magnesio, puedan ser perjudiciales para la fabricación de fertilizantes.

#### REFRACTARIOS

Las serpentinitas y rocas ultrabásicas como fuente probable de materiales para fabricación de refractarios, tendrían varias alternativas:

a) Como fuente de magnesita para fabricación de refractarios básicos La magnesita se encuentra en algunas zonas rellenando venas y fracturas y se ha derivado de la serpentinita por acción de aguas superficiales que contienen  $\text{CO}_2$ . Desde hace algún tiempo en España se ha patentado un sistema para obtener magnesita por síntesis directa de las serpentinitas (H. Restrepo, comunicación oral).

b) Como roca olivínica, el olivino es un silicato de magnesio y hierro con cantidades variables de hierro y magnesio, constituyente esencial de rocas básicas y ultrabásicas. La forsterita variedad rica en magnesio con menos del 10% de hierro, tiene un alto punto de fusión y es la clase empleada para refractarios básicos.

c) Como serpentinita; en este caso se emplea mezclada con magnesita fundida (magnesita). Entre nosotros, ésta podría ser la aplicación más inmediata, ya que roca de serpentinita es la más abundantes; pero por ahora debería importarse magnesita. Se usa para refractarios básicos.

d) En la fabricación de refractarios neutros se usa cromo. El cromo ocurre en las rocas básicas y ultrabásicas o en rocas derivadas de éstas por alteración y gran parte se halla asociado a serpentinitas y rocas ultrabásicas ricas en magnesio. Hasta ahora el único depósito conocido para cromo se encuentra en Santa Elena, cerca a Medellín y se está explotando actualmente, para fabricación de refractarios y aceros al cromo en Furesa.

## CONCLUSIONES

De los análisis mineralógico, petrográfico, químico y la determinación de las propiedades físicas de los diversos tipos de serpentinitas que ocurren a lo largo de la Cordillera Central, se puede deducir:

1o. Las serpentinitas de esta area pueden emplearse como piedra de construcción, ya que cumple las condiciones mínimas de los ensayos propuestos para la A.S.T.M., para piedras de construcción.

2o. Estas rocas, tienen en parte, estructura fibrosa, de brillo sedoso, de color verde, a veces con manchas rojizas, con muchas irregularidades, veteados y gran riqueza de tonalidades, que se realzan con el pulimento, haciéndola muy apreciada en decoración.

3o. Se deben hacer algunos ensayos sobre aplicación de fosfato-serpentina, en zo-

nas pobres en magnesio para entrar a analizar el factor económico en la producción de este fertilizantes, aprovechando la abundancia de roca fosfórica en la Cordillera Oriental y el auge en la industria fertilizante.

4o. Estudio detallado por métodos geofísicos, geoquímicos, etc., de las zonas de rocas ultrabásicas con el fin de determinar posibles anomalías en cromo. Debe aprovecharse este estudio para bucar anomalías en minerales asociados a este tipo de rocas como: platino, níquel, oro, etc.

5o. El contenido de Ni en todas las muestras analizadas, es mayor que el porcentaje promedio de las rocas de la corteza (0.008 Ni) y por lo tanto, estas rocas pueden considerarse como una fuente potencial para níquel, en el futuro.

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, P. J., 1965 *Geology and ceramics. Institut of Geological Sciences, London.*
- A.S.T.M., 1952 *Book of A.S.T.M: Standards, part 3.*
- BARRERO, D. et al, 1969 *Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozoico. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras, Bogotá, Informe 1552 - Inédito.*
- COLEMAN, R.G., 1966 *New Zeland serpentinites and associated metasomatic rocks. New Zeland Geological Survey. Bull. 76.*
- CURRIER, L. W., 1960 *Geologic Appraisal of Dimension-stone Deposits. Geological Survey. Bulletin 1109. Washington.*
- ESTRADA, A., 1967 *Asociación magnética básica del Nechí. Facultad Nacional de Minas, Medellín. Tesis de grado inédita.*
- GONZALEZ, I. H., 1967 *Estudio petrográfico de las formaciones geológicas del sur de Antioquia y norte de Caldas. Fac. Nacional de Minas, Medellín. Tesis de grado inédita.*

## APENDICE

## LOCALIZACION DE MUESTRAS MENCIONADAS EN ESTE TRABAJO

HGI-264	Carretera Anserma-Belén de Umbría. Puente Umbría 205-I-D.
AE - 84	Afluente Río Nechí. Plancha 116 II-B.
AE -107	Cerca a Santo Domingo. Plancha 116 II-B.
AE -283	Camino a Cedeño. Plancha 116 II-B.
JCH- 86	Carretera a Mistrato. Cerca a Puente Umbría.
RHB-"SM"	Cerca a Medellín. Salida para Guarne.
La Paloma	Yarumal.
650-A	Carretera Medellín Rionegro-Los Caunces.
724-A	Carretera Medellín-Las Palmas.
665-A	Carretera Loreto-Las Palmas - 2 km de Loreto.
Pozo 27-510	Uré - Plancha 93-I-B.
Pozo 045	Uré - Plancha 93-I-B.
AE-115	Afluente Río Nechí -Plancha 116-II-B.
AE-340	Afluente Río Nechí - Plancha 116-II-B.
AE-310B	Camino a Cedeño - Plancha 116-II-B.
JD-564	Quebrada Zabaletas - Planchas 205-II-A.
DU-783	Quebrada San Sereno-Plancha 104-II-A.
JMC-34D	El Mandarin - Plancha 104-III-D.

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
GEOLOGICO-MINERAS**

**Informe No. 1584**

**YACIMIENTOS DE HIERRO EN COLOMBIA Y DEPOSITOS  
DE HIERRO EN SUDAMERICA**

**Por**

**Jaime Cruz Buenaventura**  
Geólogo

**BOGOTA, MAYO DE 1971**

CONTENIDO	<u>Página</u>
YACIMIENTOS DE HIERRO EN COLOMBIA . . . . .	65
YACIMIENTOS EN EXPLOTACION . . . . .	65
YACIMIENTO DE PAZ DE RIO . . . . .	65
YACIMIENTO DE PACHO . . . . .	65
YACIMIENTOS EN EXPLORACION . . . . .	65
YACIMIENTO DE UBALA . . . . .	65
YACIMIENTO DE SABANALARGA (BOYACA) . . . . .	66
MINERAL DE HIERRO EN SOPO . . . . .	67
MINERAL DE HIERRO DE PERICOS . . . . .	68
OTRAS OCURRENCIAS DE MINERAL DE HIERRO EN LA SABANA DE BOGOTA . . . . .	68
<i>Cerro Volador</i> . . . . .	68
<i>La Caldera</i> . . . . .	68
MINERAL DE HIERRO DE LA PRADERA . . . . .	68
MINERAL DE HIERRO DE TIBIRITA . . . . .	69
MAGNETITA DE OCAÑA . . . . .	69
MINERAL DE HIERRO DE CERRO MATOSO . . . . .	70
OTROS DEPOSITOS MENORES . . . . .	70
<i>El Imán</i> . . . . .	70
<i>Río Luisa</i> . . . . .	70
AREAS POTENCIALES . . . . .	70
AREA DEL GUAVIO . . . . .	70
CERRO DE MONTECRISTO . . . . .	70
AREA DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA . . . . .	70
CUENCA TERCIARIA DE LAS ESTRIBACIONES ORIENTALES DE LA CORDILLERA ORIENTAL EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACA . . . . .	73
AREA DE URE-MOGAMBO-ITUANGO . . . . .	73
DEPOSITOS DE HIERRO EN SUDAMERICA . . . . .	73
ARGENTINA . . . . .	73
PROVINCIA DEL JUJUY . . . . .	73
<i>Zapla (1)</i> . . . . .	73
PROVINCIA DE RIO NEGRO . . . . .	73
<i>Sierra Grande (2)</i> . . . . .	73
PROVINCIA DE SALTA . . . . .	77
<i>Unchimé (3)</i> . . . . .	77
<i>La Sarita (4)</i> . . . . .	77
PROVINCIA DE MISIONES (5) . . . . .	77
PROVINCIA DE MENDOZA . . . . .	77
<i>Depósitos de Hierro Indio (6)</i> . . . . .	77
BOLIVIA . . . . .	77
DEPOSITOS DE MUTUN (7) . . . . .	77
BRASIL . . . . .	78
ESTADO MINAS DE GERAIS (8) . . . . .	78
ESTADO DE MATO GROSSO . . . . .	78
<i>Urucúm (9)</i> . . . . .	78
TERRITORIO DE AMAPA (10) . . . . .	78
ESTADO DE BAHIA (11) . . . . .	79
ESTADO DE SAO PAULO (12) . . . . .	79
ESTADO DE PARANA (13) . . . . .	79
ESTADO DE SANTA CATARINA (14) . . . . .	79
TERRITORIO DE AMAZONAS . . . . .	79
ESTADO DE CEARA (15) . . . . .	79
ESTADO DE GOLAS (16) . . . . .	80
ESTADO DE RIO GRANDE DO NORTE . . . . .	80
ESTADO DE PARAIBA . . . . .	80
ESTADO DE PERNAMBUCO . . . . .	80
ESTADO DE ALAGOAS . . . . .	80
CHILE . . . . .	80
PROVINCIA DE ANTOFAGASTA . . . . .	80
<i>El Laco (17)</i> . . . . .	80
<i>Bandurrias (18)</i> . . . . .	80
PROVINCIA DE ATACAMA . . . . .	80
<i>El Cármen (18)</i> . . . . .	80

	<u>Página</u>
<i>Las Adrianitas (18)</i> . . . . .	80
<i>Cerro Imán (18)</i> . . . . .	81
<i>El Lunar</i> . . . . .	81
<i>Bandurrias - Atacama (18)</i> . . . . .	81
<i>Boquerón - Chañar (18)</i> . . . . .	81
<i>Los Colorados</i> . . . . .	81
<i>Huantemé (18)</i> . . . . .	82
<i>El Algarrobo (18)</i> . . . . .	82
PROVINCIA DE COQUIMBO (19). . . . .	82
<i>El Pleito</i> . . . . .	82
<i>El Romeral</i> . . . . .	82
<i>El Dorado</i> . . . . .	83
<i>El Infiernillo</i> . . . . .	83
PROVINCIA DE ARAUCO - MALLECO . . . . .	83
<i>Relún (20)</i> . . . . .	83
<i>Arenas Ferruginosas</i> . . . . .	83
ECUADOR . . . . .	83
GUAYANA FRANCESA (21) . . . . .	83
GUAYANA . . . . .	84
DEPOSITOS LATERITICOS . . . . .	84
<i>Montañas Azules (22)</i> . . . . .	84
<i>Montañas de Hierro y Montañas Wainara (23)</i> . . . . .	84
<i>Cerro Tigre (23)</i> . . . . .	84
PARAGUAY . . . . .	84
<i>Encarnación (24)</i> . . . . .	84
<i>Caapucu (25)</i> . . . . .	84
PERU . . . . .	84
DEPARTAMENTO DE ICA . . . . .	84
<i>Marcona</i> . . . . .	84
<i>Yaurilla (27)</i> . . . . .	85
DEPARTAMENTO DE AREQUIPA . . . . .	85
<i>Acarí (28)</i> . . . . .	85
DEPARTAMENTO DE JUNIN . . . . .	85
<i>Huacravilea (29)</i> . . . . .	85
DEPARTAMENTO DE PIURA . . . . .	85
<i>Tambo Grande - Yapatera</i> . . . . .	85
OTROS DEPOSITOS (32). . . . .	86
<i>Fátima - Paraiso (31)</i> . . . . .	86
<i>Apurimac</i> . . . . .	86
<i>Parpuy - Mirador</i> . . . . .	86
<i>Machasen</i> . . . . .	86
<i>Pedro Vicente Casas</i> . . . . .	86
<i>Manzano - Pomahuaca - Las Juntas</i> . . . . .	86
<i>Livitaca - Capacmarca - Colquimarca</i> . . . . .	86
<i>Rondoni - Acejar</i> . . . . .	86
<i>Santa Lucía</i> . . . . .	86
<i>Sama - Cerro Pelao - Huancaluna</i> . . . . .	86
SURINAM . . . . .	86
DISTRITO TAPAJE CREEK (33) . . . . .	86
DISTRITO DE LAGO BROKOPONDO (34) . . . . .	87
DISTRITO DE ADAMPABA - KABALEBO (35). . . . .	87
URUGUAY . . . . .	87
DEPARTAMENTO DE FLORIDA Y TREINTA Y TRES . . . . .	87
<i>Valentines (35)</i> . . . . .	87
DEPARTAMENTO DE RIVERA . . . . .	87
<i>Papagayo (36)</i> . . . . .	87
<i>El Imán (36)</i> . . . . .	87
<i>Vichadero (36)</i> . . . . .	87
DEPARTAMENTO DE DURAZNO . . . . .	88
<i>Las Palmas (35)</i> . . . . .	88
VENEZUELA. . . . .	88
CUADRILATERO FERRIFERO DE BOLIVAR . . . . .	88
EL PAO (38) . . . . .	88

	<u>Página</u>
RESERVAS NACIONALES. . . . .	88
<i>Cuadrilátero Ferrífero de San Isidro.</i> . . . . .	88
PRODUCCION DE HIERRO Y ACERO EN SUR AMERICA . . . . .	89

#### FIGURAS

1	Depósitos de Hierro en los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá . . . . .	72
2	Mapa de Localización con los Depósitos de Hierro en Sudamérica. .	76
3	Areas potenciales y mineralización de Hierro en Colombia. . . . .	90

#### PLANCHAS

I	Depósitos de Hierro en Sudamérica. . . . .	90-91
---	--	-------

\* \* \*

YACIMIENTOS DE HIERRO EN COLOMBIA

YACIMIENTOS EN EXPLOTACION

En Colombia existen solamente dos depósitos en explotación, el yacimiento de Paz de Río y el de Pacho. Las demás áreas son consideradas como potenciales. Fig.1.

YACIMIENTO DE PAZ DE RIO

*Localización*

El yacimiento se encuentra localizado en la hoya del río Chicamocha en una faja que se extiende desde un poco al sur de la población de Paz de Río, hasta la población de Sativanorte en una extensión de 20 km. Este yacimiento provee de mineral al alto horno de la Siderúrgica de Paz de Río, localizado en Belencito.

*Tipo de Mineralización*

El depósito está formado por un estrato de mineral de hierro oolítico de espesores que varían entre uno y ocho metros. Los oolitos están formados de goethita, de 0.5 a 2 mm en diámetro cementados principalmente por siderita y limonita. La silica ocurre principalmente como cuarzo detrítico.

*Calidad del Mineral*

El mineral de hierro explotado actualmente contiene desde el 43% al 45% de hierro en la superficie y 43 a 46% de hierro en el subsuelo, 4% a 6% de  $Al_2O_3$  y 1.0 a 1.5% de P. El mineral del subsuelo contiene de 8% a 9% de silica, mientras que en superficie el contenido de silica alcanza valores por encima del 18% hasta un máximo del 33%.

*Reservas*

El total de reservas calculadas ascienden a 300 millones de toneladas de mineral con 44% a 46% de hierro y con menos del 15% de silica. Además se tienen calculadas 25 millones de toneladas con 32 a 42% de hierro y con 22 a 33% de silica correspondientes a la parte noreste del yacimiento y que son clasificadas como reservas potenciales.

En resumen las reservas están distribuidas de acuerdo a su categoría:

Potenciales	27 millones de toneladas
Inferidas	173 millones de toneladas
Indicadas	55 millones de toneladas
Medidas	73 millones de toneladas

Total. . . 328 millones de toneladas

YACIMIENTO DE PACHO

*Localización*

Se encuentra localizado en las vecindades de la población de Pacho, Cundinamarca.

El yacimiento está constituido por cinco pequeños depósitos conocidos con los nombres Guayoque, Llano de Trigo, El Eden, Saboyá y San Miguel. De éstos, el de mayor importancia es el de Guayoque, situado a 8 km de Pacho, cerca al sitio denominado Capitanes, en la vía Pacho-Rionegro. Este es el yacimiento que provee de mineral a la Siderúrgica Corradine.

*Tipo de Mineralización*

El mineral es principalmente siderita posiblemente producto de reemplazamiento de calizas por aguas meteóricas ferruginosas, como hematita y limonita como producto de alteración.

*Calidad del Mineral*

El mineral explotado es de buena calidad con la siguiente composición promedio: Fe 50%,  $SiO_2$  6%; P 0.05%; S 0.02%.

*Reservas*

En el depósito de Guayoque se tienen reservas medidas del orden de 27 mil toneladas. El total de reservas en los 5 depósitos mencionados es de alrededor 50 mil toneladas.

*Producción*

El mineral producido en el depósito de Guayoque provee al alto horno de la Siderúrgica Corradine con una capacidad de 15 toneladas diarias.

YACIMIENTOS EN EXPLORACION

A continuación se describen algunas mineralizaciones de hierro que han sido objeto de trabajos de exploración.

YACIMIENTO DE UBALA

*Localización*

El yacimiento se encuentra localizado a 7 km al este-noreste de la población de Ubalá, departamento de Cundinamarca, la cual se comunica con Bogotá por carretera destapada con un trayecto de 130 km. De allí se llega al sitio del yacimiento por un tramo de carretera de 16 km que conduce al sitio denominado Campamento de Manizales. La comunicación con Belencito, sitio de la Siderúrgica

de Acerías de Paz de Río se hace a través de la carretera Ubalá-Guasca-Sesquilé, en donde se toma la carretera central del norte la cual llega a Belencito. La longitud total del trayecto es de aproximadamente de 300 km.

#### *Estado Actual de la Exploración*

Hasta el presente INGEOMINAS ha efectuado trabajos de exploración consistentes en:

- a) Cartografía Geológica Regional a escala 1:25.000 de km<sup>2</sup> -
- b) Cartografía Geológica de 96 km<sup>2</sup> del área mineralizada a escala 1:10.000.
- c) Recolección de muestras y análisis químico del mineral.
- d) Perforaciones con taladro de diamante de tres pozos con un total de 210 metros.

Anteriormente se adelantaron trabajos por parte de Geocolombia.

#### *Tipo de Mineralización*

En base a los trabajos expuestos anteriormente se ha llegado a la conclusión de que se trata de un depósito pseudoestratiforme de origen hidrotermal de reemplazamiento metasomático de calizas cretáceas por siderita.

El espesor es de 10 a 20 metros y la longitud total de los afloramientos es de 2.5 km con buzamientos de 12° a 30° NW.

#### *Calidad del Mineral*

El mineral de hierro consiste de siderita la cual ha sido alterada parcialmente a óxidos de hierro principalmente limonita. Análisis de muestras tomadas en trincheras dan un contenido de hierro de 51.7%; en la mayoría de los análisis el contenido de hierro está entre 48% y 58% y solamente 5 análisis de 57 están por debajo del 48% con un valor mínimo de 43%. El contenido máximo para Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, P y S son 1.75%; 0.63%; 0.65%; 0.12% y 0.13% respectivamente.

Todas estas muestras fueron tomadas dentro de los 25 m superficiales y por lo tanto reflejan los efectos de enriquecimiento supergénico. En análisis de núcleos de siderita frescas se observó un contenido de hierro entre 36.9% y 41.5% y un contenido más bajo de azufre y fósforo.

#### *Reservas*

Con la información disponible se calcularon 27.5 millones de toneladas de reservas inferidas y se estimaron 50 millones de reservas potenciales.

Las reservas inferidas se obtuvieron asumiendo espesores promedios y extensión del depósito en dirección del "buzamiento". El factor de error puede llegar a ser 2.

El estimativo de las reservas potenciales está basado únicamente en criterios geológicos que hacen suponer la existencia del mineral de hierro.

#### *Recomendaciones*

Se debe continuar con un programa de perforaciones con taladro de diamante tendiente a determinar la geometría del yacimiento y probar reservas.

#### **YACIMIENTO DE SABANALARGA (BOYACA)**

#### *Localización*

El yacimiento se encuentra localizado en el Municipio de Sabalarga (Boyacá). Allí se arriba por la carretera Bogotá-Chocontá-Guateque - San Luis de Gaceno - La Unión (Aprox. 190 km), continuando por el camino La Unión-Sabalarga, recorrido que demanda cuatro horas en carro y cuatro a lomo de mula.

Con la Siderúrgica de Paz de Río en Belencito se comunica por carreteras con una distancia aproximada de 215 km.

#### *Estado Actual de la Exploración*

Se han efectuado los siguientes trabajos:

- 1) Cartografía geológica a escala 1:25.000 del área del yacimiento, reconocimiento de áreas circunvecinas, cubriendo un área de 180 km<sup>2</sup>.
- 2) Medición de 8 columnas estratigráficas.
- 3) Recolección de muestras para análisis químico y petrográfico.
- 4) Levantamiento geológico con plancheta a escala 1:10.000 (inconcluso) del área mineralizada.

### *Tipo de Mineralización*

Se trata de una roca sedimentaria arenosa con un alto contenido (30 a 40%) de oolitos de hematita, goethita, etc. semejante al yacimiento de Paz de Río pero de un tenor más bajo.

La capa mineralizada, de un espesor entre 2.5 y 4.0 m, se presenta interestratificada en una secuencia de areniscas y lutitas y aflora una extensión de 15 km.

### *Calidad del Mineral*

Análisis de 24 muestras indicó un contenido de Fe que fluctúa entre 21.8 y 31.7%. Las muestras con valores más altos fueron tomadas en un área donde por haberse presentado un deslizamiento recientemente, la capa expuesta está aún prácticamente inalterada.

El contenido de SiO<sub>2</sub>, principalmente cuarzo detrítico, es sumamente alto, registrándose la mayoría de los valores por encima del 25%.

Los valores máximos para P, S y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> son de 0.83%, 0.05% y 5.4% respectivamente.

### *Reservas*

En base a la información obtenida se estima unos 125 millones de toneladas de mineral.

Las condiciones mineralógicas y la posición geográfica de este depósito solamente permiten clasificarlo como Recursos Potenciales para la industria siderúrgica.

### *Recomendaciones*

Completar un muestreo de roca fresca mediante el uso de un taladro portátil, para determinar el verdadero contenido de hierro de la capa, esto podrá ser la base para perforaciones más profundas con miras a probar reservas.

## MINERAL DE HIERRO EN SOPO

### *Localización y Vías de Acceso*

El yacimiento está ubicado en el costado occidental del Cerro de Montenegro, a 2 km al sur de Sopó, Cundinamarca, sobre la carretera que conduce a la población de Guasca. Sopó está comunicado con Bogotá y Belencito por carreteras pavimentadas de 50 km y 160 km respectivamente.

El acceso a los afloramientos del Chuscal se puede hacer por un carreteable de 1 km que pasa por la finca La Ramada.

En la actualidad Caminos Vecinales de Cundinamarca, construye una carretera entre Sopó y Guasca que atraviesa parte del depósito.

### *Estado Actual de la Exploración*

Los trabajos de exploración de este depósito han sido adelantados por el IFI y de acuerdo a su informe DM-68 de julio de 1970 consisten en: Localización aproximada en un mapa geológico a escala 1:10.000 de la traza de los bancos mineralizados; destape con trinchera y muestreo de canal y análisis químicos de las muestras colectadas.

### *Tipo de Mineralización*

En el informe del IFI no se discute el origen de esta mineralización y únicamente sugiere un enriquecimiento supergénico de areniscas ferruginosas por aguas descendentes, aunque no descarta la posibilidad de un origen hidrotermal y que a profundidad el mineral fresco sea siderita.

El mineral observado consiste de óxidos de hierro, hematita y en menor cantidad goethita, concentrados en 5 bancos mineralizados separados entre sí por lutitas, arcillolitas grises y eventualmente por areniscas. El espesor de los bancos varía entre 0.65 m y 4.05 m.

### *Calidad del Mineral*

El contenido de Fe fluctúa entre 32.11 y 58.53%. De 60 análisis únicamente seis dieron un porcentaje menor al 45%. El P en el banco de mayor interés se presenta con un promedio de 0.24% y se registran valores hasta del 1.26%. La sílice, SiO<sub>2</sub>, promedia en el banco principal 10;25% pero valores hasta de 40% se registran en los otros bancos. El S, Mn, y el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se presentan en porcentajes aceptables para la elaboración de arrabio.

### *Reservas*

En base de los datos obtenidos y bajo la asunción de que se trata de un depósito tipo IFI se hace un cálculo de reservas probables de 260 mil toneladas para el banco principal y un millón como reservas posibles.

### *Recomendaciones*

En vista de la calidad del mineral debe continuarse con la investigación del depósito por medio de perforaciones y destapes a fin de comprobar la extensión y calidad del depósito o profundidad.

## MINERAL DE HIERRO DE PERICOS

*Localización*

Esta mineralización se encuentra localizada a unos 30 km al NW de Bogotá sobre la carretera que de Bogotá conduce a Guasca.

*Estado Actual de la Exploración*

La mineralización ha sido estudiada desde 1937 por diferentes geólogos y entidades oficiales y privadas. En desarrollo de estas investigaciones se han efectuado una serie de trincheras, perforaciones y cartografía geológica del área mineralizada. Actualmente el Instituto de Fomento Industrial, adelanta trabajos de investigación minera a fin de probar la potencialidad del depósito.

*Tipo de Mineralización*

La mineralización se presenta como una serie de capas de areniscas limosas impregnadas con óxidos de hierro con numerosas intercalaciones de lutitas grises, distribuidas en una sección que puede alcanzar hasta 100 m de espesor y por una extensión de 6.340 m. El espesor máximo de las capas ferruginosas es del orden de los 10 m.

*Calidad del Mineral*

Los análisis efectuados muestran un contenido de Fe promedio de 48% con un mínimo de un 36,96%; SiO<sub>2</sub> promedio de 15,5% con un mínimo 6,06% y un máximo de 30,94%. Las perforaciones hechas muestran que el contenido de hierro disminuye en el sentido del buzamiento.

*Reservas*

Las reservas estimadas de este depósito son del orden de las 600.000 toneladas.

*Recomendaciones*

Aunque la principal objeción que tiene este mineral es su alto contenido de sílice, debe programarse una serie de trabajos, principalmente perforaciones y destapes a fin de determinar la geometría del depósito, los cambios de facie y tenor del mineral en dirección del buzamiento.

## OTRAS OCURRENCIAS DE MINERAL DE HIERRO EN LA SABANA DE BOGOTA

Depósitos de mineral de hierro similares al descrito en Pericos aunque de dimensiones menores, se conocen en la región de la Sabana de Bogotá.

*Cerro Volador*

A un poco más de un km al sureste de Nemocón, carretera Nemocón-Sesquilé, aparece un banco de arenisca impregnada de hematita de 6 m de espesor y 400 m de longitud a lo largo del rumbo. Se han calculado 50 mil toneladas de mineral con 54% de Fe, 8,5% de SiO<sub>2</sub> y "moderadamente alto" en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Este yacimiento ha sido explotado en pequeña escala, como fuente de mineral de hierro para la fábrica de Cementos Diamante en Apulo.

Inmediatamente al suroeste de Nemocón se encuentra una capa más delgada del mismo mineral y forma una pequeña colina.

*La Caldera*

A más o menos 5 km al NW de Zipaquirá se encuentran varios lentes de arenisca hematítica. En años anteriores se cavaron varias trincheras. El mineral contiene 46% a 55% de Fe y alto contenido de SiO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Las reservas se han calculado en 50.000 toneladas.

## MINERAL DE HIERRO DE LA PRADERA

*Localización*

La mineralización principal se presenta en el sitio llamado el Codito, a 55 km al norte de Bogotá y a 15 km W de Zipaquirá, entre los ríos Subachoque y Río Frío.

*Estado Actual de la Exploración*

En años anteriores se efectuaron una serie de estudios geológicos consistentes en cartografía geológica detallada, y prospección minera por medio de destapes, trincheras y socavones.

*Tipo de Mineralización*

La mineralización consiste de dos cuerpos tabulares de siderita, alterada superficialmente a limonita y goethita, de espesores de 2,5 y 3,8 m cada uno. Algunos los consideran como de origen sedimentario y otros como de reemplazamiento de calizas por aguas metaélicas ferruginosas.

*Calidad del Mineral*

El contenido de Fe oscila entre 43.43% y 48.73%; el contenido de SiO<sub>2</sub> es elevado, registrándose valores hasta del 28.64% con un promedio del 18.77% el contenido máximo de P y S es de 0.29% y 0.26% respectivamente.

*Reservas*

Las exploraciones hechas por el Servicio Geológico Nacional indican unas reservas de 850 mil toneladas las cuales tendrían que explotarse por minería subterránea, aparentemente difícil y costosa por las condiciones estructurales del yacimiento

## MINERAL DE HIERRO DE TIBIRITA

*Localización*

En el Municipio de Tibirita, en la región de El Salitre, a 100 km al NE de Bogotá, se presentan dos áreas de mineralización. La primera de ellas, en Munantá a 60 m al oeste de la carretera a Guateque, en la desviación a Manta. La segunda en el sitio Cañadas, 600 m al norte de Munantá.

*Estado Actual de la Exploración*

Hasta la presente se han efectuado levantamientos geológicos superficiales y algunas perforaciones con taladro de diamante.

*Tipo de Mineralización*

La mineralización consiste de bancos lenticulares de hematita de 1.65 a 4.00 m de espesor, colocados disconformemente entre lutitas. La Hematita se presenta en cristales rombohedricos lo cual sugiere que originalmente el mineral era siderita, y su origen puede ser de reemplazamiento metasomático de caliza por siderita la cual ha sido alterada superficialmente a hematita.

*Calidad del Mineral*

El mineral tiene un contenido promedio de Fe del 47% y de SiO<sub>2</sub> del 12% el contenido de P y S es generalmente bajo.

*Reservas*

Los estudios realizados muestran unas reservas probadas para el área de Munantá 29 mil toneladas, y de 235 mil para el área de Cañadas.

*Recomendaciones*

El yacimiento más interesante de Tibirita es el de Cañadas. En este sitio se debe programar una serie de perforaciones a fin de comprobar un mayor tonelaje de reservas.

## MAGNETITA DE OCAÑA

*Localización*

La mineralización se encuentra a 15 km al norte de Ocaña, Departamento de Santander del Norte, en el cerro denominado Piedra del Imán. La carretera que de Ocaña conduce a Aguas Claras pasa a un centenar de metros del sitio de la mineralización.

*Estado Actual de la Exploración*

Actualmente se cuenta con el levantamiento geológico superficial a escala 1:2.000, destapes con trincheras y análisis de las muestras recolectadas.

Se llevó a cabo también prospección magnetométrica de 1.8 km<sup>2</sup> con un espaciamiento de 50 m. El total de estaciones leídas fueron 217.

*Tipo de Mineralización*

Se trata de lentes mineralizados de magnetita epidota y cuarzo encajados en la cuarzo monzonita del batolito de Ocaña de edad jurásica. Es posible que se trate de relieve de fracturas de enfriamiento.

*Calidad del Mineral*

Los resultados análisis de muestras meteorizadas dieron valores para Fe de 13.98% a 44.40%.

*Reservas*

Con la información obtenida hasta la presente es poco lo que puede decirse en cuanto a reservas. Sin embargo, la prospección magnetométrica nos muestra una anomalía positiva de 125 gamas, desplazada con relación a los afloramientos de mineral lo cual nos puede indicar una mayor concentración de mineral en el subsuelo que no está directamente debajo de las manifestaciones superficiales.

### Recomendaciones

Como una fase subsiguiente a los trabajos efectuados se tiene programado llevar a cabo una prospección gravimétrica a fin de comprobar la anomalía detectada con el magnetómetro. En caso positivo se debe programar una serie de perforaciones a fin de probar reservas y calidad del mineral.

#### MINERAL DE HIERRO DE CERRO MATOSO

##### Localización

El depósito está localizado en el Municipio de Montelíbano, Córdoba, a unos 15 km al sur de la población con la cual está comunicado por carretera.

##### Estado Actual de la Exploración

En la actualidad el depósito ha sido evaluado y en un futuro próximo se iniciará la explotación de mineral de níquel, el cual se encuentra inmediatamente debajo de la zona enriquecida en hierro.

##### Tipo de Mineralización

Se trata de un depósito laterítico, producto de meteorización de serpentinitas. El mineral de hierro está representado por una costra endurecida y enriquecida en hierro (canga).

##### Calidad del Mineral

El mineral de hierro es de buena calidad con la siguiente composición: Fe 44-57%; SiO<sub>2</sub> 4-7%; P 0.11-0.20%; S 0.14-0.26%; Mn 0.20-1.21%.

##### Reservas

Se han calculado 10 millones de toneladas de reservas medidas.

#### OTROS DEPOSITOS MENORES

##### El Imán

Localizado más o menos a 7 km al este de la población de Rovira, Departamento del Tolima. El depósito consiste de cuerpos irregulares de magnetita con hematita secundaria asociada con calizas.

El contenido de hierro varía entre 57 y 67%; la sílica fluctúa entre 2.5 y 11.5% y el P. entre 0.5% y ocasionalmente 1.9%. El total del tonelaje estimado es de cerca de las 50 mil toneladas.

### Río Luisa

Este depósito está situado en el Municipio de El Valle, Departamento del Tolima, a más o menos 5 km al sur de la población de Payandé. Consiste de un estrato cretáceo de hierro oolítico similar al de Paz de Río, el cual se extiende por cerca de 20 km hacia el sureste a lo largo del valle del Río Luisa.

El mineral contiene de 25% a 30% de Fe, 25% a 35% de SiO<sub>2</sub> y 0.3 a 0.6% de P.

#### AREAS POTENCIALES

Las áreas potenciales se indican en la Fig. 1. Las más importantes son las siguientes:

##### AREA DEL GUAVIO

En este área se tiene referencia de múltiples mineralizaciones de hierro la mayoría de ellas similares a los de Ubalá, las cuales están siendo objeto de estudios por parte de INGEOMINAS.

##### CERRO DE MONTECRISTO

A unos 15 km al NE de Gachalá se presentan varios afloramientos de hematita especular con un contenido de hierro de hasta 68 con muy poca sílice y fósforo. No obstante de la muy poca accesibilidad al sitio de la mineralización y de encontrarse en región selvática y de topografía abrupta se justifica una exploración detallada.

##### AREA DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA

En la Sierra Nevada se presentan varios depósitos pequeños en su mayoría, de magnetita, magnetita titanífera, apatito-ilmenita y algunos lechos delgados de rocas metamórficas ricas en magnetita o ilmenita y apatito. Aunque ninguno de estos depósitos, hasta la presente, se ha comprobado como de valor económico inmediato, algunos de ellos pueden llegar a ser reservas de un valor económico en el futuro.

Las manifestaciones más promisorias se encuentran en neises anortosíticos de edad precambriana o asociada a ellos. Estas rocas forman una franja discontinua de dirección NE sobre el flanco NW de la Sierra.

DEPARTAMENTOS DE CUNDINAMARCA Y BOYACA

Yacimiento	Distancia a Bogotá (km)	Distancia a Belencito (km)	Tipo de Mineral	Fe %	Reservas (En millones de Ton.)	Observaciones
Paz de Río		50	Goethita-hematita	43-46	73.00 (Pr) 55.00 (I) 173.00 (In) 27.00 (P)	En explotación
Pacho			Siderita	50	0.03 (Pr) 0.05 (P)	En explotación
Ubalá	135	300	Siderita-limonita	41-58	27.50 (In) 50.00 (P)	En exploración
Sabanalarga	190	215	Hematita	22-32	125.00 (P)	En exploración
Sopó	50	200	Hematita-goethita	45-58	0.26 (Pr)	En exploración
Pericos	30	220	Hematita	48	0.60 (I)	En exploración
Cerro Volador	90	185	Hematita	54	0.05 (I)	
La Caldera	80	200	Hematita	45-55	0.05 (I)	
La Pradera	65	215	Siderita-Limonita	43-49	0.85 (I)	
Tibirita	130	190	Hematita	47	0.26 (I)	

Total . . . . . 532.65

\* Pr = Probadas  
I = Indicadas  
In= Inferidas  
P = Potenciales

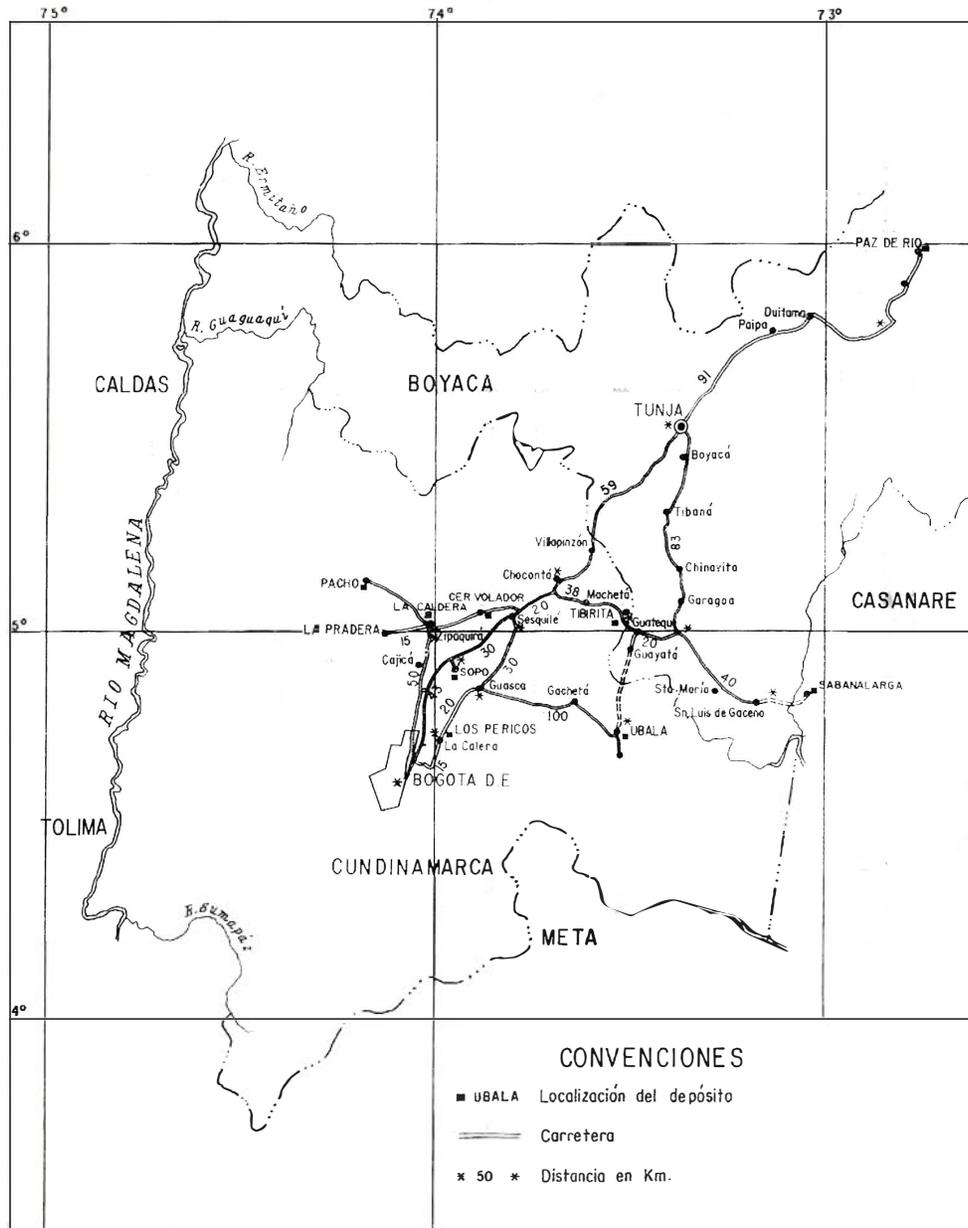


Figura 1-Depósitos de Hierro en los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá

CUENCA TERCIARIA DE LAS ESTRIBACIONES  
ORIENTALES DE LA CORDILLERA ORIENTAL  
EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACA

La presencia en el Municipio de Sabanalarga, Boyacá, de mineral de hierro de origen sedimentario dentro de la columna estratigráfica del Tercio Inferior, nos demuestra que pueden existir otras cuencas en las cuales se han presentado condiciones favorables para la acumulación de sedimentos ricos en hierro durante el terciario, diferentes a las de Paz de Río. Por tal motivo esta área está actualmente en exploración por INGEOMINAS.

AREA DE URE—MOGAMBO—ITUANGO

Un estudio hecho en las áreas al sur de Cerro Matoso, revelaron una serie de cuerpos lateríticos similares a estos. Es posible que en esta área no explorada en su totalidad se presenten condiciones que hayan permitido la formación de la "canga" enriquecida en hierro como se presenta en Cerro Matoso, y vengán a aumentar las reservas de mineral de hierro de este último yacimiento.

DEPOSITOS DE HIERRO EN  
SUDAMERICA

Se hace una breve descripción de los más importantes depósitos de hierro en América del Sur. Su localización se indica en las figuras 3, 4 y 5.

ARGENTINA

PROVINCIA DEL JUJUY

a) Zapla (1)\*

*Localización*

Extremo noroeste del país, en la provincia de Jujuy; aproximadamente a 1.400 km al noroeste de Buenos Aires y en la Cordillera Andina, a 2.500 m sobre el nivel del mar.

*Tipo de Mineralización*

Depósitos Paleozóicos, lenticulares, de origen sedimentario pero altamente metamorfosados, con espesores hasta de 3 m semejantes al tipo "Lake Superior". Los afloramientos de hierro pueden seguirse por una distancia de 60 km. Tres son los depósitos principales: Puesto Viejo, Sierra de Zapla y Cerro Labrado. El principal mineral es hematita, debido a la alteración de turingita, originalmente formada por impregnación de areniscas metamórficas ferruginosas. Hay pequeñas cantidades accesorias de goethita y magnetita.

\* El número entre paréntesis indica la localización del depósito en el mapa.

*Calidad del Mineral*

Son de bajo grado y solo marginalmente aceptables para la producción de Fe bajo las condiciones locales de Argentina. El contenido de Fe varía entre 30% y 38% en Puesto Viejo; del 33% al 48% en Cerro Labrado, y del 35% en Zapla. El contenido de SiO<sub>2</sub> es alto en los tres depósitos, variando del 20% al 35%; P en cantidades de 0.4% al 0.7%. El contenido de S es aproximadamente del 0.1%.

*Reservas*  
(En millones de toneladas)

Puesto Viejo:	Medidas e Indicadas	80
	Potenciales	20
Sierra Zapla:	Medidas, Indicadas e Inferidas	22
Cerro Labrado:	Indicadas e Inferidas	8
	Total . . .	130

*Cantidad Extraída*

Hasta 1965, se estrajeron en Sierra Zapla 76.813 toneladas de hierro; en Puesto Viejo 32.842 toneladas, para un total de 109.655 toneladas. En Cerro Labrado solamente se ha hecho exploración superficial.

*Producción*  
(1965)

Puesto Viejo	33.000 toneladas
Sierra de Zapla	77.000 toneladas

Nota: Todo el hierro producido por el distrito de Zapla es llevado a los altos hornos de Zapla.

PROVINCIA DE RIO NEGRO

a) Sierra Grande (2)

*Localización*

Los depósitos están localizados en la Provincia de Río Negro (Golfo de San Matías) a 30 km de la costa y a 135 km al norte de Puerto Madryn, el cual está a 1.200 km de Buenos Aires por mar.

*Tipo de Mineralización*

Los depósitos son Paleozóicos de origen sedimentario. En el sector Norte el principal mineral es hematita, algo de magnetita y silicatos secundarios de hierro. En el sector Sur el mineral principal es magnetita alterada superficialmente a hematita. Se ha pensado que la mineralización fué originalmente formada por la precipitación de óxidos de hierro solubles como hematita oolítica en depósitos

RECURSOS DE MINERAL DE HIERRO  
EN SUDAMERICA SEGUN EL TIPO DE  
MINERAL

(en millones de toneladas)

PAIS	RESERVAS *			MINERAL POTENCIAL			Total Recursos
	Tipo de Mineral	Cantidad	Fe %	Tipo de Mineral	Cantidad	Fe	
Argentina	Hematita	110	30-48	Hematita	60	37-47	170
				Magnetita	3	60	3
	Hematita-magnetita	144	52-57	Hematita-magnetita	60	52-57	204
				Hematita-goethita	15	30	15
Bolivia				Hematita	42.268	51-56	42.268
Brasil	Hematita	30.027	35-69	Hematita	10.154	35-69	40.181
	Magnetita	23	25-60				23
				Hematita-magnetita	10	43-68	10
Chile	Magnetita	228	35-66	Magnetita	300	25	528
	Hematita-magnetita	219	53-64	Hematita-magnetita	1.125	37-56	1.344
Colombia	Goethita	301	44	Goethita	427	22-53	728
	Hematita-siderita	77	45	Hematita-goethita	170	21-42	247

PAIS	RESERVAS *			MINERAL POTENCIAL			Total Recursos
	Tipo de Mineral	Cantidad	Fe %	Tipo de Mineral	Cantidad	Fe	
Guyana				Hematita	25	52	25
				Hematita-magnetita	3	50	3
				Hematita-goethita	1.016	30-49	1.016
Paraguay				Magnetita	100	63	100
				Hematita-goethita	300	35	300
Perú				Hematita	25	43	25
				Magnetita	117	55-60	117
	Hematita-magnetita	38	62-65	Hematita-magnetita	1.010	50-65	1.048
	Hematita-goethita	929	58-60				929
				Magnetita-goethita	8	65	8
Surinam				Goethita	1.220		1.220
Uruguay	Hematita	28	38	Hematita	75	35-38	113
				Magnetita	17	19-46	17
				Hematita-magnetita	1	35-47	1
Venezuela	Hematita	2.097	50-64				2.097

\* Incluye reservas medidas, indicadas e inferidas.

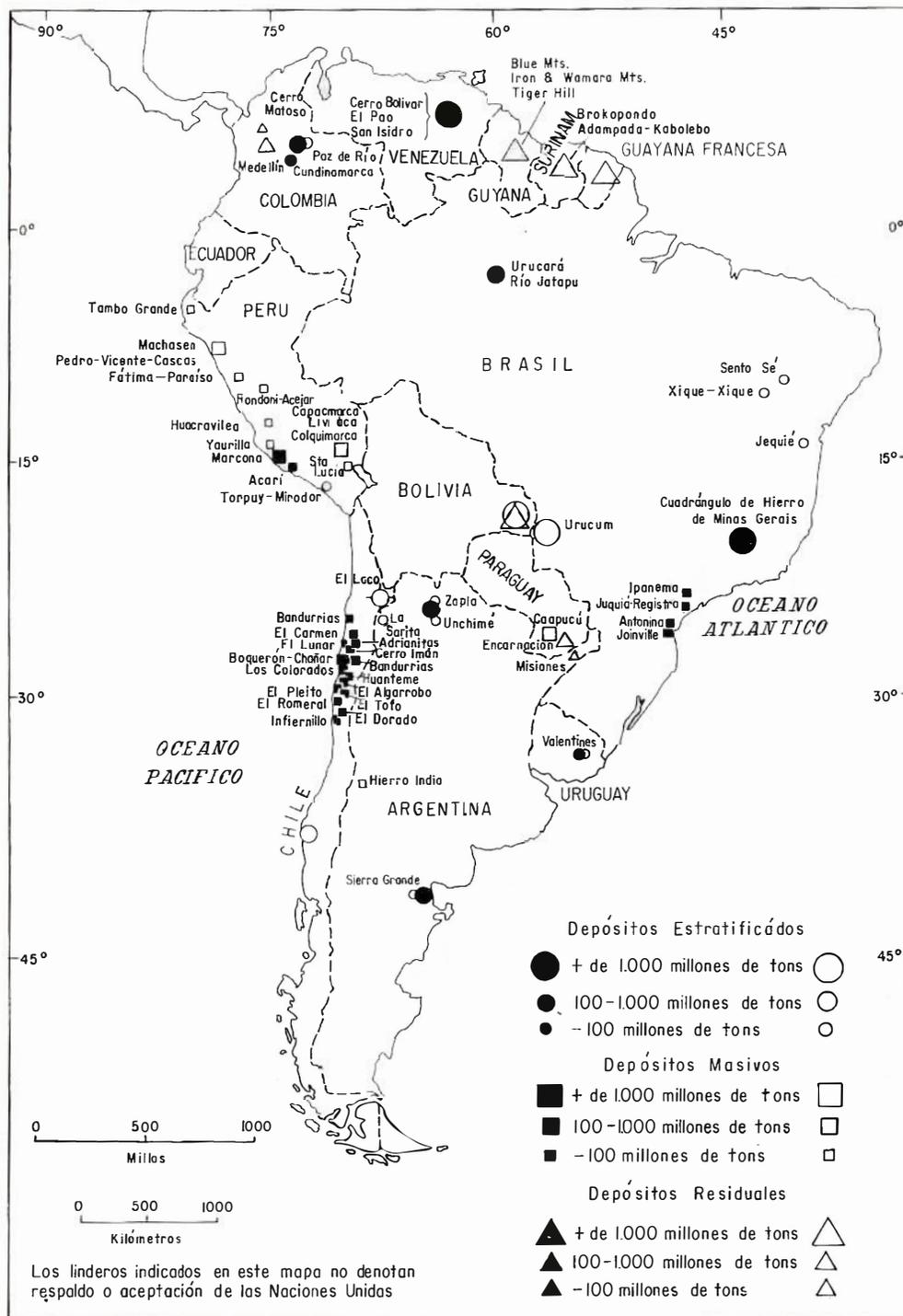


Figura 2- Mapa de localización con los depósitos de hierro en Sudamérica

lacustres. Subsecuentemente debido a metamorfismo producido por grandes intrusiones de granodiorita la hematita se alteró a magnetita. Finalmente la magnetita por meteorización, se alteró a hematita.

#### Trabajos realizados

Los sectores Norte, Sur y Este han sido explorados en superficie; pero solo ha sido prospectado en detalle el sector Sur.

#### Calidad del Mineral

La calidad del mineral es referida únicamente al sector Sur. Fe 58%; SiO<sub>2</sub> 5.95%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.85%; P 1.43%; S 0.44%.

#### Reservas (En millones de toneladas)

Sector Sur:	Medidas	48
	Indicadas	16
	Inferidas	50
Sector Norte:	Indicadas e Inferidas	20
Sector Este:	Indicadas e Inferidas	10

Las reservas Potenciales de los tres sectores pueden llegar al orden de los 60 millones de toneladas.

#### PROVINCIA DE SALTA

##### a) Unchimé (3)

Es un área potencial. Posiblemente continuación de los depósitos de Zapla hacia el sur.

#### Reservas

Potenciales 35 millones de toneladas.

##### b) La Sarita (4)

Area potencial localizada en la Cordillera Andina en la planicie de Puna de Atacama, a 5.000 m sobre el nivel del mar y a 9 km del ferrocarril entre San Antonio de los Cobres y Antafogasta. Es un depósito tipo "Lake Superior", principal mineral es hematita.

#### Reservas

Potenciales 5 millones de toneladas.

#### PROVINCIA DE MISIONES (5)

Depósitos lateríticos poco explorados en el extremo NE del país, cerca al Río Paraná y a la frontera con el Paraguay. Los principales minerales son goethita y hematita.

#### Reservas

Potenciales 15 millones de toneladas.

#### PROVINCIA DE MENDOZA

##### Depósitos de Hierro Indio (6)

Pequeños depósitos al S de la Provincia de Mendoza, a 220 km de San Rafael. Principal mineral es magnetita con pequeñas cantidades de hematita. Muy pobre para ser considerado como reserva.

#### Producción

La producción de mineral para el año de 1965 fué de 110 millones de toneladas.

#### BOLIVIA

##### DEPOSITOS DE MUTUN (7)

#### Localización

Ocurre en las colinas de Mutún, a 27 km de Puerto Suárez, en San José de Chiquitos, Provincia de Santa Cruz. Puerto Suárez es estación de ferrocarril La Paz-Corumbá-Río de Janeiro.

#### Tipo de Mineralización

a) Depósitos primarios: Serie de capas de hematita de 300 metros de espesor aproximadamente, con sílice en los planos de estratificación, edad Siluriano.

b) Depósitos coluviales. Debido a fallamiento se produce material coluvial el cual ha sido acumulado en niveles más bajos tales como valles y llanuras.

#### Calidad del Mineral

Depósitos primarios	Fe %	SiO <sub>2</sub> %	S %	P %
Sector Norte	56	12	0.51	0.16
Sector Central	51	22	0.07	0.10
Sector Sur	50	23	0.17	0.03

#### Depósitos Coluviales

Fortín de Mutún	55	16	0.06	0.60
-----------------	----	----	------	------

#### Reservas Potenciales

##### Depósitos primarios

Sector Norte	27.000 millones de toneladas
Sector Central	4.930 millones de toneladas
Sector Sur	8.358 millones de toneladas

## Depósitos coluviales

Fortín de Mutún 480 millones de toneladas  
Otros 1.500 millones de toneladas

Total. 42,268 millones de toneladas

NOTA: Los depósitos están situados a 2.000 km de las costa y muy lejos de cualquier centro industrial. Han sido clasificados solamente como áreas potenciales.

## BRASIL

## ESTADO MINAS DE GERAIS (8)

*Localización*

Belo Horizonte, al Norte del Río Janeiro, en el denominado "Cuadrilátero Ferrífero".

*Tipo de Mineralización*

Depósitos Precámbrinos tipo "Lake Superior". El principal mineral es hematita. Aún no hay acuerdo sobre el origen de los depósitos de hierro. Las Itabiritas con contenido de hierro del 35 al 60%, parecen haber sido formadas por procesos sedimentarios marinos precámbricos. Las variaciones en el contenido de metal, se debe a cambios de las condiciones físicas y químicas, bajo las cuales ocurrió la precipitación coloidal de hierro y sílice.

*Calidad del Mineral*

Han sido clasificadas en tres tipos:

a) Hematita de alto grado, con más del 64% en Fe, que ocurre exclusivamente en el grupo de Itabira en la Serie Minas.

b) Hematitas síliceas, semejante a hematitas de alto grado, pero con mayor porcentaje en sílice y del 60 - 64% de Fe.

c) Itabirita, con contenido de Fe del 35% al 60%, compuesta de rocas bandeadas donde alternan lechos de hematita y cuarzo.

*Reservas*

(En millones de Toneladas)

Medidas 1.871  
Indicadas e Inferidas 27.955

Total. . . . . 29.826

*Cantidad Extraída*

Hasta 1964 -16.924 miles de toneladas.

## ESTADO DE MATO GROSSO

## a) Urucúm (9)

*Localización*

En el Distrito de Curumbá, cerca a la frontera Boliviana y a los 2.000 km de la costa Atlántica y del área industrial del Brasil.

*Tipo de Mineralización*

Los depósitos tipo "Lake Superior", consisten en cuerpos de hematita de espesores variables, de 1 a 1.5 m, intercalados con bandas de jaspilita (Itabirita) de 0.5 m de espesor. La sucesión ferrífera alcanza un espesor de 300 m. Alrededor de los depósitos primarios hay grandes depósitos de materiales coluviales y bloques aluviales que pueden ser tenidos como reservas potenciales.

*Calidad del Mineral*

	Fe %	SiO <sub>2</sub> %	P %	S %
Depósitos Primarios	50	20-30	0.09	0.01
Depósitos Coluviales	64	4	0.12 0.07	0.02
Bloques Aluviales	52	23	0.14	0.02

*Reservas*

Estudios preliminares muestran las siguientes reservas potenciales:

Tromba dos Macacos	650 millones de tons.
Sierra de Sta. Cruz	2.600 millones de tons.
Sierra de Santo Domingo	3.000 millones de tons.
Morro Mutúm (lado brasileño)	1.300 millones de tons.
Morro Urucúm	2.500 millones de tons.
Total. . .	10.050 millones de tons.

## TERRITORIO DE AMAPA (10)

*Localización*

Situados en el Distrito de Santa María cerca a la costa Norte del Estuario Amazónico.

*Tipo de Mineralización*

Depósitos son del tipo "Lake Superior" y consisten de hematita similar a la del Cuadrilátero Ferrífero de Minas Gerais.

*Calidad del Mineral*

El contenido de hierro varía entre 43 al 68%; el de fósforo y azufre es bajo.

*Reservas*

Los cálculos indican reservas potenciales de 10 millones de toneladas. Debido al pequeño tamaño del depósito, las variaciones en composición y a una gran distancia de centros de consumo se ha estimado como un área potencial.

ESTADO DE BAHIA (11)

*Localización*

En el valle del río San Fco., distrito de Sento Sé.

*Tipo de Mineralización*

"Lake Superior" semejantes a los del Cuadrilátero Ferrífero. La principal mena es Itabirita (hematita).

*Calidad del Mineral*

El contenido de Fe varía del 50 al 60%.

*Reservas*

El total de reservas potenciales se ha estimado en 104 millones de toneladas. El depósito es considerado como área potencial.

ESTADO DE SAO PAULO (12).

*Localización*

Al sur de este estado en el Morro do Serrote, en el distrito Juquié - Registro e Ipanema.

*Trabajos Realizados*

Se han efectuado explotaciones a pequeña escala para suplir la industria local.

*Tipo de Mineralización*

Los depósitos son cuerpos masivos de magnetita que ocurren en rocas metamórficas afectadas por la acción magnética.

*Calidad del Mineral*

	Fe	P
Ipanema	60%	Alto
Juquié - Registro	60%	Alto

*Reservas Posibles*

Ipanema	1 millones de toneladas
Juquié - Registro	3 millones de toneladas

ESTADO DE PARANA (13).

Hay tres fuentes de mineral en este estado.

a) Depósitos costeros; situados en la bahía de Paranaguá, constituidos por lentes de magnetita de neis.

b) Río Branco y Sierra Azul, al norte de Curitiba; consisten en Itabiritas, similares a la del Cuadrilátero Ferrífero. Área potencial.

c) Depósitos de San José dos Pinhais y Antonina, situados al sur de Curitiba, ocurren en masas irregulares de magnetita dentro de neises. Área potencial.

*Calidad del Mineral*

San José dos Pinhais	40-60%
Antonina	60%

*Reservas*

Las reservas del depósito de Antonina puede contener hasta 15 millones de toneladas de mineral. Las de San José dos Pinhais se estiman en 2 millones de toneladas.

ESTADO DE SANTA CATARINA (14).

Los depósitos están localizados en el Distrito de Joinville y consisten de magnetita con un contenido de hierro metálico que varía entre 25% y 55%. Las reservas se han estimado en 2 millones de toneladas.

TERRITORIO DE AMAZONAS

Ocurren en el área del Río Jatapú.

a) Depósitos de Urucará: Son sedimentos oolíticos hematíticos. Paleozóicos, se presenta goethita y magnetita como accesorios. El contenido de Fe es del 60% fósforo entre 0.3 y 1%.

*Reservas*

Se han sugerido reservas inferidas de unos 200 millones de toneladas.

ESTADO DE CEARA (15).

Los depósitos se encuentran en Itauna, cerca al sitio conocido como Chaval. Los depósitos son itabiritas con hematita y magnetita, cuyo contenido en Fe varía del 60% al 70%.

*Reservas*

Sus reservas se han estimado en 100.000 toneladas. Área potencial.

## ESTADO DE GOLAS (16).

Situado cerca de Catalao y Pirenopolis. Son masas de magnetita, similares y en conexión con los depósitos de Ipanema. Area potencial.

## ESTADO DE RIO GRANDE DO NORTE

Se menciona un depósito llamado Sabugí, el cual tiene un 64% en hierro y es alto en titanio. Area potencial.

## ESTADO DE PARAIBA

Se menciona un depósito llamado Josseiro da Crus, cuyo contenido en hierro es aproximadamente del 70%. Area potencial.

## ESTADO DE PERNAMBUCO

Se menciona los depósitos de Limonciro, con un contenido del 58% en hierro y alto contenido de titanio. Area potencial.

## ESTADO ALAGOAS

Se mencionan los depósitos de Palmeiras dos Indios, con un contenido del 53% de hierro y alto contenido en titanio.

## CHILE

## PROVINCIA DE ANTOFAGASTA

## a) El Laco (17).

(Depósito más grande del país).

*Localización*

Entre 4.300 y 4.900 m sobre el nivel del mar, en el altiplano de Puna, en el Depto. de Loa; a 450 km del Puerto de Antofagasta.

*Tipo de Mineralización*

La génesis de la mineralización está relacionada con la actividad volcánica del Plioceno. Son flujos de lava. Los principales minerales son hematita y magnetita, con ganga de cuarzo, actinolita y escapolita.

*Calidad del Mineral*

Fe 65%, P 0.3 a 0.4%; S 0.1%; SiO<sub>2</sub> 1 a 2%.

*Reservas*

Se han calculado 625 millones de toneladas (reserva potencial).

## b) Bandurrias (18).

*Localización*

Localizada a 29 km al Norte de Taltal, consiste en un grupo de vetas con una longitud de 1 km aproximadamente. El principal mineral es magnetita, con hematita en la superficie. El contenido de Fe es del 55%.

*Reservas*

Se han calculado 5 millones de toneladas (Reservas Posibles).

## PROVINCIA DE ATACAMA

Son los depósitos comercialmente más valorados.

## a) Carmen (18).

*Localización*

A 100 m sobre el nivel del mar y a 50 km del Puerto Chanaral.

*Tipo de Mineralización*

El depósito ocurre en una fracción porfírica con algunas capas sedimentarias en contacto con un gran cuerpo intrusivo del batolito Andino. El principal mineral es magnetita ampliamente reemplazado por hematita. Posiblemente de origen metasomático.

*Calidad del Mineral*

Fe 66%; SiO<sub>2</sub> 3.5%; P 0.35 a 0.40%; S 0.10%.

*Reservas*

(En millones de toneladas)

Medidas	Indicadas	Inferidas
3	1.8	5

*Producción*

1.260 (miles de toneladas) (1966).

## b) Las Adrianitas (18).

*Localización*

Depósitos localizados en la Sierra de Pajas Blancas, a 22 km al Norte de la ciudad Copiapó.

*Tipo de Mineralización*

Los depósitos ocurren en meta-andesitas con intercalaciones de mármol. El principal mineral es magnetita y hematita.

*Calidad del Mineral*

Fe 63%; SiO<sub>2</sub> 4%; P 0.01%; S 0.04% .

*Reservas*

Medidas: 10 millones de toneladas.

*Producción*

La producción de mineral de hierro en 1966 fué de 480.000 toneladas.

c) Cerro Imán (18).

*Localización*

A 14 km al NE de Copiapó y a 2 km de la estación de ferrocarril de Toledo.

*Tipo de Mineralización*

El depósito está cerca del contacto entre la diorita Andina y la porfirita metamórfica. El principal mineral es magnetita.

*Calidad del Mineral*

Fe 62%; SiO<sub>2</sub> 3.4%; TiO<sub>2</sub> 0.18%; MnO 0.10%; CaO 1.4%; S Trazas; P ausente; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.7% .

*Reservas*

Aproximadamente 13 millones de toneladas de reservas medidas.

*Producción*

960.000 toneladas ( 1966 ).

d) El Lunar

*Localización*

Situado cerca al Cerro Imán, a 8 km al Norte de la estación Toledo. Consiste en una vena de magnetita.

*Calidad del Mineral*

La composición es: Fe 66%; SiO<sub>2</sub> 2.2%; P ausente; S ausente.

*Reservas*

Se han calculado en 2 millones de toneladas de reservas probables.

e) Bandurrias - Atacama (18).

*Localización*

Localizado al Sur de Copiapó y a 29 km por carretera de la estación Castilla.

*Tipo de Mineralización*

El depósito ha sido formado por reemplazamiento de la caliza por magnetita y hematita en lentes irregulares.

*Calidad del Mineral*

Fe 40 - 60% ; P alto.

*Reservas*

(En millones de toneladas)

Indicadas	Inferidas
-----------	-----------

7.6	3.4
-----	-----

f) Boquerón - Chañar (18).

*Localización*

600 km al Norte de la ciudad de Valledupar y cerca de la costa Pacífica.

*Trabajos Realizados*

Depósito descubierto por magnetómetro aéreo. Se han efectuado prospección geológica, geofísica y perforaciones.

*Tipo de Mineralización*

Los depósitos están incluidos en una serie de rocas metamórficas y flujos de lava de edad cretácea, y en contacto con la gran intrusión diorítica. El principal mineral es magnetita.

*Calidad del Mineral*

El contenido de Fe es del 60% en lagunas partes y en otras varía entre el 35 y 60%; S y P bajos.

*Reservas*

(En millones de toneladas)

Fe %	Probables	Posibles	Total Recursos
60	63	87	87
35-60	70	92	92

El yacimiento considerado como área potencial.

g) Los Colorados.

*Localización*

En el Depto. de Freirina, a 55 km al SE del Puerto de Carrizal. El depósito lo constituyen venas de magnetita entre rocas metamórficas en contacto con intrusiones granodioríticas.

*Calidad del Mineral*

El contenido en Fe 60% ; SiO<sub>2</sub> 9% ; S 0.5% ; P ausente.

*Reservas*  
(En millones de toneladas)

Medidas Indicadas Inferidas Total Recursos

1 2.5 3.5 7

h) Huantemé (18).

*Localización*

En el Depto. de Huasco, a 45 km al Oeste de Puerto Huasco.

*Tipo de Mineralización*

Magnetita en meta-andesitas y brechas volcánicas en contacto con una intrusión granífera.

*Calidad del Mineral*

Fe 51% ; SiO<sub>2</sub> 8.3% ; P 0.06% ; S 0.01% .

*Reservas*

Se han probado 12 millones de toneladas con 60 al 64.5 de Fe.

*Producción*

La minería es altamente mecanizada y alcanza una producción mensual de 50.000 toneladas.

i) El Algarrobo (18).

Uno de los más importantes depósitos de Chile.

*Localización*

A 45 km al SE de Vallenar y a 70 km del Puerto Isla Guacolda.

*Tipo de Mineralización*

Los principales minerales son magnetita y hematita en rocas metamórficas y volcánicas.

*Calidad del Mineral*

Fe 61% ; SiO<sub>2</sub> 55% ; P 0.18% ; S 0.02% .

*Reservas*  
(En millones de toneladas)

Medidas Inferidas  
70 30

*Producción*

Cerca de 3 millones de toneladas anuales que se exportan.

PROVINCIA DE COQUIMBO (19)

Comprende cerca de 30 depósitos la mayoría de ellos en explotación.

a) El Pleito.

*Localización*

A 30 km al NE de Cruz Grande, 1.400 m sobre el nivel del mar.

*Tipo de Mineralización*

Los depósitos afloran en una formación porfirítica en contacto con la diorita Andina. Los principales minerales son magnetita y hematita.

*Calidad del Mineral*

Fe 60% ; SiO<sub>2</sub> 3.5% ; P 0.15% ; S 0.01% .

*Reservas*  
(En millones de toneladas)

Medidas Indicadas Inferidas  
2 3 5

*Producción*

La producción de minerales en 1966: 276.000 toneladas.

b) El Romeral.

*Localización*

A 25 km al Norte de Serena y a 10 km de la costa.

*Tipo de Mineralización*

Depósito consiste en masas hasta de 40 m de espesor de hematita y magnetita distribuidas irregularmente de 24 km cuadrados, incluidos en una formación porfirítica a lo largo del contacto con la Diorita Andina.

*Calidad del Mineral*

Fe 60% ; SiO<sub>2</sub> 4% ; P 0.02% ; S 0.02% .

*Reservas*  
(En millones de toneladas)

Medidas Indicadas Inferidas  
40 25 15

*Producción*

Producción anual de 2.5 millones de toneladas que son exportadas al Japón y a USA.

c) El Dorado.

*Localización*

A 8 km al Norte de Ovalle, cerca de 110 km al Sur de Coquimbo.

*Tipo de Mineralización*

Los depósitos, magnetita y hematita, ocurren en una formación porfírica en contacto con intrusión diorítica.

*Calidad del Mineral*

Fe 64%; SiO<sub>2</sub> 4%; P 0.3%; S 0.02%.

*Reservas*

(En millones de toneladas)

Medidas	Indicadas
2	2.5

*Producción*

El depósito está altamente mecanizado, alcanzando una producción anual de 45.000 toneladas, que es llevada por ferrocarril al Puerto de Guayacán.

d) Infiernillo.

*Localización*

A 10 km al NE de Ovalle y en cortadistancia de "El Dorado"

*Tipo de Mineralización*

Depósitos de hematita y magnetita en rocas porfíricas en contacto con la intrusión granífera. (Semejante a El Dorado).

*Calidad del Mineral*

Fe 62%; SiO<sub>2</sub> 4%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2%; P 0.3%; S 0.2%.

*Reservas*

(En millones de toneladas)

Estimadas	Indicadas
2	2.5

PROVINCIA DE ARAUCO - MALLECO

a) Relún (20).

*Localización*

En la costa Sudeste del lago Lleu-Lleu.

*Tipo de Mineralización*

Depósitos metasedimentarios tipo "Lake" Superior" y semejante a las Itabiritas del Brasil. El principal mineral es magnetita con pequeñas cantidades de hematita reemplazada.

*Calidad del Mineral*

Fe 35 - 40%; SiO<sub>2</sub> 33 - 34%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.8 - 2.7%; CaO 0.6 - 2.1%; P 0.19%; S 0.02 - 0.27%.

*Reservas*

Potenciales 500 millones de toneladas. Es un área potencial.

b) Arenas Ferruginosas.

*Localización*

Entre las costas de San Antonio y la Isla Chiloé.

*Tipo de Mineralización*

Acumulaciones de arenas con abundancia de granos finos de magnetita.

*Calidad del Mineral*

Fe 25%; TiO<sub>2</sub> 0.2%.

*Reservas*

Potenciales 300 millones de toneladas. Es un área potencial.

ECUADOR

Hay pocos depósitos conocidos puesto que no existen planes específicos de exploración y explotación.

GUAYANA FRANCESA (21)

Las condiciones climáticas y geológicas son extremadamente favorables para la formación de depósitos de óxidos de hierro, similares a los encontrados en Brasil y Venezuela. Sin embargo, es muy poca la información existente respecto a depósitos de hierro que no se puede dar una opinión del valor comercial que dichos depósitos puedan tener.

Análisis de material laterítico de dos localidades dieron el siguiente resultado:

	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
Fourgassic	7.3-61.5	58.9-19.5
Kaw	21.6-56.1	46.9-23.3

	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %
Fourgassic	0.6-1.66	2.7-0.99
Kaw	1.7-0.40	1.6-3.40

Como puede observarse los depósitos pueden ser tratados como bauxitas ferruginosas, o lateritas aluminicas.

### GUYANA

#### DEPOSITOS LATERITICOS

##### a) Montañas Azules (22).

En el río Essequibo, 28 km de Sayacalli. El espesor de la costra laterítica varía entre 4.5 y 7 m. Es de estructura vesicular y de colores rojo a blanco.

#### Calidad del Mineral

Fe 33 - 46%; SiO<sub>2</sub> 6 - 16%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 12 - 36%; TiO<sub>2</sub> 5 - 8%.

#### Reservas

Potenciales 46 millones de toneladas.

##### b) Montañas de Hierro y Montañas Wainara (23).

#### Localización

Entre los ríos Berbice y Demerara, a 55 km de Ituní. La laterita tiene 4 m de espesor.

#### Calidad del Mineral

Fe 33 - 49%; SiO<sub>2</sub> 24 - 30%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 25 - 40%; TiO<sub>2</sub> 1.3%; P bajo.

#### Reservas

Potenciales 510 millones de toneladas.

##### c) Cerro Tigre (23).

#### Localización

Margen izquierda del río Demerara, cerca a las Cataratas Malali. El espesor de la laterita varía entre 0.5 y 7 m.

#### Calidad del Mineral

Fe 30-35%; SiO<sub>2</sub> 1 - 2%; TiO<sub>2</sub> 3 - 4%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 30-35%.

#### Reservas

Potenciales 50 millones de toneladas.

### PARAGUAY

##### a) Encarnación (24).

#### Localización

Margen derecha del río Paraná.

#### Tipo de Mineralización

Costras lateríticas.

#### Trabajos Realizados

La prospección empezó en 1966 con cartografía geológica y perforaciones.

#### Calidad del Mineral

Fe 42-50%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8%; SiO<sub>2</sub> 15%; P 0.24%; S 0.008%.

#### Reservas

Potenciales 250 a 300 millones de toneladas.

##### b) Caapucu (25).

#### Localización

En Pindo, cerca de 160 km al SE de Asunción.

#### Tipo de Mineralización

Formado por venas hidrotermales en anfibolitas alteradas Precambrianas, cerca al contacto con una intrusión granodiorítica. El principal mineral es magnetita, algo alterada a hematita en superficie.

#### Calidad del Mineral

Fe 63%; material insoluble 8.6%; P trazas; S 0.28%.

#### Reservas

Potenciales 100 millones de toneladas.

### PERU

#### DEPARTAMENTO DE ICA

##### a) Marcona.

#### Localización

A 320 km al Sur de Lima, en la provincia de Nazca, a 15 km de la costa y 800 m sobre el nivel del mar.

*Tipo de Mineralización*

Depósitos metasomáticos, reemplazando meta-sedimentos Paleozóicos, principalmente calizas y dolomitas. Los estratos reemplazados forman cuerpos aislados llamados "manchas". La composición de los depósitos varía con la profundidad. Los principales minerales son magnetita y hematita.

*Calidad del Mineral*

Fe 50 - 60%; SiO<sub>2</sub> 6%; S 0.8%; P 0.03%.

*Reservas*  
(En millones de toneladas)

Medidas	Indicadas	Inferidas
264	265	400

*Producción*

7.438 miles de toneladas en 1966.

b) Yaurilla (27).

*Localización*

A 12 km de Ica y a 80 de Pisco.

*Trabajos Realizados*

Estudios de exploración lo han clasificado Reserva Potencial.

*Tipo de Mineralización*

Venas lenticulares de hematita especular y magnetita, involucradas en masas andesíticas.

*Calidad del Mineral*

Fe 42-62%; P 0.3-0.8%; S 0.06-0.15%

*Reservas*

Potenciales 1 millón de toneladas.

DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

a) Acarí (28).

*Localización*

A 50 km al este del puerto de San Juan, 1.500 m sobre el nivel del mar, y a más o menos 50 km de los depósitos de Marcona.

*Tipo de Mineralización*

Depósitos formados por inyección magmática de magnetita y hematita, relacionadas con intrusiones ácidas del tipo granito y diorita.

*Calidad del Mineral*

Fe 62-55%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5%; SiO<sub>2</sub> 5%; P 0.15-0.20%; S trazas.

*Reservas*  
(En millones de toneladas).

Medidas	Indicadas
20	18

*Producción*

762.000 toneladas ( 1966 ).

DEPARTAMENTO DE JUNIN

a) Huacravilea (29).

*Localización*

En la Provincia de Huancayo, a 460 m sobre el nivel del mar y a 50 km al Sur de la ciudad de Huancayo.

*Tipo de Mineralización*

Concentraciones de magnetita y hematita de forma tabular en zonas a lo largo del contacto entre un intrusivo y las calizas triásicas adyacentes.

*Calidad del Mineral*

Fe 55%; SiO<sub>2</sub> 4%; S 0.6%; P ausente.

*Reservas*

Potenciales 32 millones de toneladas.

DEPARTAMENTO DE PIURA

a) Tambo Grande - Yapatera.

*Localización*

En la ciudad de Tambo Grande y a 36 km de Sullane.

*Tipo de Mineralización*

Depósitos originados por reemplazamiento de sedimentos calcáceos Jurásicos en contacto con pequeños cuerpos de granodiorita o diorita. El mineral predominante es hematita y silice.

*Calidad del Mineral*

Fe 43%; SiO<sub>2</sub> 37%; P 0.19%; S 0.38%.

*Reservas*

Potenciales 25 millones de toneladas.

## OTROS DEPOSITOS (32).

Considerados como áreas potenciales.

## a) Fátima - Paraiso (31).

*Localización*

En las Provincias de Santa Cosma, Carhuaz y Aija, Depto. de Ancash.

*Tipo de Mineralización*

El depósito es formado por reemplazamiento metasomático de calizas y dolomitas. El principal mineral es hematita con pequeñas cantidades de magnetita y especularita.

*Calidad del Mineral*

Fe 60% ; SiO<sub>2</sub> 9% ; S 2.5% ; P ausente.

*Reservas*

Potenciales 2 millones de toneladas.

## b) Apurimac.

*Localización*

Depósitos de magnetita en el Depto. de este nombre; entre Andaguaylas y Chalhuanca. El contenido de Fe 56% ; SiO<sub>2</sub> 10-12%. Reservas potenciales de 650.000 toneladas por metro de profundidad aproximadamente.

## c) Tarpuy - Mirador.

En el Depto. de Arequipa. El depósito es origen sedimentario. Los principales minerales son hematita y magnetita. El contenido en Fe 35% P y S ausentes. Reservas potenciales estimadas en 5 millones de toneladas.

## d) Machasen.

Al NE de Cascas, en el Depto. de Cajamarca. El depósito son venas de magnetita parcialmente oxidadas a goethita, con un contenido en Fe de 65%. Las reservas potenciales estimadas en 8 millones de toneladas.

## e) Pedro Vicente Casas.

En los Deptos. de Libertad y Cajamarca en un área de 80 km de largo por 60 km de ancho. El depósito se debe a metasomatismo de contacto, entre sedimentos cretácicos y cuerpos granodioríticos intrusivos. El principal mineral es hematita con alteración a goethita en superficie. El contenido en Fe 59% con 12% de SiO<sub>2</sub>. Reservas potenciales 2 millones de toneladas.

## f) Manzano - Pomahuaca - Las Juntas.

En el Depto. de Cajamarca. Los depósitos son debidos a inyecciones magmáticas. Los principales minerales son: óxidos de hierro en masas de rocas intrusivas y hematita, magnetita diseminadas en las rocas. El contenido en Fe 62% ; SiO<sub>2</sub> 12% ; S 0.76% ; P 0.04%. Reservas potenciales estimadas en 50.000 toneladas por metro de profundidad.

## g) Livitaca - Capacmarca - Colquimarca.

En el Depto. de Cuzco. Los depósitos formados por reemplazamiento en calizas debidos a intrusiones granodioríticas. El principal mineral es magnetita con Fe 65% y trazas de S y Cu. Reservas potenciales: Livitaca 200 millones de toneladas; Capacmarca 600 millones de toneladas; Colquimarca 200 millones de toneladas.

## h) Rondoni - Acejar.

En el Depto. de Huánuco. La mineralización ocurre en masas y venas en calizas. El principal mineral es magnetita con pirita y calcopirita como accesorios. El contenido en Fe 60%. Reservas potenciales 80 millones de toneladas.

## i) Santa Lucía.

En el Depto. del Puno. Yacimiento del tipo de contacto, cuyo principal mineral es hematita, con un contenido del 60% en Fe. Reservas potenciales estimadas en 5 millones de toneladas.

## j) Sama - Cerro Pelado - Huancaluna.

En los Deptos. de Tacna y Moquegua. Son depósitos de vena de hematita con magnetita accesoria, asociados a rocas intrusivas. El contenido en Fe 62%.

## SURINAM

## DISTRITO TAPAJE CREEK (33).

*Localización*

A 30 km al N de la frontera con Brasil, al Oeste del Río Paloemen.

*Tipo de Mineralización*

"Lake Superior". Metasedimentos (Itabiritas, cuarcitas, esquístos) bordeados por rocas graníticas. El principal mineral es hematita con magnetita accesoria.

*Calidad del Mineral*

Fe 25 - 45% ; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alto.

*Reservas*

Potenciales estimadas entre 150 a 200 millones de toneladas.

DISTRITO DE LAGO BROKOPONDO (34)

*Localización*

De 100 a 200 km al Sur de Paramaribo.

*Tipo de Mineralización*

Lateritas. Principal mineral goethita.

*Calidad del Mineral*

Fe 37 - 52%; SiO<sub>2</sub> 2 - 14%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10-26%; Mn 0.03-0.24%; TiO<sub>2</sub> 0.8-2.11%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.13-0.19%.

*Reservas*

Potenciales 1.220 millones de toneladas

DISTRITO DE ADAMPABA - KABALEBO (35)

*Localización*

A 250 km al Suroeste de Paramaribo.

*Tipo de Mineralización*

Lateritas residuales; principalmente goethita.

*Calidad del Mineral*

Fe 25 - 30% aprox.; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10 - 15% aprox.

*Reservas*

Se han estimado reservas potenciales de 7.000 millones de toneladas para los distritos de Adampaba - Kabalebo y Lago Brokopondo.

URUGUAY

DEPARTAMENTOS DE FLORIDA Y TREINTA Y TRES

a) Valentines (35).

*Localización*

A 260 km al Norte de Montevideo.

*Tipo de Mineralización*

"Lake Superior". Los depósitos se encuentran en estratos metamorfoseados Precambrianos. El principal mineral es hematita silícea (Itabirita).

*Calidad del Mineral*

Fe 38%; P 0.055%; S 0.035%; SiO<sub>2</sub> 41%

*Reservas*

(En millones de toneladas)

Probadas	Probables	Posibles	Potenciales
18	5	5	72

DEPARTAMENTO DE RIVERA

a) Papagayo (36).

*Localización*

A 20 km al Suroeste de la ciudad de Minas de Corrales.

*Tipo de Mineralización*

Masas con magnetita, cuarzo y algunos óxidos de manganeso, asociados a rocas ultrabásicas.

*Calidad del Mineral*

Fe 19-42%; SiO<sub>2</sub> 7-34%; Mn 1-28%

*Reservas*

Potenciales 16 millones de toneladas.

b) El Imán (36).

*Localización*

Situado a pocos kilómetros de Papagayo, y el tipo de mineralización semejante a este, el principal mineral es magnetita.

*Calidad del Mineral*

Fe 30-46%; SiO<sub>2</sub> 24-41%; Mn 7-26%

*Reservas*

Potenciales 1 millón de toneladas.

c) Vichadero (36).

*Localización*

En la ciudad de Vichadero, cerca a la frontera con Brasil.

*Tipo de Mineralización*

Los depósitos cubren una serie de colinas de rocas ultrabásicas altamente migmatizadas. Los principales minerales son magnetita y hematita.

*Calidad del Mineral*

Fe 35-47%; SiO<sub>2</sub> 26-38%; Mn 0-6%

*Reservas*

Potenciales 900.000 toneladas.

DEPARTAMENTO DE DURAZNO

a) Las Palmas (35).

*Localización*

Al extremo Sureste del Depto., a 250 km al N de Montevideo.

*Tipo de Mineralización*

Depósitos de Hematita silíceas (Itabiritas) en rocas Pre-Cambrianas.

*Calidad del Mineral*

Fe 35% ; SiO<sub>2</sub> 40-42%.

*Reservas*

Potenciales estimadas en 3 millones de toneladas.

### VENEZUELA

#### CUADRILATERO FERRIFERO DE BOLIVAR

##### *Localización*

En la margen izquierda del Río Caroní, a 120 km al Sureste de Puerto Ordaz.

##### *Trabajos Realizados*

Actualmente se trabajan siete depósitos de esta área, principalmente a cielo abierto y los productos son transportados a Puerto Ordaz por ferrocarril. Allí existen unas series de trituradoras, mezcladoras y cargadoras de hierro. De Puerto Ordaz el hierro es llevado vía Río Orinoco y Caño Bocagrande al Océano Atlántico para su final distribución. Actualmente se planea una planta para producción de super "Ore", en Puerto Ordaz.

##### *Tipo de Mineralización*

Se cree que los depósitos se han desarrollado por erosión diferencial de cuarcitas ferruginosas muy plegadas y falladas (Tipo "Lake Superior"). Los principales minerales son hematita y goethita y pequeñas cantidades esporádicas de magnetita.

##### *Calidad del Mineral*

Fe 58-64% ; SiO<sub>2</sub> 1-6% ; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1-2% ; S 0.01% ; P 0.1%.

### *Reservas* (En millones de toneladas)

	Medidas	Indicadas	Total Recursos
Cerro Bolívar	353	-	353
Cerro Altamira	171	-	171
Cerro Redondo			
y Estrella	166	-	166
Cerro Arimagua	136	-	136
Cerro Toribio	19	-	19
Altamira 2	-	2	2
Cerro Frontera	-	1	1

##### *Producción*

14.644 miles de toneladas (1965)

EL PAO (38)

##### *Localización*

Margen derecha del río Caroní y a 50 km al Este de la confluencia de los ríos Caroní y Orinoco.

##### *Tipo de Mineralización*

El depósito ocurre en cuarcitas ferruginosas asociadas con rocas ígneas. El mineral principal es hematita.

##### *Calidad del Mineral*

Fe 61% ; SiO<sub>2</sub> 2% ; S 0.02% ; P 0.05% .

##### *Reservas*

97 millones de toneladas de reservas medidas.

##### *Producción*

2.764 miles de toneladas (1965)

#### RESERVAS NACIONALES

a) Cuadrilátero Ferrífero de San Isidro.

##### *Localización*

Situado dentro del cuadrilátero Ferrífero de Bolívar e inmediatamente al Sur de Cerro Bolívar.

##### *Tipo de Mineralización*

Tipo "Lake Superior" (semejante al Cuadrilátero Ferrífero de Bolívar). El principal mineral es hematita.

##### *Calidad del Mineral*

Fe 50-62% .

*Reservas*

(En millones de toneladas)

Depósitos	Medidas	Indicadas	Total Recursos
San Isidro	300	-	300
Los Barrancos	232	-	232
Las Pailas	80	-	80
San Joaquín	65	-	65
El Trueno	-	150	150
María Luisa	-	150	150
Placoa	-	125	125
Las Grullas	-	50	50

PRODUCCION DE HIERRO Y ACERO  
EN SUR AMERICA

(en miles de toneladas)

	<u>1964</u>	<u>1965</u>	<u>1966</u>	<u>1967</u>	<u>1968</u>
ARGENTINA					
Mineral y Concentrados	95	116	156	226	277
Arrabio	588	663	522	604	574
Ferro-aleaciones	15	18	22	18	ND
Aceros	1.265	1.368	1.267	1.326	1.559
Semifabricados	1.328	1.537	1.274	1.348	1.537
BRASIL					
Mineral y Concentrados	16.962	20.754	23.254	22.298	24.200
Arrabio	2.449	2.341	2.925	3.057	2.372
Ferro-aleaciones	43.317	51.579	58.292	58.069	ND
Aceros	3.016	2.983	3.782	3.696	4.436
Semifabricados	2.422	2.161	2.669	2.848	3.425
CHILE					
Mineral y Concentrados	9.853	12.145	12.212	10.783	11.917
Arrabio	437	309	433	498	442
Ferro-aleaciones	10	13	12	10	ND
Aceros	584	477	577	631	570
Semifabricados	462	391	486	451	ND
COLOMBIA					
Mineral y Concentrados	710	706	662	807	1.075
Arrabio	205	204	169	207	199
Aceros	230	242	217	252	265
PERU					
Mineral y Concentrados	6.528	7.104	7.787	8.586	8.544
Arrabio	27	20	12	31	ND
Aceros	82	94	80	80	105
VENEZUELA					
Mineral y Concentrados	15.656	17.510	17.759	17.005	16.190
Arrabio	323	334	351	422	614
Aceros	360	537	420	564	747
Semifabricados	290	430	370	500	636

\*\*\*

Idet.

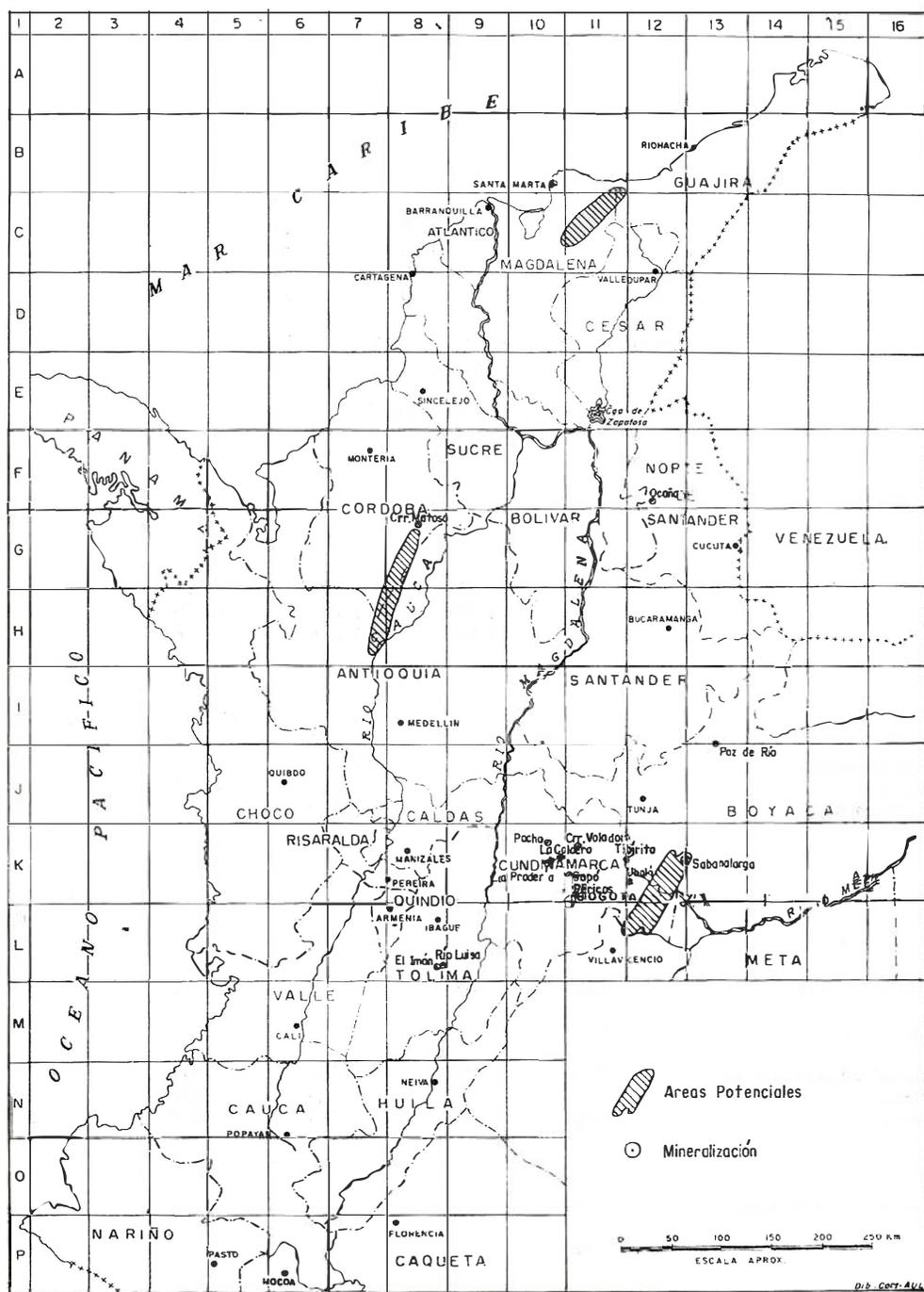


Figura 3- Areas Potenciales y Mineralizaciones de hierro en Colombia

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
GEOLOGICO-MINERAS**

**OFICINA REGIONAL DE IBAGUE**

**GEOLOGIA DEL DEPOSITO DE PLOMO - ZINC - PLATA,  
LAS NIEBLAS, MUNICIPIO DE SALENTO, QUINDIO**

**Informe No. 1580**

**Por**

**Darío Barrero, Darío Mosquera,  
José H. López y Carlos Buítrago**

**1 9 7 1**

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN . . . . .	95
INTRODUCCION . . . . .	95
LOCALIZACION . . . . .	95
TRABAJOS ANTERIORES . . . . .	95
TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO . . . . .	95
AGRADECIMIENTOS . . . . .	97
GEOLOGIA REGIONAL . . . . .	97
ESTRATIGRAFIA . . . . .	97
CAMBRO-ORDOVICIANO . . . . .	97
CRETACEO . . . . .	97
TERCIARIO-CUATERNARIO . . . . .	98
CUATERNARIO . . . . .	98
ESTRUCTURAS . . . . .	98
GEOLOGIA DEL DEPOSITO . . . . .	98
HISTORIA Y PRODUCCION . . . . .	99
MINERALOGIA DEL DEPOSITO . . . . .	99
MINERALES HIPOGENICOS . . . . .	99
MINERALES SUPERGENICOS . . . . .	100
MINERALES DE GANGA . . . . .	100
PARAGENESIS . . . . .	100
FORMA Y CONTROLES DE MINERALIZACION . . . . .	100
CLASIFICACION Y ORIGEN . . . . .	100
RESERVAS . . . . .	100
CONCLUSIONES . . . . .	101
REFERENCIAS CITADAS . . . . .	103

## FIGURAS

1. Mapa índice mostrando la localización del área trabajada . . . . .	96
2. Cuadro paragenético de la Mina Las Nieblas . . . . .	101

## TABLAS

1. Cantidad de mineral de plomo-plata procedentes de la mina Las Nieblas, vendido a la Compañía Amerex S. A. . . . .	99
2. Análisis espectrográfico semi-cuantitativo de dos muestras procedentes de los filones El Misterioso y Los Alpes, Mina Las Nieblas . . . . .	100
3. Reservas indicadas e inferidas de minerales de Plomo-Zinc-Plata del depósito Las Nieblas, Municipio de Salento, Quindío . . . . .	103

## PLANCHAS

1. Mapa geológico del área de la mina Las Nieblas y parte alta de la cuenca del Río Quindío, Municipio de Salento, Quindío. . . . .	98 - 99
2. Mapa mostrando la localización de filones, fracturas y distribución de algunos minerales presentes en los sedimentos activos concentrados en batea, área de la mina Las Nieblas, Municipio de Salento, Quindío. . . . .	98 - 99
3. Diagrama usado para cálculo de Reservas. Mina Las Nieblas, Municipio de Salento, Quindío. . . . .	

## RESUMEN

*El depósito de Plomo-Zinc-Plata, denominado Las Nieblas, ocurre como vetas en rocas metamórficas, de medio a bajo grado de metamorfismo, a las cuales se les ha asignado tentativamente una edad cambro-ordoviciana.*

*Las rocas metamórficas consisten en cuarcitas, esquistos cuarzo-sericíticos, cuarcitas biotíticas, esquistos clorítico-actinolíticos y en menor proporción rocas con silicatos de calcio asociadas a pequeños lentes calcáreos. Las vetas se disponen oblicua o paralelamente a la foliación de estas rocas y la litología no ejerce ningún tipo de control en la mineralización. Los factores estructurales constituyen el control más importante y entre ellos las fallas menores con desplazamientos laterales izquierdos ocupan un primer lugar.*

*Los sulfuros más importantes presentes en casi todas las vetas son: galena argentífera, esfalerita, argentita, arsenopirita, calcopirita, y pirita. Los fenómenos supergénicos no tienen importancia en el área y en la mayoría de los casos están relacionados con minerales de cobre. La mezcla de características de depósito hipotermal y epitermal así como la ausencia de los minerales diagnósticos de cualquiera de estos dos tipos de depósitos, son fuerte indicio de que el yacimiento es de tipo mesotermal.*

## INTRODUCCION

El conocimiento relativamente reciente de la existencia de mineralizaciones de Plomo-Zinc-Plata, al Este del Municipio de Salento junto con la escasez y descenso en la producción de estos minerales en el mercado nacional, llevaron a la realización de un programa de explotación minera en esta región.

Los resultados de las investigaciones geológicas y geoquímicas realizadas se consiguen por separado en dos informes. El presente informe trata únicamente lo relacionado con la geología del área.

## LOCALIZACION Y RASGOS GEOGRAFICOS

La mina La Niebla está políticamente situada en la vereda Río Arriba, municipio de Salento, Departamento del Quindío a una altitud promedio de 3.200 m sobre el nivel del mar (fig. 1).

Las actuales instalaciones de la mina tienen dos vías de acceso a partir del municipio de Salento: la primera es un buen camino de herradura que permite llegar a la mina en 5 horas en bestia; la segunda es un camino marginal que se desprende del carretea-

ble Salento-Corora y por el cual se llega a la mina en tres horas en bestia.

El paraje donde se encuentra la mineralización es despoblado con temperatura media de 10° C., inviernos fuertes en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre; los veranos son con muchos vientos y niebla persistente.

El relieve es abrupto con pendientes muy fuertes y los cauces de las quebradas son estrechos, profundos y con numerosos saltos, lo que facilita el aprovechamiento al máximo del potencial hidráulico de la corriente principal, quebrada Las Nieblas, que en su parte baja luego de recibir el tributo de las quebradas El Oso y Clarita, tiene un caudal aproximado de 0,05 m<sup>3</sup> en tiempo de sequía.

## TRABAJOS ANTERIORES

Hasta el momento no se conocen publicaciones sobre los trabajos realizados en el área. Sin duda muchos geólogos, tanto nacionales como extranjeros, han visitado la mina. Los resultados de sus cortas visitas han sido expresados verbalmente o consignados en cartas técnicas con carácter confidencial. Sin embargo pudimos conocer los trabajos realizados por Cediell (1969) y Ortíz (1969).

Aparte de esto tuvimos la oportunidad de consultar los excelentes archivos de la Compañía Minera del Quindío, propietaria de la mina. Todos los datos tomados de los archivos de esta Compañía y utilizados en este informe, han sido administrados directamente por sus propietarios.

## TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO

El trabajo de campo se llevó a cabo en el transcurso del año de 1970 y la última investigación se realizó en enero de 1971.

Durante los estudios se cartografiaron a escala 1:25.000 aproximadamente 450 km<sup>2</sup>, principalmente hacia el norte y el oriente de la zona mineralizada. La geología de una parte del área cartografiada se presenta en la figura 2.

Además, se realizó el levantamiento topográfico de las quebradas Las Nieblas, El Oso y El Osito, localizando con precisión los distintos flones. Finalmente los flones más importantes fueron estudiados en varios sitios por medio de trincheras.

Se tomaron muestras de los cuerpos mineralizados y de sus salbandas y se elaboraron análisis químicos y secciones pulidas. A dos muestras procedentes de los flones Los Alpes y El Misterio se les hizo análisis

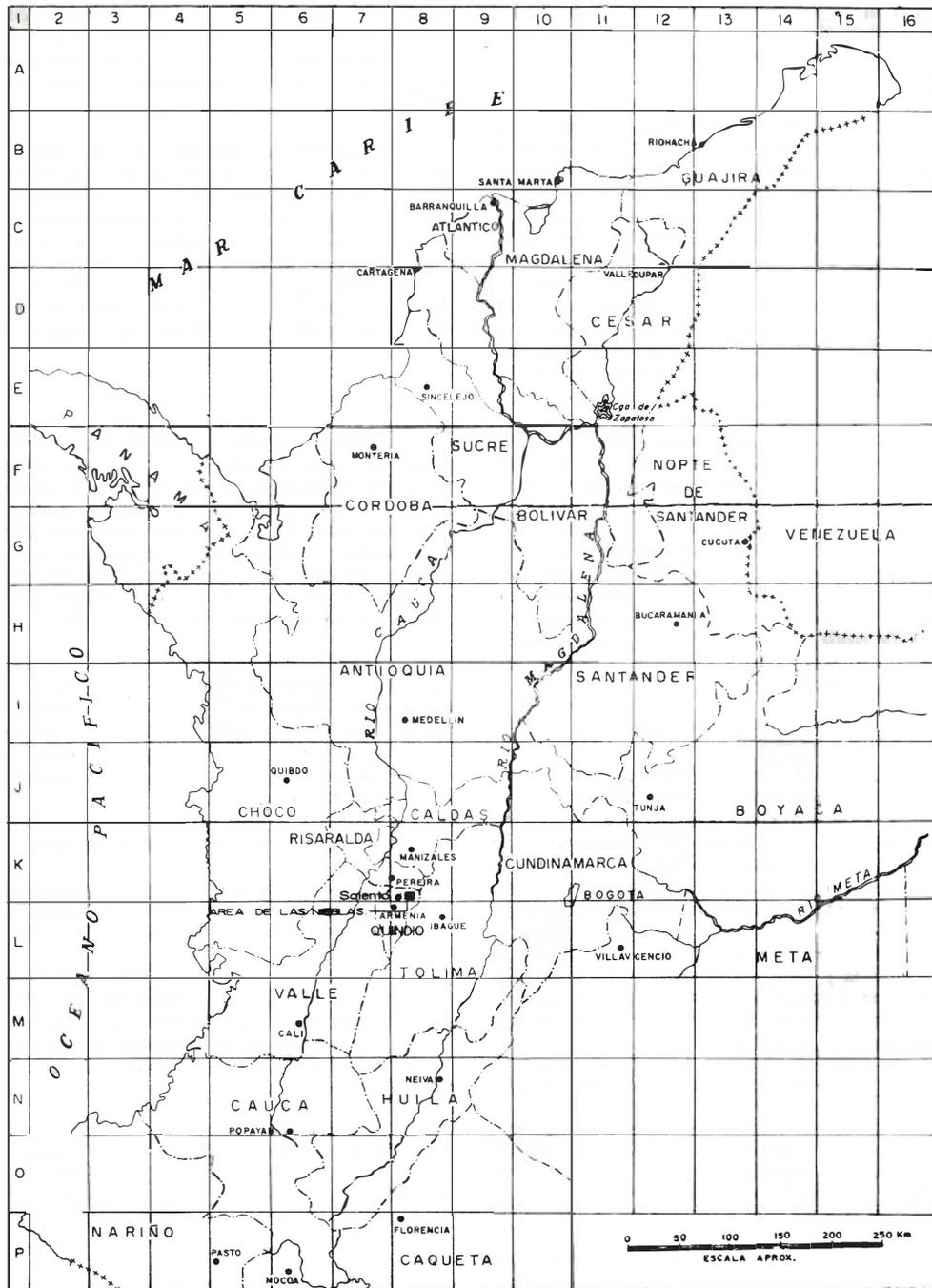


Fig.1 Mapa indice mostrando la localización del area trabajada

espectrográfico semi-cuantitativo.

#### AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestros sinceros agradecimientos a los propietarios de la mina Las Nieblas, muy especialmente al Brigadier General (r) Jaime Polanía Puyo y al Ingeniero, Américo Marán por la valiosa colaboración prestada.

#### GEOLOGIA REGIONAL

El área estudiada se caracteriza por la presencia de rocas metamórficas altamente plegadas y fracturadas, rocas ígneas plutónicas de composición intermedia, flujos de lava principalmente andesíticos, depósitos glaciales, depósitos fluvio-glaciales y material piroclástico con tamaños de lapilli y ceniza.

Cortando parte de la secuencia y en una época no muy bien conocida fueron depositadas las soluciones mineralizantes de Plomo-Zinc-Plata.

#### ESTRATIGRAFIA

La complejidad de las estructuras, la naturaleza misma de algunas rocas, la escasez de fósiles y la falta de recursos económicos para dataciones radiométricas, hacen prácticamente imposible un trabajo detallado acerca de las relaciones estratigráficas entre las distintas unidades presentes en el área. Sin embargo por conocimiento de tipos de roca similares, un poco más al norte, se hacen correlaciones que permiten obtener una imagen más o menos ordenada de los distintos eventos.

#### CAMBRO-ORDOVICIANO

Las rocas más antiguas del área están representadas por cuarcitas, cuarcitas biotítico-feldespáticas, esquistos verdes clorítico-actinolíticos, esquistos negros cuarzo-sericíticos y en escasísima proporción pequeños lentes de mármol o rocas como silicatos de calcio que por su tamaño no aparecen en el mapa (Pl. 1).

Las cuarcitas y cuarcitas biotítico-feldespáticas generalmente ocurren como estratos macizos, bandeados y pobremente foliados. Solamente en zonas de cizalla se observa una foliación bien definida.

Los esquistos verdes clorítico-actinolíticos son de color verde oliva cuando frescos y ocre cuando están alterados, usualmente se presentan en estratos macizos y medianamente foliados. En esta unidad ocurren esporádicamente lentes de mármol y rocas con silicatos de calcio. Los esquistos negros cuarzo-sericíticos presentan características dife-

rentes a las unidades anteriormente descritas. En esta unidad la esquistosidad está bien desarrollada originándose láminas menores de 1 mm. Presentan lustre sedoso, debido en gran parte a efectos de cizalla y abundantes lentes de cuarzo lechoso producto de segregación metamórfica, el cual no se debe confundir con el cuarzo inyectado paralela o sub-paralelamente. El cuarzo segregado es estéril mientras que el cuarzo inyectado puede presentar, en cualquier cantidad, tenores de oro o plomo-zinc plata y se encuentra afectando indistintamente todas las unidades descritas.

Esta secuencia metamórfica se caracteriza por la alternancia, no bien definida de los distintos tipos de roca descritos y los comunes cambios laterales de facies que originan una marcada interdigitación de un tipo de roca a otro.

Las condiciones físico-químicas que afectaron esta secuencia son las correspondientes a un metamorfismo regional dinámico-térmico, con presiones y temperaturas propias del tope de las facies esquistos verde y parte baja de las facies anfíbolita.

La cartografía sistemática que se ha realizado de norte a sur en la Cordillera Central (Feininger, Barrero, et al, 1969), la similitud de composición química y rasgos litológicos con las rocas ordovicianas de la Cristalina y los estudios regionales publicados por diversos autores (Nelson, 1957, Botero Arango 1963; Silbate, 1967, a.b.; Barrero et al, 1969, Stibate 1970) hacen muy probable la hipótesis de que esta secuencia metamórfica fue depositada durante el cambro-ordoviciano y metamorfoseada y plegada durante el lapso ordoviciano-siluriano.

#### CRETACEO

Ninguna roca sedimentaria o metamórfica que se pueda ubicar dentro del Cretáceo o en términos generales dentro del Mesozoico, fue encontrada en el área cartografiada, lo cual era de esperarse si tenemos presente que hasta el momento solo se han encontrado "retazos" de cretáceo superior, en forma esporádica, a todo lo largo del área cartografiada en la Cordillera Central (Feininger, Barrero, et al, 1969; Alvarez, et al 1970; Barro, Vesga et al, 1971).

En cuanto a rocas ígneas se refiere, en el área de estudio, afloran pequeños apófisis y diques de una roca holocristalina, hipidimórfica de grano medio a grueso, color gris claro y compuesta principalmente por cuarzo, plagioclasa, biotita, hornblenda y cantidades menores de minerales opacos. Esta roca se ha clasificado como una cuarzodiorita. Hacia el oeste, entre el área cartografiada y la población de Salento, aflora una roca con

características similares y dimensiones de stock. Este hecho nos hace suponer que un cuerpo de mayores dimensiones está presente, a relativa poca profundidad, debajo de las rocas metamórficas y volcánicas del área.

La composición y características de emplazamiento de estos cuerpos cuarzodioríticos son iguales a los de otros cuerpos mayores ya sea por datación radiométrica, tales como el Batolito Antioqueño y el Batolito de Sonsón, o que por relaciones de campo, como el Batolito Tolimense, stock de Manizales y stock de Samacá, se ha probado que fueron intruidos en el Cretáceo Superior.

Por las razones anteriormente expuestas, los cuerpos cuarzodioríticos del área estudiada, han sido asignados al Cretáceo.

#### TERCIARIO-CUATERNARIO

Espesos mantos de lavas andesíticas porfiríticas afloran en la esquina noroeste del área cartografiada y tienen como centro de origen el cono volcánico llamado Nevado del Quindío. El espesor de estas lavas no se ha determinado con precisión ya que es muy variable por estar cubriendo una paleotopografía. Los mantos de lava; reposan en espectacular discordancia angular sobre los esquistos negros y verdes del cambro-ordoviciano y son posteriores a las fallas más importantes de la región.

Por lo menos tres emisiones de lava se pueden diferenciar en esta área: Un flujo más antiguo que tiene aspecto macizo, vesículas pequeñas y que muestran una marcada estratificación por flujo; su carácter porfirítico está determinado por fenocristales de plagioclasa y hornblenda que alcanza un tamaño de 3 mm y dos flujos superiores, de composición similar, se caracterizan por tener una mayor cantidad de fenocristales de plagioclasa con tamaños que alcanzan los 12 mm. Además, los flujos superiores, presentan vesículas mayores, que alcanzan hasta 12 centímetros de largo lo que le da un aspecto escoriáceo a la roca.

Las lavas que afloran en el área, forman parte integral del vulcanismo de tipo central, que ocurre en la zona axial de la Cordillera Central y al cual se le ha asignado una edad Terciario Superior o Cuaternario (Barrero, et al. 1969).

#### CUATERNARIO

Las rocas cuaternarias presentes en el área son el resultado de tres procesos distintos: glaciación, vulcanismo y acción fluvial.

Como resultado de la glaciación, durante el Cuaternario se depositaron morrenas compuestas en su mayor parte por cantos de rocas metamórficas y en menor cantidad por fragmentos de lavas andesíticas. Algunos vestigios de estas morrenas se encuentran en el área de la mina Las Nieblas y en la parte más oriental del área cartografiada. En una etapa posterior, como resultado de una intensa actividad volcánica, las unidades litológicas anteriormente descritas fueron cubiertas por un espeso manto tobas de lapilli y cenizas volcánicas.

Finalmente la acción fluvial ha formado, en tiempos recientes, aluviones más o menos espesos, entre los cuales sobresale el del Río Quindío.

#### ESTRUCTURAS

Los rasgos estructurales más importantes están representados por pliegues y fallas, que han afectado principalmente las rocas metamórficas del cambro-ordoviciano.

Las rocas metamórficas del área, llevan predominantemente la dirección general de la Cordillera, con una marcada foliación entre N20°E y N20°W con buzamiento general al Este. Dentro de las estructuras notables en estas rocas figuran los micropliegues y estrías a lo largo del plano de foliación, sugiriendo desplazamientos a lo largo de estos planos. El hecho de que la mayoría de los buzamientos se dirijan en el mismo sentido es debido a que el tipo de plegamiento es isoclinal, que en este caso corresponde a isoclinales inclinados hacia el Oeste.

La falla más importante del área es la falla de la Amargura, la cual cruza la zona cartografiada de norte a sur, con una dirección N20°E y plano de falla vertical.

Hacia el norte del área esta falla aparece claramente cubierta por las lavas terciarias las cuales reposan en marcada discordancia angular sobre las rocas más antiguas, un hecho que puede tener mucha importancia en la localización de depósitos minerales.

Otras fallas de menor magnitud, aparecen en el extremo suroeste del área trabajada, justamente en la zona donde ocurre la mineralización de Plomo - Zinc - Plata, con rumbos noroeste, inclinados hacia el este y con una componente horizontal que en la mayoría de los casos tiene desplazamientos lateral izquierdo (Pl. 2).

#### GEOLOGIA DE DEPOSITO

El área mineralizada tiene una extensión aproximada de 2 km<sup>2</sup> y está localizada en la esquina suroeste del área cartografiada

(Fig.1)

Las rocas que afloran son cuarcitas, cuarcitas biotíticas, esquistos verdes y esquistos negros, todos pertenecientes a la secuencia metamórfica cambro-ordoviciana. Cortando estas rocas se encuentran algunos diques cuarzo-dioríticos, los cuales a su vez, en la quebrada Las Nieblas, son atravesados por los cuerpos mineralizados sin originar ningún desplazamiento en ellos.

Las estructuras más importantes del área de la mina son las fallas, diaclasas, zonas de cizalla y planos de foliación.

#### HISTORIA Y PRODUCCION

Las primeras noticias sobre la mineralización fueron traídas a Salento en 1948, por Manuel Arbeláez, Salomón Naranjo y Luis Alarcón, quienes localizaron y tomaron muestras del mineral, clasificado por entonces como sulfuro de antimonio. Más tarde, en 1957, identificaron correctamente el mineral como sulfuro de plomo rico en plata y en el mismo año un grupo de interesados solicitaron ante el Ministerio de Minas y Petróleos la concesión correspondiente.

Este trámite fue cancelado en 1969 por no llenar todos los requisitos legales y los mineros no volvieron a insistir en su propósito debido a la grave situación de orden público que se vivía.

En 1967 Jorge Chávez, Luis Eduardo Gómez, Abacuc Araque y David Velásquez relocalizaron el afloramiento e iniciaron una explotación muy primitiva. En 1969 se unieron al grupo de mineros antes mencionado, el Ingeniero América Marán y los señores Gonzalo Soto y Pedro Luis Pérez quienes avisaron para sí cuatro minas de "Plata y otros metales" llamadas Las Nieblas, Venecia, Los Alpes y El General. Unos meses más tarde se incorporó al grupo de mineros el Brigadier General (r) Jaime Polanía Puyo, quien, en asocio de algunos de los señores antes mencionados constituyó la Compañía Minera del Quindío S. A. la cual entró a explorar el depósito. El mineral de Plomo Plata ha sido extraído casi en su totalidad solamente de una guía en el filón de Las Nieblas. En un comienzo se escogía una parte del mineral a mano, se lavaba y se vendía en esta forma; el resto del mineral se trituraba en un pequeño molino de martillo y se hacía pasar repetidas veces por un "laberinto" para ser concentrado. Este sistema de beneficio acarrea la pérdida de la argentita y plata nativa presentes en los materiales finos, por lo cual se desechó rápidamente. En la actualidad el mineral que se vende es simplemente escogido a mano y lavado; la otra parte que no puede ser seleccionada por este método, es

almacenada. En esta forma el mineral extraído ha sido vendido bajo las modalidades de "mineral concentrado" a la Compañía Amerex S.A. (Tabla 1).

#### MINERALOGIA DEL DEPOSITO

Los minerales presentes en los cuerpos mineralizados de la mina Las Nieblas pueden dividirse convenientemente en minerales hipogénicos, supergénicos y minerales de ganga. En realidad muy poco trabajo se hizo sobre los minerales supergénicos.

Para los estudios mineralógicos se usaron métodos químicos y secciones pulidas. El análisis espectrográfico de dos muestras procedentes de los filones de El Misterioso y Los Alpes se da en la Tabla 2.

#### MINERALES HIPOGENICOS

Galena (PbS) es el único mineral de plomo que se encontró en el área. Ocurre principalmente con franjas macizas en ganga de siderita. Los cristales alcanzan hasta 8 mm de lado y se presentan principalmente en forma de cubos y octaedros. Usualmente la galena contiene inclusiones de argentita aunque el contenido de plata parece también estar presente en la molécula.

Esfalerita (ZnS) está presente en casi todos los filones aunque en proporciones variable. El color es carmelito miel y presenta cierto lustre metálico, lo cual hace suponer que el contenido de hierro es apreciable. Algunas muestras alcanzan contenidos de 0,2% de cadmio. Arsenopirita ocurre en la mayoría de los filones en forma irregular y usualmente reemplazando otros minerales. Pirita se presente en todos los filones, ocurre en forma de cubos o ramificaciones arborecentes asociada y reemplazando a la arsenopirita. La pirita y arsenopirita parecen contener pequeñas cantidades de oro.

Fecha	Kilos de Mineral	Plata Oz Troy	Plomo Kilos	Valor neto pesos
1968	30.411	984	9.409	102.968
1969	18.513	2714	7.755	98.494
1970	4.576	644	1.790	28.749
1970	4.836			21.816

TABLA I. Cantidad de mineral de Plomo-Plata procedente de la mina Las Nieblas, vendido a la Compañía Amerex S.A.

Calcopirita ocurre en forma irregular rellenando cavidades o como agregados en galena, esfalerita y siderita.

Elementos en ppm	Filón El Misterioso	Filón Los Alpes
Mn	1000	GG 2000
Ag	G-2000	10000
As	GG-50000	GG 5000
Au	N	N
B	N	N
Ba	20	N
Be	N	N
Bi	100	N
Cd	G-2000	300
Co	100	7
Cr	N	N
Cu	G-2000	200
Ga	5	N 7
Ge	N	N
La	1 - 30	1 - 30
Mo	5	7
Nb	N	N
Ni	5	7
Pb	G-2000	G-2000
Pd	N	N
Pt	N	N
Sb	G-2000	G-2000
Sc	N	N
Sn	15	15
Sr	N	N
Ta	N	N
Te	N	N
Ti	N	N
V	N	N
W	N	N
Y	G-2000	20000

TABLA 2. Análisis espectrográfico semicuantitativo de dos muestras procedentes de los filones. El Misterio y Los Alpes, Mina Las Nieblas.

#### MINERALES SUPERGENICOS

Los únicos minerales supergénicos que se pudieron conocer fueron covelita, azuritas y malaquita. Estos minerales ocurren en forma esporádica y en cantidades insignificantes.

En la mayoría de los filones, los minerales hipogénicos se presentan notoriamente frescos a escasos centímetros de la superficie. La razón para que no existan minerales supergénicos a partir de la galena y la esfalerita no se conoce.

#### MINERALES DE GANGA

Los minerales de ganga más importantes los constituyen siderita y cuarcita y cuarzo en orden respectivo. Además se encuentran en pequeñas cantidades calcita y fluorita.

#### PARAGENESIS

La paragénesis de los cuerpos mineralizados del área de Las Nieblas aparece bastante confusa, lo cual en gran parte puede ser

debido a la escasez de datos. Sin embargo, del estudio de las secciones pulidas podemos intentar un diagrama que de todas formas debe considerarse muy aproximado (fig. 2).

#### FORMA Y CONTROLES DE LA MINERALIZACION

En el área de la mina Las Nieblas la mineralización se encuentra formando cuerpos irregulares que son interrumpidos por fallas. Los filones buzan generalmente con ángulos mayores de 60° y algunos de ellos son paralelos a la foliación mientras que otros se desarrollan oblicuos a ésta (fig. 2).

La continuidad longitudinal es más constante en los filones cuyo rumbo es paralelo a la foliación. Además se ha podido observar que existen estrangulamientos frecuentes en los filones, lo cual hace pensar que vistos de plano tienen forma de lente.

El control de la mineralización parece ser debido, más a efectos estructurales que físico-químicos. Una prueba de estos es el hecho de que la mineralización se desarrolla completamente independiente de la litología.

Por otra parte los rasgos estructuras como fallas, zonas de cizalla y simples fracturas están íntimamente asociadas a los cuerpos mineralizados. Este hecho está corroborado por la frecuente presencia en las secciones pulidas, de texturas típicas de relleno de espacios-vacíos. (open space filling).

#### CLASIFICACION Y ORIGEN

La mineralización del área de Las Nieblas se formó a partir de soluciones hidrotermales que rellenaron fisuras y espacios vacíos pre-existentes.

El hecho de que se trate de un depósito de plomo-zinc-plata en el cual no se observaron minerales típicamente hipotermales o epitermales, puede servir de base para clasificar este depósito como mesotermal.

El origen de las soluciones hidrotermales así como la edad del depósito se desconocen.

#### RESERVAS

Los trabajos que se han realizado hasta el momento, solo permiten un cálculo aproximado de las reservas del depósito.

Con el propósito de evitar equívocos, al hablar de reservas usaremos la siguiente terminología: reservas medidas (measured ore); reservas indicadas (indicated ore) y reservas inferidas (inferred ore) en el mismo sentido dado a estos términos por el U.S. Geological Survey, 1958, p. 59).

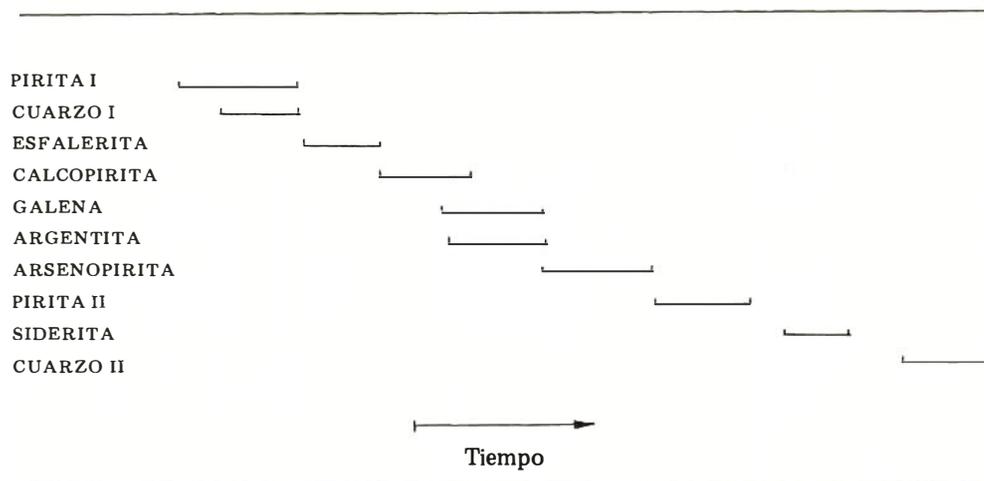


Fig. 2. Cuadro paragenético de la mina Las Nieblas.

Los datos obtenidos en superficie y las excavaciones hasta el momento realizados permiten hacer un estimativo de "reservas indicadas" sólo en el filón de Las Nieblas. Para los demás filones tan sólo es posible estimar sus "reservas inferidas".

El filón Las Nieblas está situado entre los vértices 17 a 29 de la poligonal levantada a lo largo de la quebrada Las Nieblas; tiene un espesor promedio de 0,30 m y un contenido de sulfuros que varía entre 7 y 10 por ciento. La mitad de este porcentaje corresponde a galena argentífera, piritita y arsenopiritita. El filón se presenta fragmentado en tres segmentos, con diferentes orientaciones debido a las numerosas fallas "menores" que lo afectan (Pl. 3).

Para efectos del cálculo de reservas se tomó como "espesor beneficiable" el espesor del filón más el espesor de las salbandas que presentan apreciables contenidos de sulfuro. La cuela para los distintos filones se obtuvo proyectándolos sobre un plano de referencia que pasa por la cota que marca los puntos más bajos en los cuales fue observada la mineralización; siendo estas cotas de 3.018 metros para las áreas de las quebradas El Oso y El Osito, de 3.082 metros en el área de la quebrada Las Nieblas y de 3.303 en el área de la quebrada Guerrillas (Pl. 3). Para el cálculo de "reservas indicadas" se tomó como longitud de los filones los tramos perfectamente conocidos mientras que, las "reservas inferidas" fueron calculadas en base a longitudes asumidas, pero siempre teniendo en cuenta la posible desaparición de los filones por efectos geológicos y por lo tanto no prolongándose más allá de estos accidentes (Pl. 3).

Las cifras globales sobre "reservas indi-

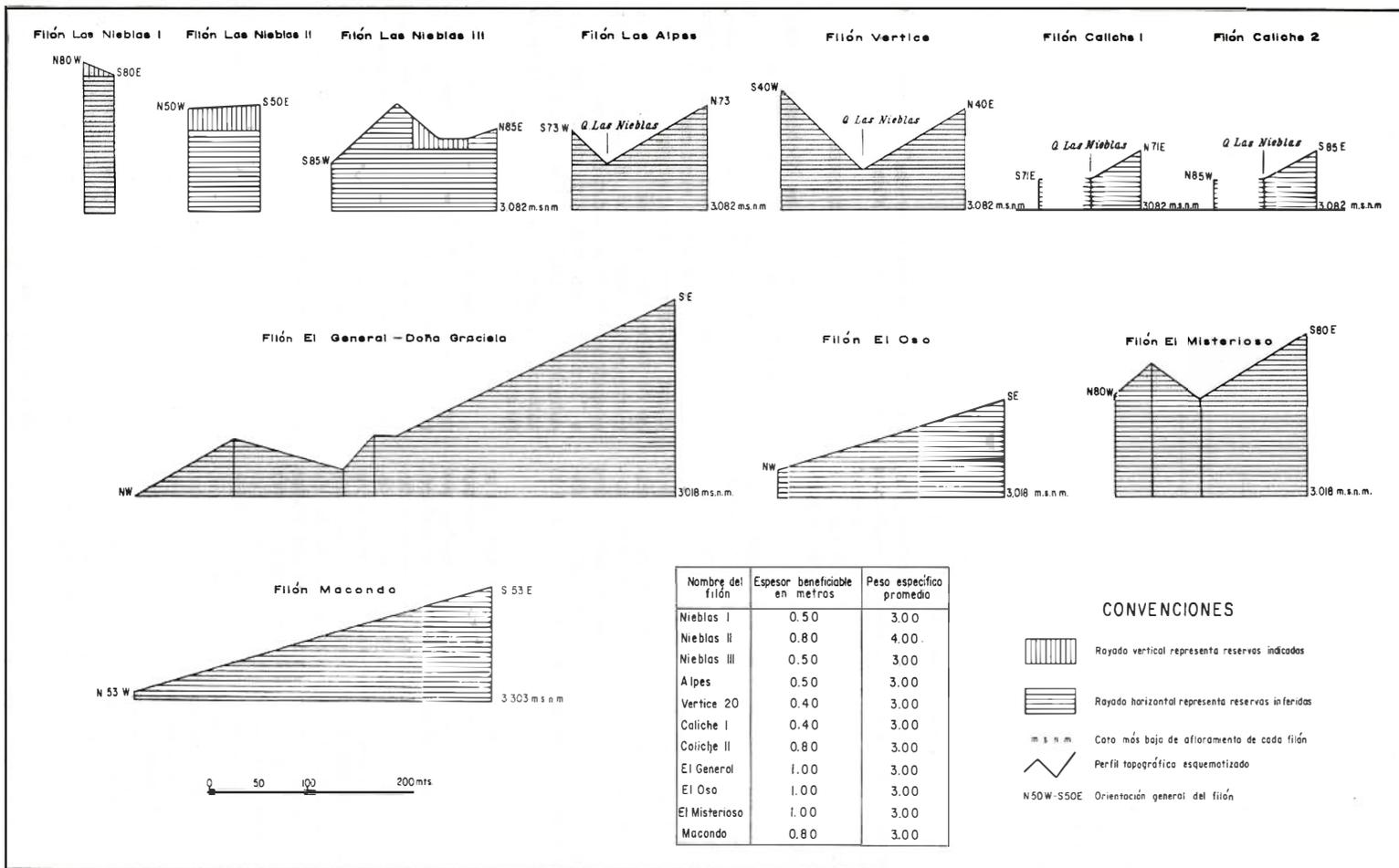
casadas" y "reservas inferidas" de cada uno de los filones se da en la Tabla 3.

#### CONCLUSIONES

En el área de Las Nieblas, probablemente a fines del cretáceo, se produjeron intrusiones de cuerpos cuarzodioríticos los cuales se emplazaron a profundidad moderada en rocas metamórficas altamente deformadas y posiblemente de edad cambro-ordovicianas. Posteriormente se originó una tectónica de fallas que, a fines del Terciario o comienzos del Cuaternario, dió paso a enormes erupciones de lavas andesíticas que vinieron a "fossilizar" un relieve ya desarrollado. Las soluciones mineralizantes se emplazaron justamente después de la tectónica de fallas pero antes de las erupciones de lavas.

Los rasgos estructurales como fallas, zonas de cizalla, diaclasas y foliación ejercieron un fuerte control en el emplazamiento de las soluciones mineralizadas. Como resultado de este control los cuerpos se encuentran a lo largo de cualquiera de los rasgos antes mencionados. Por otra parte es notorio el hecho de que la litología no ha ejercido ningún control sobre la mineralización.

Las texturas, estructuras y mineralogía de los distintos filones permiten establecer que se trata de un depósito mesotermal, en el cual el relleno de espacios vacíos y el reemplazamiento están presente sin llegar a predominar notoriamente el uno sobre el otro. Un hecho importante es que el depósito de Las Nieblas, no es una mineralización aislada sino que por el contrario forma parte integral de un grupo de manifestaciones minerales que se encuentran al sur del área estudiada y que vienen a conformar lo que se puede denominar el distrito mineral de Salento.



Plancha 3 - Diagrama usado para cálculo de reservas, Mina Las Nieblas, Municipio de Salento, Quindío

Filón	Sulfuros	Minerales de Mena	Reservas Indicadas Ton.Met. Mena	Reservas Inferidas Ton.Met. Mena
Las Nieblas I	7-10	Galena, esfalerita, argentita, pirita, arsenopirita	270	6.165
Las Nieblas II	7-10	Galena, esfalerita, argentita, pirita, arsenopirita	5.625	18.585
Las Nieblas III	7-10	Esfalerita, galena, argentita, pirita, arsenopirita	1.161	19.663
Los Alpes	5-10	Esfalerita, galena, argentita, pirita, arsenopirita	--	19.037
Vértice 20	5-10	Esfalerita, galena, argentita, pirita, arsenopirita	--	20.482
Caliche 1	5-10	Esfalerita, argentita, pirita, arsenopirita	--	7.325
Caliche 2	5-10	Galena, esfalerita, argentita, pirita, arsenopirita	--	10.877
El General	5	Galena, esfalerita, argentita, pirita, arsenopirita	--	158.264
El Oso	5	Galena, esfalerita, argentita, pirita, arsenopirita	--	48.755
El Misterioso	5-10	Galena, argentita, arsenopirita, pirita	--	82.646
Macondo	5	Galena, esfalerita, argentita, pirita, arsenopirita	--	53.310
TOTAL DE RESERVAS			7.056	445.109

TABLA 3. Reservas Indicadas e Inferidas de minerales de Plomo-Zinc-Plata del depósito de Las Nieblas, Municipio de Salento, Quindío.

#### REFERENCIAS CITADAS

- ALVAREZ, J., et al. 1970. *Mapa geológico del cuadrángulo H-8 (Yarumal) y parte del cuadrángulo H-7 (Ituango) Colombia. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, Bogotá.*
- BARRERO, D. et al, 1969. *Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, Bogotá. Boletín Geológico Vol. XVII, Nos. 1-3, p. 145-73.*
- BARRERO, D., Vesga, C. J., et al. (en imprenta) *Mapa geológico del cuadrángulo K-9 y mitad sur del cuadrángulo J-9. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras, Bogotá.*
- BOTERO ARANGO, G. 1963. *Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia. Anales de la Facultad de Minas. Medellín. No. 57, 101, p.*
- CEDIEL, F., 1969. *Características geológicas de las mineralizaciones de galena al E. del Municipio de Salento, Dpto. de Quindío. Inf. privado. Sociedad Minera el Quindío, S. A., 2 p.*
- FEININGER, T., BARRERO, D., et al. 1969. *Mapa geológico del Oriente del Departamento de Antioquia, Colombia. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras, Bogotá.*
- NELSON, H. W., 1957. *Contribution to the geology of the Central and Western Cordillera of Colombia in the sector between Ibagué and Cali. Leidse. Geol. Mede., deel 22, pp. 1-76 Leidem.*
- ORTIZ, F. 1969. *Informe geológico de la Mina Las Nieblas, Municipio de Salento, Quindío. Inf. privado. Sociedad Minera del Quindío, S. T., 2 p.*
- STIBANE, F.R. 1967. *Paleogeographie und tektogenese der Kolumbianischen Anden, Geol. Rdsch. Band. 56, seite 629-642. Stuttgart.*
- 1967 b. *Devonian of the Cordillera of Colombia International. Symposium on the Devonian System, Calgary, Bogotá.*
1970. *Beitrag zum Alter der Metamorphose der Zentral-Kordillere Kolumbiens. Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 4.77 - 82.*
- U.S.GEOLOGICAL SURVEY, 1958 *Suggestions to authors of the reports of the United States Geological Survey. Fifth Edition, 255 p.*

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
GEOLOGICO MINERAS**

**OFICINA REGIONAL DE BUCARAMANGA**

**Informe No. 1578**

**INFORME SOBRE LOS YESOS EN LA FORMACION  
ROSA BLANCA EN LA MESA DE LOS SANTOS**

**Por**

**Jaime A. Cruz B.  
Rodrigo Vargas H.**

**BOGOTA, 1968**

S3615

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN . . . . .	109
INTRODUCCION . . . . .	109
LOCALIZACION . . . . .	109
ACCESIBILIDAD . . . . .	109
CLIMA Y VEGETACION . . . . .	109
TOPOGRAFIA Y DRENAJE . . . . .	109
INVESTIGACION DE CAMPO . . . . .	109
TRABAJOS PREVIOS . . . . .	111
GEOLOGIA . . . . .	111
ESTRATIGRAFIA . . . . .	111
FORMACION TAMBOR . . . . .	111
FORMACION ROSABLANCA . . . . .	111
FORMACION LA PAJA . . . . .	112
NIVEL YESIFERO . . . . .	112
<i>Correlación</i> . . . . .	112
CARACTERISTICAS DE LOS YESOS Y ANALISIS QUIMICOS . . . . .	112
CALCULO DE RESERVAS . . . . .	114
RESERVAS PROBADAS . . . . .	114
RESERVAS INDICADAS . . . . .	114
RESERVAS INFERIDAS . . . . .	114
EXPLOTACION . . . . .	114
CONCLUSIONES . . . . .	125
BIBLIOGRAFIA . . . . .	125

## PLANCHAS

I	Mapa Geológico Base con localización de secciones y afloramientos de yeso.	129 - 130
II	Secciones Columnares Nos. 1 y 2. . . . .	129 - 130
III	Secciones Columnares Nos. 3 y 4. . . . .	129 - 130
IV	Secciones Columnares Nos. 5, 6 y 7. . . . .	129 - 130
V	Secciones Columnares Nos. 8, 9, 10 y 11. . . . .	129 - 130
VI	Secciones Columnares Nos. 13, 14 y 15. . . . .	129 - 130

## FIGURAS

1	Mapa Indice . . . . .	110
2	Correlación de Niveles yesíferos, parte Basal Formación Rosablanca.	112 - 113
3	Correlación de Niveles yesíferos de la parte Basal de la Formación Rosablanca entre secciones Nos. 2 y 9. . . . .	113
4	Localización de los bloques usados para el cálculo de reservas Probadas e Indicadas. . . . .	115
5	Esquema mostrando el límite oeste de la cuenca yesífera. . . . .	116
6	Contorno estructural de la base de la Formación Rosablanca. . . . .	123
7	Mapa Isocoro del intervalo entre la base de la Formación Rosablanca a la superficie topográfica. . . . .	124

## FOTOGRAFIAS

No. 1	Aspecto del cañón del Río Chicamocha en los alrededores de El Toro.	126
No. 2	Aspecto de la mina el Guayacán.	126
No. 3 y 4	Aspecto de la mina El Toro.	127
No. 5 y 6	Canal de erosión, mina El Diviso.	128
No. 7	“Pot hole”, mina El Diviso.	129
No. 8	Variación lateral. Espesor en shales, Mina El Diviso.	129

## TABLAS

I	Cuadro general de datos para el cálculo de Reservas Probadas.	117
II	Cuadro general de datos para el cálculo de Reservas Indicadas.	118
III	Cálculo de tenores promedios.	119
IV	Resultados de Análisis Químicos.	121

\* \* \*

## RESUMEN

Niveles de yeso gris, masivo, están restringidos a la parte basal de la Formación Rosablanca en las regiones aledañas a la unión de los ríos Chicamocha y Suarez, en el Municipio de Los Santos, Departamento de Santander. Reservas calculadas con base a datos de superficie indican la presencia de un depósito de dimensiones considerables y, según los análisis químicos obtenidos, de muy buena calidad.

## INTRODUCCION

El presente estudio fué emprendido por el Inventario Minero Nacional para tratar de localizar nuevas manifestaciones de yeso masivo con el objeto de determinar la posible continuidad de los afloramientos conocidos en las minas de El Guayacán, El Toro y El Diviso. Además, ayudados con información estratigráfica se trató de determinar la geometría de los cuerpos de yeso y de inferir reservas.

## LOCALIZACION

El área está situada 40 m al sur de Bucaramanga, sobre el cañón del Río Chicamocha-Sogamoso en las vecindades de su confluencia con el Río Suárez, en el Municipio de los Los Santos, Departamento de Santander.

## ACCESIBILIDAD

Se llega al área estudiada por la carretera pavimentada Bucaramanga-San Gil hasta el sitio de los Curos, a 31 km de Bucaramanga, donde aparta la carretera destapada que conduce a la población de Los Santos a 35 km de distancia. De esta población se sigue por un carreteable en muy malas condiciones, el cual se bifurca a 7 km llegando el ramal del norte a la mina El Guayacán (18.3 km) y el del sur a las minas de El Diviso (12 Km) y El Toro (9 km).

## CLIMA Y VEGETACION

En ésta área, donde aun se dejan sentir los vientos Alisios del Nordeste, predomina un clima cálido-árido con altas temperaturas y baja pluviosidad el cual insidie directamente en el desarrollo de una vegetación escasa, de tipo desértico, caracterizada por arbustos espinosos y diferentes especies de cactus. La ausencia de árboles maderables es absoluta.

## TOPOGRAFIA Y DRENAJE

El área corresponde geomorfológicamente a una gran meseta marginal profundamente disectada por la erosión de los ríos Chicamocha-Sogamoso y Suárez. Estos ríos han labrado profundos cañones, hasta de

600 m, de escarpadas paredes, dividiendo la meseta primordial en una serie de mesetas tales como la de Los Santos, Ruitoque, Zapatoca y Barichara.

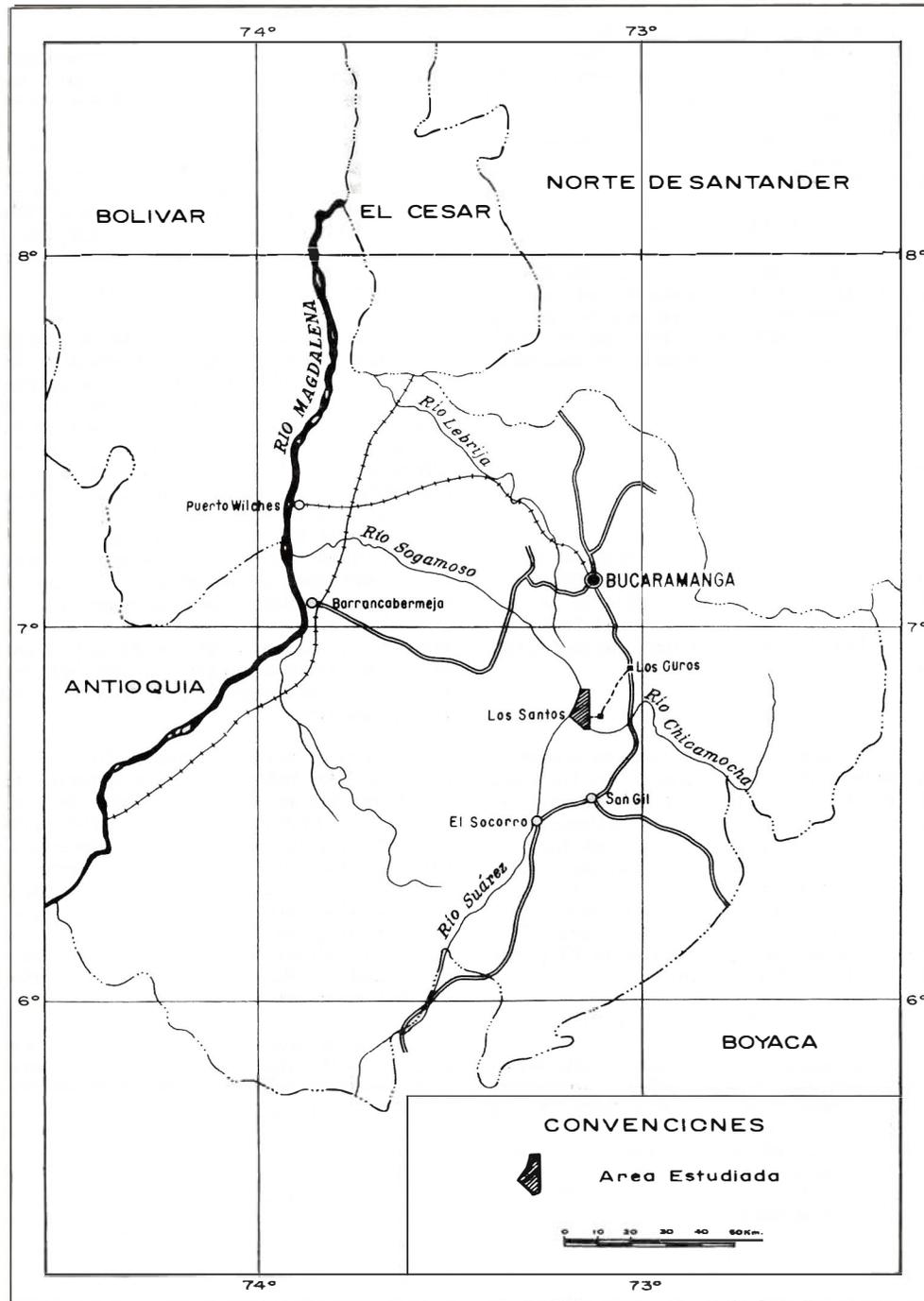
Afluentes menores, del sistema hidrográfico Chicamocha-Suárez-Sogamoso, los constituyen en el área, torrentes invernales, las cuales se precipitan por los flancos de los cañones, y por causa de la escasa vegetación, han labrado profundas incisiones en ellos. De estos torrentes, el único en las vecindades con escasa agua permanente es la Quebrada Los Santos de la cual obtienen el agua para el acueducto de la población de Los Santos.

## INVESTIGACION DE CAMPO

Durante las investigaciones de campo efectuadas por el geólogo del Inventario Minero Nacional, Raul E. Perea, a más de visitarse los afloramientos de yeso masivo en los sitios de las minas en explotación, se exploró en las vecindades a fin de localizar nuevos afloramientos. A tal fin se recorrieron las quebradas Agua Gorda, Dañina, Chivatera, Los Santos y Volantín, (Pl. 1 y Fig. 5) todas ellas situadas al norte de la mina El Guayacán las cuales aunque aflora la sección basal de la Formación Rosablanca, no se observó ninguna manifestación de yeso masivo similar a las observadas en los sitios de las minas. En el cerro el Pulpito entre las quebradas Chivatera y Los Santos se escavó una trinchera encontrándose una capa de yeso masivo de 50 cm de espesor.

Hacia el este de la mina El Toro, a 750 m de la Quebrada Nevadas se escavó otra trinchera la cual mostró una capa de yeso masivo de 90 cm de espesor. Sin embargo esta trinchera solamente destapó la parte inferior de la sección yesífera debido al gran espesor de los derrubios que cubren su parte superior. Más hacia el este las secciones a lo largo de las quebradas Pozo Negro, Caño de Castilla y Tablazo mostraron también la sección basal del Rosablanca sin manifestaciones de yeso interestratificado (Fig. 5).

Los trabajos de campo efectuados por el geólogo Rodrigo Vargas, se encaminaron a conseguir información estratigráfica en busca de criterios para determinar la geometría de los cuerpos de yeso e inferir reservas de este mineral. Para tal fin y dentro de las restricciones impuestas por la topografía, se levantaron y midieron secciones estratigráficas detalladas en los sitios de las Minas El Guayacán, El Diviso y El Toro (Pls. II-III-IV-V) y secciones parciales en los sitios del Cerro Morrogrande, Quebrada Agua Gorda y sobre el margen izquierdo del Río Sogamoso entre el Río Suárez y la Quebrada Las Vegas (Pl. VI). Un total de 14 secciones fueron medidas, tres de ellas de la secuencia litológica comprendida desde el contacto de la Formación



Mapa indice

Figura 1

Tambor hasta un nivel superior a la sección yesífera de calizas con nódulos de chert. Las 11 restantes corresponden a secciones parciales del nivel yesífero.

La continuidad de los niveles de yeso entre los afloramientos de las tres minas es difícil de constatar en el terreno debido a encontrarse estas áreas cubiertas por una potente capa de derrubios, o bien, por la inaccesibilidad de los sitios. Sin embargo a aproximadamente 250 m y al noroeste de la mina El Toro se localizaron afloramientos de yeso, parcialmente cubiertos, en la misma posición estratigráfica que aquellos de la mina.

Los bancos masivos de yeso muestran una meteorización superficial característica que los diferencia de los otros tipos litológicos con que se encuentran asociados. Los yesos, corresponden a una zona blanda, debajo de un grueso paquete de caliza, en la cual se observa una forma "festionada" en las partes por donde parece que escurre el agua en las épocas de lluvia. Gracias a ello, en los escarpes inaccesibles pueden diferenciarse y seguirse hasta distancias de varias decenas de metros, hecho este que se puede apreciar al sur de la mina El Diviso y al este de la mina El Toro.

Sobre la margen izquierda del Río Sogamoso, entre el Río Suárez y la Quebrada Las Vegas (Pl. I), más o menos 500 m al sur de la última y sobre la cota 500 m se observaron dos bancos de yeso masivo de 56 y 30 cm separados entre sí por 50 cm de lutita yesífera (Pl. VI), los cuales se pudieron seguir hacia el sur por una distancia de 900 m.

En la Quebrada Lagunetas, donde aflora la sección completa de la Formación Rosablanca no se presentan manifestaciones de yeso masivo. Esta sección fue medida y muestreada por Julivert (1963), reportando yeso gris interestratificado en pequeñas capas (2 a 5 cm), dentro de lutitas yesíferas y dolomías hacia la base de la formación.

La totalidad de las muestras colectadas por el citado autor se conservan en la Universidad Industrial de Santander y fueron facilitadas al Inventario Minero para su comprobación.

El área al sur del Río Chicamocha fue imposible de visitar debido a lo inaccesible del sitio.

#### TRABAJOS PREVIOS

Estudios anteriores de yesos fueron hechos en esta área por Jimeno y Yepes (1963), pero únicamente de aquellos asociados con los sedimentos de Formación La Paja. Este estudio abarca un área de 200 km<sup>2</sup> dentro de la cual se localizaron 18 depósitos con una

superficie total de 283 hectáreas y se probaron reservas del orden de 1.703.000 toneladas. Entre sus conclusiones, los autores de este estudio previeron que estos yacimientos, a pesar de sus reservas probadas bastante apreciables, podrían quedar marginadas por el hallazgo de yacimientos de más fácil explotación, como en realidad ha sucedido con el descubrimiento de los yesos de la Formación Rosablanca.

#### GEOLOGIA

La secuencia expuesta en esta área corresponde a sedimentos del Cretáceo Inferior a Medio, los cuales no han sufrido mayor tectonismo como lo sugiere los buzamientos suaves (4° a 12°) y la ausencia de plegamientos significativos. Los mayores accidentes estructurales lo constituyen fallas normales menores de poco desplazamiento. La mayor de ellas, de tendencia este-oeste limita hacia el norte los afloramientos yesíferos de la mina El Guayacán y es la causante del fuerte diaclasamiento observado en esta mina.

#### ESTRATIGRAFIA

Se expondrá de una manera generalizada la litología de las formaciones Tambor, Rosablanca y La Paja, presentes en el área de estudio.

#### FORMACION TAMBOR

Está representada esta formación por areniscas claras, cuarzosas de grano fino, en bancos masivos de espesor variable, algunos de ellos con estratificación cruzada. Hacia la base de la sección expuesta aquí se presentan areniscas finas arcillosas, verdosas con algunas intercalaciones de lutitas. Hacia el contacto con la Formación Rosablanca se presentan intercalaciones de lutitas azulosas. El espesor expuesto en esta área es aproximadamente de 150 m.

#### FORMACION ROSABLANCA

Suprayaciendo conformablemente la Formación Tambor se presenta una secuencia de 300 m de espesor (Julivert, 1963) compuesta de una serie alternante de calizas grises azulosas en parte marrones, en bancos masivos de espesor variable, la mayoría de ellas fosilíferas y lutitas grises azulosas a grises oscuras y lutitas arenosas grises.

Hacia la parte superior se presenta un nivel de areniscas grises azulosas, de grano fino a medio, calcáreas en bancos hasta de 10 m y areniscas arcillosas a oscuras con intercalaciones de calizas y lutitas arenosas.

#### FORMACION LA PAJA

Está constituida por una serie monótona, de 300 m de espesor, de lutitas grises verdosas, azules y negras, fosilíferas y yesíferas, las cuales al meteorizarse adquieren un color rojo violáceo. Son frecuentes las concreciones calcáreo-arenosas. Intercalaciones menores de calizas arcillosas grises oscuras, algo arenosas y fosilíferas y areniscas calcáreas grises oscuras de grano fino se encuentran distribuidas a lo largo de la sección.

#### NIVEL YESIFERO

El nivel yesífero de interés económico se presenta hacia la base de la Formación Rosablanca con un espesor promedio de 12 m, aproximadamente 20 m encima del contacto de esta formación con la infrayacente Formación Tambor. Aquí se observan una serie de bancos masivos lenticulares de yeso gris, de espesores variables, que van de 16 cm a 2,10 m con intercalaciones menores de lutitas grises, calcáreas, yesíferas, algunas lutitas grises arenosas y calizas dolomíticas azulosas de grano fino. Hacia el tope se observa un nivel potente de calizas grises azulosas, duras, las cuales hacia su base presentan nódulos de chert. Este nivel calcáreo, por su resistencia a la erosión, forma repisas que sobresalen en las paredes de los cañones siendo posible localizarlas a distancia a través de toda el área.

Costras, relleno de fisuras y capitas concordantes de yeso fibroso blanco son frecuentes no solo en este nivel sino también a través de toda la secuencia de las formaciones Rosablanca, La Paja y en los niveles arenosos superiores de la Formación Tambor.

#### Correlación

Para efecto de correlación entre las diferentes secciones estratigráficas se tomó como nivel guía un pequeño estrato de arcilla limonítica rojiza de 5 a 10 cm de espesor fácilmente identificado en todas las secciones y localizado al tope del nivel yesífero.

En la figura 2 se presenta la correlación de las secciones columnares levantadas en las minas de El Toro, El Diviso, margen izquierdo del Río Sogamoso y El Guayacán. Puede observarse en ella el carácter lenticular de los bancos de yeso los cuales cambian lateral y gradualmente a lutitas calcáreas yesíferas y lutitas calcáreas sin yeso.

En la mina El Toro, Sección 1 (Pl. II), se presentan 7 bancos de yeso masivo distribuidos a través de 12 m de sección y solamente 4 en la Sección 4 (Pl. III), correspondientes a los 6 m superiores de la sección.

Al extender la correlación hacia la mina de El Diviso se observa un marcado adelgazamiento de los bancos de yeso en esta dirección hasta desaparecer la totalidad de ellos en la Sección 7 (Pl. IV), donde únicamente se observan, en el intervalo correspondiente al nivel yesífero, lutitas calcáreas con pequeñas laminillas de yeso interestratificadas.

En la mina El Guayacán, el primer banco de yeso masivo se presenta 20.47 m por encima del contacto con la Formación Tambor, Sección 8 (Pl. V), en donde están expuestos nueve bancos de yeso a través de 11.30 m de sección, con espesores que varían de 16 cm a 1.97 m. Nuevamente se presentan aquí cambios laterales de facies como los observados en las secciones anteriores.

En la sección columnar sobre la margen izquierda del Río Sogamoso (Pl. VI) están expuestos dos bancos de yeso correspondientes a los más inferiores del nivel yesífero. Muy posiblemente en esta localidad, estén presentes también algunos de los bancos superiores.

En la figura 3 se muestra la correlación entre las secciones 2 y 9 de las minas, extremas, El Toro y El Guayacán respectivamente. Es sorprendente la correspondencia que muestran los bancos de yeso entre estos dos sitios, separados entre sí 3.710 m.

Tanto el pinchamiento de los yesos observado hacia la Sección 7 de la mina El Diviso como otros fenómenos sedimentarios observados en esta mina tales como "pot-holes", canales de erosión (labrados dentro de los bancos de yeso y lutitas) y estratos clásticos gruesos, sugieren un borde de cuenca en las vecindades de esta área.

En base a estas apreciaciones y teniendo en cuenta los sitios en donde aflora la sección basal de la Formación Rosablanca sin presentar manifestaciones de yeso masivo se ha inferido el borde oeste de la cuenca de evaporación, la cual tendría su máxima profundidad hacia el este en algún sitio por debajo de la Mesa de Los Santos (fig. 5).

#### CARACTERISTICAS DE LOS YESOS Y ANALISIS QUIMICOS

Selenita, yeso fibroso y yeso masivo son las variedades de yeso presentes en el área de La Mesa de Los Santos. La selenita se encuentra principalmente asociada a las arcillas de la Formación La Paja. El yeso fibroso (Satin Spar) se observa en forma de pequeños cuerpos tabulares, siguiendo los planos de estratificación algunos y otros rellenando fracturas o formando costras superficiales. Yeso masivo (Gypsum rock) gris de grano grueso se presenta interestratificado

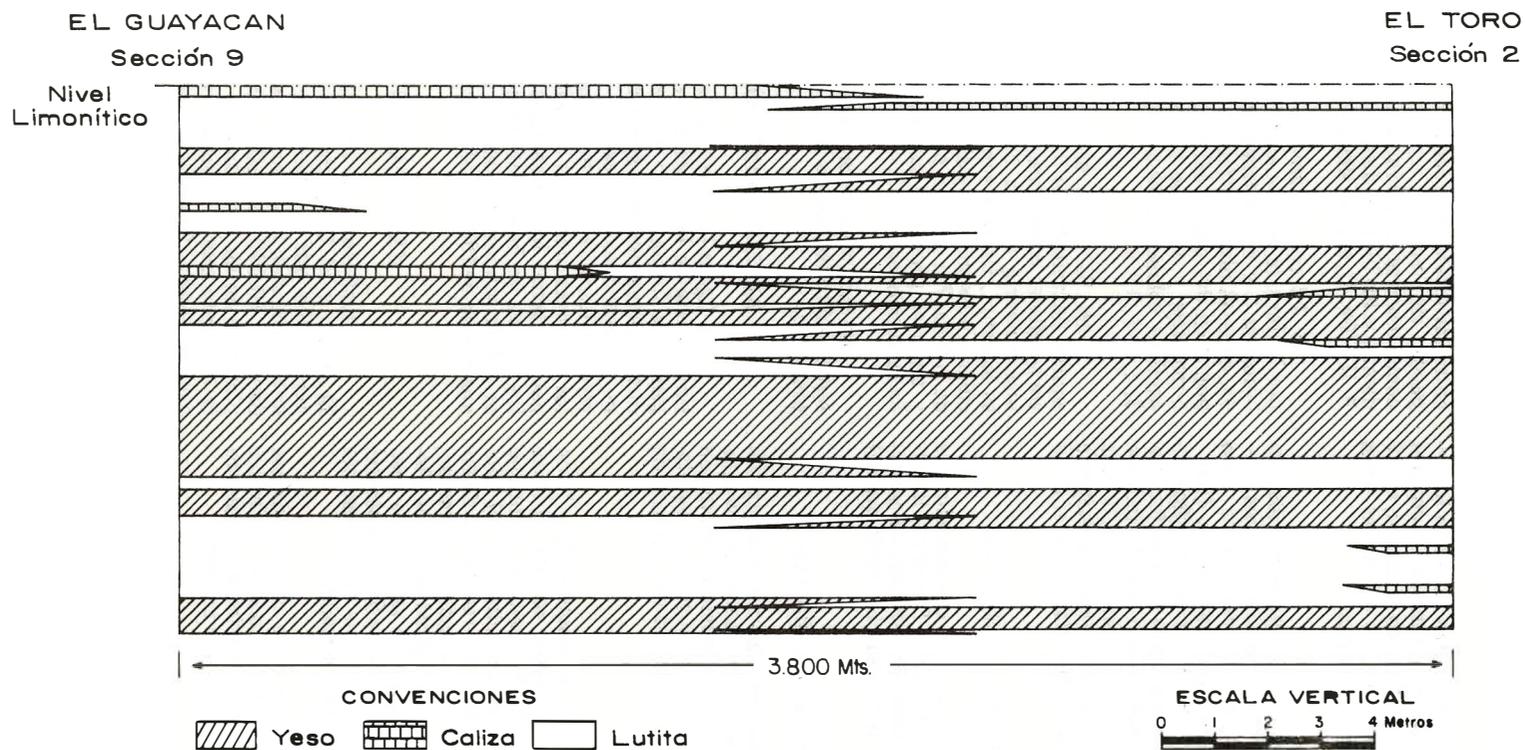


FIGURA: 3 Correlación de los niveles yesíferos, parte basal de la Formación Rosablanca, entre las secciones 9 y 2.

con lutitas y calizas dolomíticas, siendo el de mayor potencialidad económica y motivo de este estudio.

En la Tabla II, se han tabulado los resultados de los análisis químicos, efectuados por el Laboratorio Químico Nacional, de 59 muestras colectadas en los diferentes sitios donde se midieron las secciones.

Solo por vía de comparación nos permitimos presentar los porcentajes de los diferentes componentes del yeso. Yeso puro contiene 20.9 de agua combinada, 46.6 de  $\text{SO}_3$  y 32.5 de  $\text{CaO}$ . Las especificaciones estándar de la American Society for Testing Materials Designation C-22-50, impone un mínimo de 70 de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  para poder llamar un material yeso. La mayoría de los yesos comerciales están entre el 85 al 95 de pureza.

#### CALCULO DE RESERVAS

A tal efecto se han considerado tres tipos de reservas: Reservas Probadas, Reservas Indicadas y Reservas Inferidas de acuerdo con el grado de información geológica del yacimiento.

#### RESERVAS PROBADAS

Se calcularon en base a la información obtenida en el campo por medio del levantamiento de secciones columnares, medición de longitud de los afloramientos, y resultados de los análisis químicos de muestras de mineral colectados.

Se tomaron once bloques (fig. 4) con las siguientes dimensiones: espesor, el obtenido por la medición de la sección columnar del horizonte yesífero; longitud, la del afloramiento entre los puntos intermedios de cada sección columnar levantada; Penetración, la tercera parte de la longitud total del afloramiento. El porcentaje de mineral de yeso se calculó en base a la suma de los espesores de los bancos de mineral de yeso presentes en cada sección columnar medida.

El tenor promedio se calculó en base de los resultados de los análisis químicos haciendo el reparto proporcionar de acuerdo al área de influencia de cada muestra.

De esta manera se calcularon en total 1'637.371 toneladas de yeso, de las cuales, 888.073 toneladas corresponden al área de la mina El Toro; 17.555 toneladas al área de la mina El Diviso; 367.239 al área de la mina El Guayacán y 364.504 toneladas al área del lado oeste del Río Sogamoso entre el Río Suárez y la Quebrada La Vega.

#### RESERVAS INDICADAS

Por tratarse de un yacimiento de origen sedimentario y en base a la correlación entre las diferentes secciones columnares se puede, sin temor a mucho error, calcular como reservas indicadas aquellas correspondientes a los bloques distinguidos por B. I i y B. II i (fig. 4), con las siguientes dimensiones:

B. I i con un área de base delimitada por la línea de sección entre las secciones columnares 2 y 9 y la traza, expuesta o inferida, entre el nivel yesífero y la pendiente topográfica del cañón del río. Como espesor, porcentaje y tenor se promediaron los respectivos valores de las secciones columnares 3, 4, 5, 6, 8 y 9.

Para B. II i se tomo como área base aquella delimitada por la línea de sección entre secciones columnares 2 y 9, su paralela a una distancia igual a una tercera parte de su longitud. Hacia el sureste por la perpendicular al afloramiento y al noreste por la traza de la falla. Por espesor, porcentaje de mineral y tenor se promedió los respectivos valores de las secciones 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10 y 11.

De esta manera se calcularon unas Reservas Indicadas por un total de 49'691,273 toneladas.

#### RESERVAS INFERIDAS

La figura 5, en la cual se ha inferido el límite oeste de la cuenca de evaporación, sugiere una forma más o menos circular para dicha cuenca con radio aproximado de 3.000 m. Si suponemos un espesor promedio del nivel yesífero de 8,70 m calculado en base a los espesores medios en las diferentes secciones, así como los porcentajes de mineral y los tenores en base a los datos obtenidos, no es difícil suponer un cuerpo discoideo con una reserva de 182'532.552 toneladas de yeso.

#### EXPLOTACION

Actualmente las tres minas, El Toro, El Diviso y El Guayacán, se encuentran en explotación por el sistema de canteras, con una producción anual conjunta de aproximadamente 30.000 toneladas. El frente de explotación en las tres minas ha avanzado hasta tal punto que la minería por el sistema de cantera puede llegar a ser antieconómico, por tener que remover un gran volumen de material consolidado para destapar los bancos de yeso. Es de anotarse que la remoción de este material consolidado produciría pendientes negativas con el consecuente peligro de derrumbamientos, los cuales, a más de poner en grave peligro la vida de los obreros que operan en las minas, pueden causar gra-

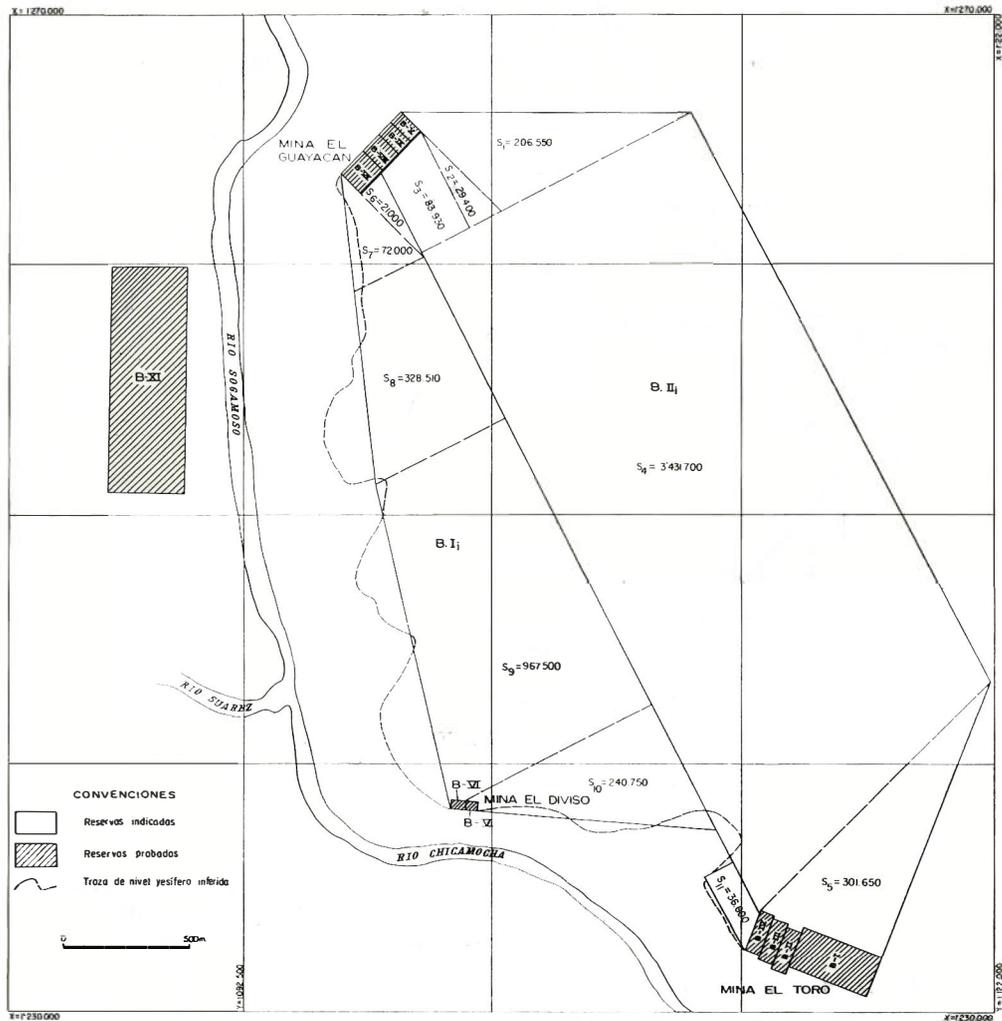


Figura 4 - Localización de los bloques utilizados en el cálculo de reservas probadas e indicadas

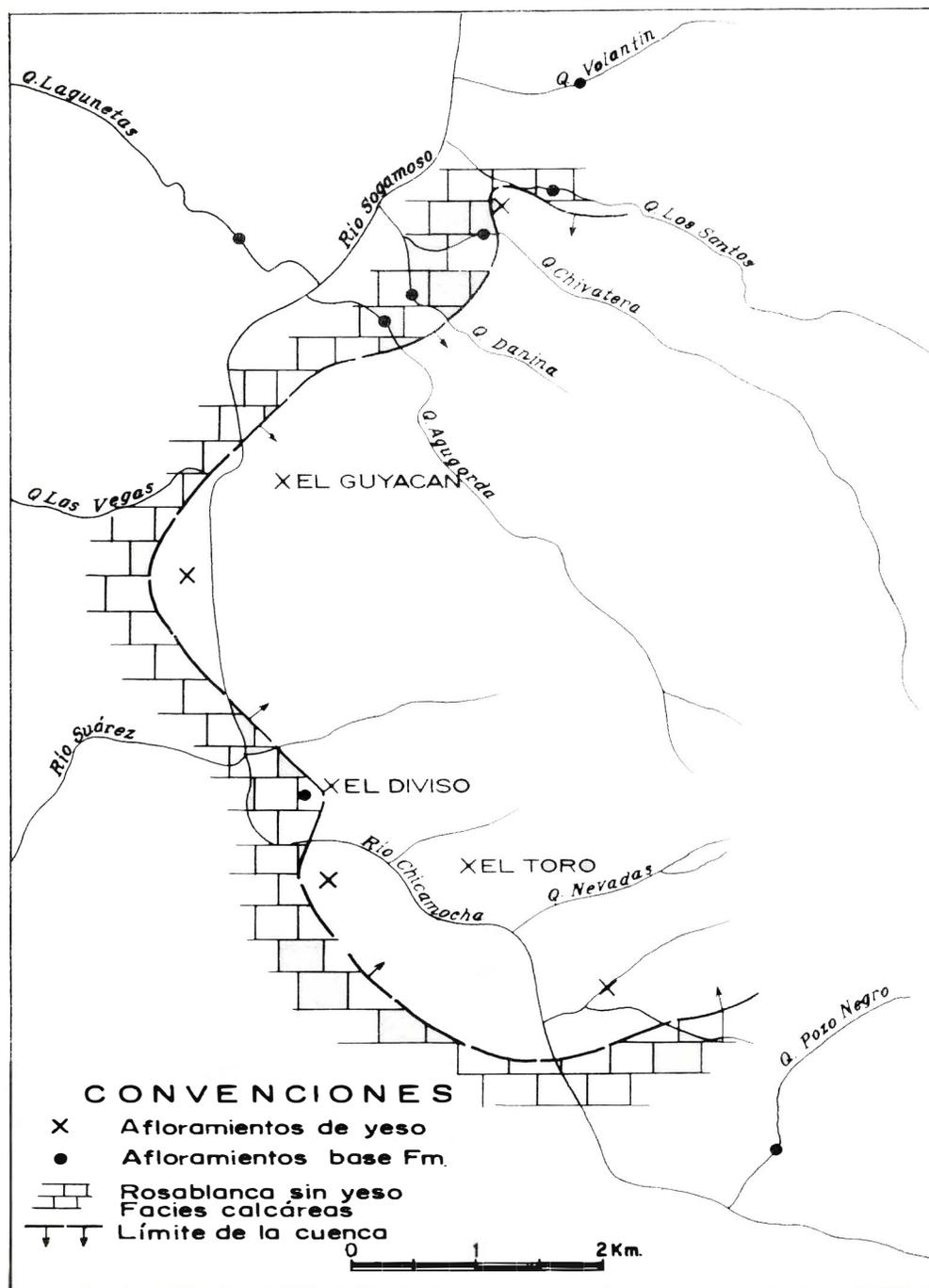


Figura 5: Límite oeste de la cuenca de evaporación

## RESERVAS PROBADAS

TABLA I

BLOQUE ≠	SECCION	AREA DE INFLUENCIA		VOLUMEN TOTAL (m <sup>3</sup> )	MINERAL DE YESO		VOLUMEN MINERAL	TONELAJE MINERAL	TENOR PRO CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	TONELAJE
		LONGITUD	PENETRACION		ESPEORES					
EL TORO										
I	13,88	270,00	170,00	637,092	6,39	46,03	293.253	645.157	77,23	498.254
II	11,31	107,50	170,00	206.686	6,19	54,73	113.119	248.862	86,04	214.121
III	9,19	61,00	170,00	95.285	4,66	50,70	48.309	106.280	77,89	82.781
IV	8,64	73,50	170,00	107.950	4,34	50,23	54.224	119.293	77,89	92.917
Total 888.073 T.										
EL DIVISO										
V	4,90	54,00	38,50	10.187	2,83	57,75	5.883	12.943	77,42	10.020
VI	3,61	61,50	38,50	8.547	1,75	48,47	4.143	9.114	82,68	7.535
Total 17.555 T.										
GUAYACAN										
VII	11,30	133,50	117,66	177.490	5,12	45,31	80.420	176.924	76,05	134.551
VIII	9,06	87,50	117,66	93.269	5,01	55,29	51.568	113.450	86,28	97.884
IX	6,25	78,00	117,66	57.371	4,11	65,76	37.719	82.982	89,60	74.352
X	9,03	54,00	117,66	57.371	5,42	60,02	34.434	75.755	79,11	60.452
Total 367.239 T.										
LADO OESTE										
XI	1,36	900,00	300,00	367.200	,86	63,23	232.180	510.796	71,36	364.504
Gran Total								2.101.556		1.637.371

## RESERVAS INDICADAS

TABLA II

BLOQUE ≠	ESPEJOR PROMEDIO	SUPERFICIE	VOLUMEN	% PROMEDIO MINERAL	VOLUMEN MINERAL	TONELAJE MINERAL	TENOR	TONELAJE YESO
B. II	9,83	4.053.230	39.843.250	53,50	21.316.138	46.895.503	81,10	38.032.253
B. III	7,78	1.666.360	12.964.280	51,29	6.649.379	14.628.633	79,70	11.659.020
TOTALES						61.524.136		49.691.273

## RESERVAS INFERIDAS

RADIO PROMEDIO								
3.000	8,70	28.274.400	245.987.280	53,42	131.406.405	289.094.091	80,89	233.848.210

$$\begin{aligned} \text{TOTAL RESERVAS INFERIDAS} &= 233.848.210 - (\text{RESERVAS INDICADAS} + \text{RESERVAS PROBADAS}) \\ &= 233.848.210 - 51.315.658 = 182.532.552 \text{ T.} \end{aligned}$$

CALCULO DE TENORES PROMEDIOS

TABLA III

SECCION 1			
PP = $\frac{\text{Espesor} \times T}{\sum \text{Espesores}}$			
# MUESTRA	ESPESOR	TENOR %	P.P
13209	.48	91.96	7.085
14208	.65	74.28	7.750
14207	.55	88.47	7.810
14206	2.44	81.12	31.771
14205	.73	53.88	6.409
14204	1.38	74.09	16.411
$\Sigma = 6.23$ T. Promedio = 77.236			
SECCION 3			
# MUESTRA	ESPESOR	TENOR %	P.P.
13931	.63	32.61	4.409
13930	.60	84.47	10.876
13929	.76	78.86	12.861
13928			
13926	.22	81.31	3.838
13921/24	2.02	90.37	39.173
13919	.43	72.99	6.735
$\Sigma = 4.66$ T. Promedio = 77.892			

SECCION 2			
# MUESTRA	ESPESOR	TENOR %	P.P.
14198	.62	79.89	8.002
14199	.86	88.73	12.327
14200	.70	72.99	8.254
14201	.84	91.35	12.396
14211	2.70	87.46	38.149
14210	.47	91.07	6.915
$\Sigma = 6.19$ T. Promedio = 86.043			
SECCION 5			
# MUESTRA	ESPESOR	TENOR %	P.P.
13941	1.17	89.47	36.989
13937	.23	69.29	5.631
13938/39	.58	69.74	14.293
$\Sigma = 2.83$ T. Promedio = 77.421			

Continuación Tabla III.

SECCION 6			
≠MUESTRA	ESPEJOR	TENOR %	P.P.
13935	.71	89.33	36.242
13933/34	1.04	78.14	46.437
$\Sigma = 1.75$ T.Promedio = 82.679			

SECCION 8			
≠MUESTRA	ESPEJOR	TENOR %	P.P.
13955	.50	83.12	8.117
13954	1.02	77.87	15.513
13953	2.44	81.85	39.007
13952	.40	44.61	3.485
13951	.46	87.18	7.832
13950	.30	35.86	2.101
$\Sigma = 5.12$ T.Promedio = 76.055			

SECCION 10			
≠MUESTRA	ESPEJOR	TENOR %	P.P.
13947	1.09	85.35	22.635
13948	.97	91.61	21.621
13949	2.05	90.92	45.349
$\Sigma = 4.11$ T. Promedio = 89.605			

SECCION 11			
≠MUESTRA	ESPEJOR	TENOR %	P.P.
13942	.23	90.53	3.842
13943	1.24	75.01	17.161
13944	2.12	78.92	30.869
13945	.83	87.76	13.439
13946	1.00	74.82	13.804
$\Sigma = 5.42$ T. Promedio = 79.115			

TABLA No. IV  
RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe No. 1578

MUESTRA No. INMINERO	HUMEDAD 45° C	PERDIDAS 45-230° C	PERDIDAS 230-900° C	R I en HC1	HIERRO en FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ALUMINIO en AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CALCIO en Ca O	MAGNESIO en Mg O	SULFATOS en S O <sub>3</sub>	SULFATOS en CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O
13.919	0.13	11.12	13.16	1.39	0.13	0.22	38.28	1.39	33.95	72.99
13.920	0.61	4.27	4.47	65.00	1.62	3.68	9.20	1.95	8.81	18.94
13.921	0.10	18.12	4.31	3.69	0.14	0.06	31.85	1.34	40.29	86.62
13.922	0.11	17.00	4.03	4.16	0.27	0.23	31.72	0.84	41.32	88.83
13.923	0.08	18.52	2.28	2.77	0.13	0.02	32.22	0.37	43.38	93.27
13.924	0.05	18.37	2.07	2.95	0.14	0.16	32.77	0.14	43.16	92.79
13.925	0.50	3.00	10.24	54.45	0.16	2.29	15.81	3.04	10.20	21.93
13.926	0.15	12.63	10.51	1.22	0.14	0.06	36.31	1.06	37.82	81.31
13.927	0.16	9.51	18.61	5.10	0.30	0.25	38.28	1.97	25.68	55.21
13.928	0.20	16.48	3.35	11.83	0.43	0.52	28.44	0.86	37.62	80.88
13.929	0.06	14.96	10.01	1.71	0.10	0.20	36.88	0.14	35.74	76.84
13.930	0.09	15.84	5.44	5.00	0.23	0.37	32.58	1.05	39.29	84.47
13.931	0.15	6.05	26.33	7.41	0.37	2.63	34.51	7.23	15.17	32.61
13.932	0.11	12.22	14.22	7.59	0.39	0.41	31.40	4.50	28.97	62.28
13.933	0.13	13.91	10.60	6.32	0.50	0.45	30.63	4.20	33.09	71.14
13.934	0.08	17.27	6.22	2.15	0.07	0.28	31.70	2.51	39.60	85.14
13.935	0.03	17.85	4.42	1.63	0.06	0.29	33.01	0.99	41.55	89.33
13.936	0.06	13.50	12.89	3.81	0.11	0.29	31.35	6.02	31.76	68.28
13.937	0.05	13.10	11.82	4.67	0.13	1.32	34.27	2.32	32.23	69.29
13.938	0.06	13.58	10.73	4.86	0.13	1.47	33.54	3.07	32.49	69.85
13.939	0.06	13.17	11.72	4.93	0.36	0.94	33.38	2.92	32.39	69.64
13.940	0.11	17.15	3.66	2.17	0.11	0.49	32.81	0.29	43.12	92.71
13.941	0.02	16.55	3.59	5.19	0.23	0.67	31.85	1.14	41.66	89.57
13.942	0.02	13.86	4.64	3.27	0.23	0.72	34.37	0.64	42.11	90.53
13.943	0.02	13.51	11.11	1.81	0.19	0.46	36.46	1.48	34.89	75.01
13.944	0.03	16.25	8.16	1.76	0.21	0.24	33.81	2.63	36.71	78.92
13.945	0.02	17.00	4.89	1.94	0.19	0.41	33.31	1.22	40.82	87.76
13.946	0.02	14.62	9.94	3.55	0.33	0.72	33.54	2.34	34.80	74.82
13.947	0.02	16.23	6.35	2.24	0.09	0.46	32.81	1.93	39.70	85.35
13.948	0.02	16.09	4.22	1.88	0.19	0.31	33.18	1.43	42.61	91.61
13.949	0.02	17.39	3.35	2.62	0.19	0.46	32.81	0.75	42.29	90.92

Continuación Tabla No. IV

MUESTRA No. INMINERO	HUMEDAD 45° C	PERDIDAS 45-230° C	PERDIDAS 230-900° C	R I en HC1	HIERRO en FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ALUMINIO en AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CALCIO en Ca O	MAGNESIO en Mg O	SULFATOS en S O <sub>3</sub>	SULFATOS en CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O
13.950	0.13	7.14	24.54	9.70	0.54	1.76	29.90	9.42	16.68	35.86
13.951	0.02	16.66	6.02	1.48	0.19	0.31	33.54	1.17	40.55	87.18
13.952	0.02	7.08	21.13	10.65	0.49	0.66	33.91	5.12	20.75	44.61
13.953	0.09	14.44	5.65	7.01	0.33	0.62	31.35	2.27	38.07	81.85
13.954	0.02	15.82	5.17	9.71	0.54	0.36	30.63	1.39	36.22	77.87
13.955	0.02	16.00	7.35	1.88	0.20	0.35	31.61	3.80	38.66	83.12
14.198	0.02	16.34	9.19	1.66	0.13	0.47	32.69	2.23	37.16	79.89
14.199	0.03	18.50	3.09	3.47	0.13	0.67	31.73	0.71	41.27	88.73
14.200	0.04	15.17	10.25	3.53	0.11	0.69	35.52	0.44	33.95	72.99
14.201	0.03	19.35	3.20	1.83	0.07	0.43	32.07	0.25	42.49	91.35
14.202	0.03	18.46	4.87	1.90	0.10	0.70	32.31	0.60	40.93	88.00
14.203	0.07	18.31	3.97	3.50	0.07	1.03	31.59	0.09	41.15	88.47
14.204	0.04	15.38	11.08	2.01	0.10	0.50	36.18	0.06	34.46	74.09
14.205	0.02	11.38	17.71	7.07	0.34	1.16	31.15	5.77	25.06	53.88
14.206	0.02	16.95	7.46	2.85	0.14	0.36	31.59	2.68	37.73	81.12
14.207	0.03	18.31	3.89	2.86	0.10	0.90	32.52	0.05	41.15	88.47
14.208	0.01	15.31	11.67	2.27	0.05	1.00	32.51	2.05	34.55	74.28
14.209	0.02	19.38	2.13	3.56	0.06	1.09	30.62	0.31	42.77	91.96
14.210	0.05	18.94	3.96	1.30	0.05	0.65	32.16	0.21	42.36	91.07
14.211	0.06	18.40	3.96	3.43	0.10	1.00	31.52	0.74	40.68	87.46
14.212	0.02	17.70	4.67	6.23	0.10	1.15	29.44	0.55	40.06	86.12
14.213	0.02	18.83	2.87	3.93	0.06	1.04	30.72	0.00	41.99	90.28
14.214	0.03	18.66	4.41	2.68	0.04	1.06	30.47	0.30	42.05	90.41
14.215	0.01	18.30	4.52	2.80	0.06	0.74	31.59	0.69	41.02	88.19
14.216	0.03	14.20	14.22	4.66	0.08	1.42	30.75	2.80	31.68	68.11
14.217	0.02	17.75	6.85	1.84	0.22	0.63	29.66	2.38	40.19	86.41
14.218	0.05	14.84	8.98	7.82	0.21	3.61	26.97	4.09	33.19	71.36
14.219	0.01	20.43	0.90	0.20	0.00	0.30	32.21	0.11	45.76	98.38

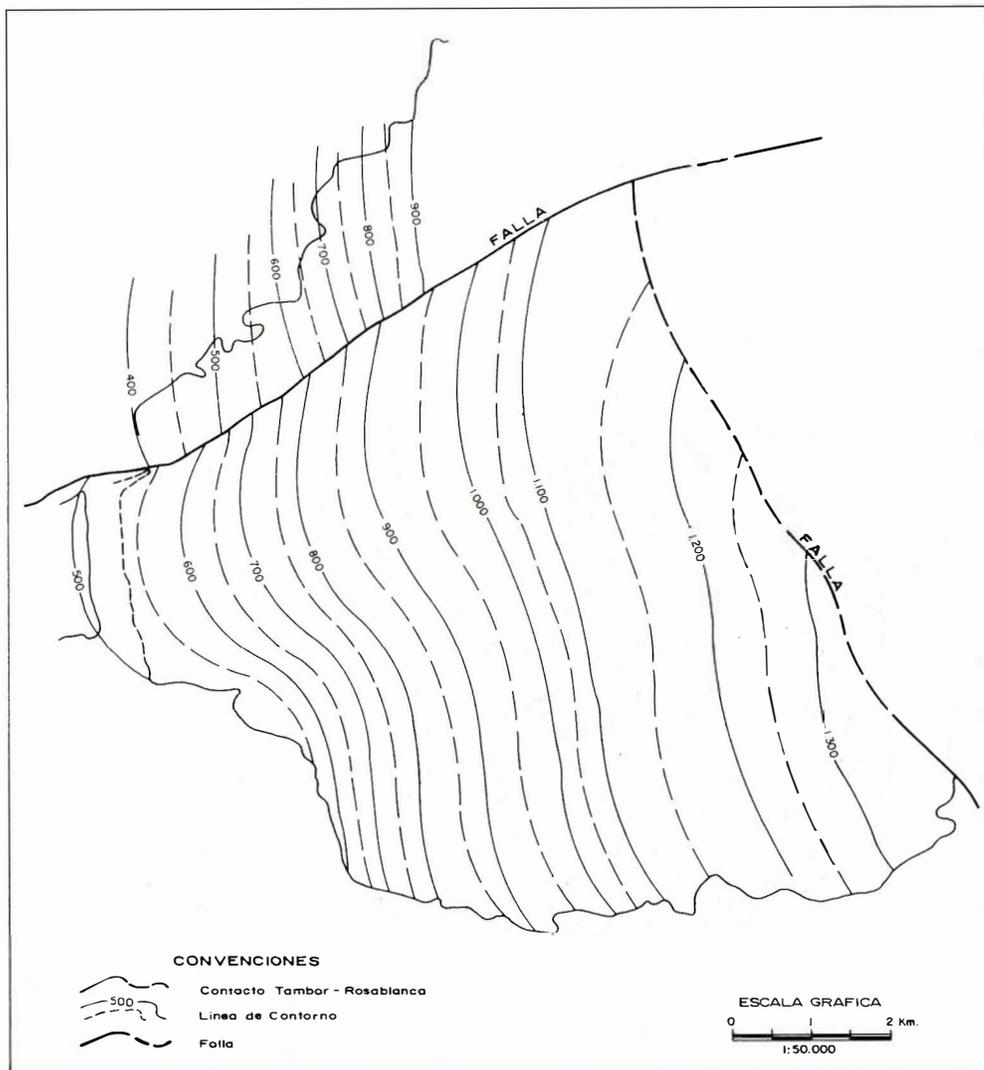


Figura 6 - Contorno estructural de la base de la Formación Rosablanca, con base a la cartografía del contacto Tambor/Rosablanca.



**Figura 7 - Mapa Isócoro de la base de la Formación Rosablanca a la superficie topográfica.**

ves perjuicios en la futura explotación técnica de estos yacimientos, ya que para reiniciar la producción tendría que removerse enormes volúmenes de material no consolidado producto del derrumbe, para poder llegar de nuevo al frente de explotación.

### CONCLUSIONES

En base a las fuertes indicaciones de la existencia, en esta área de un depósito de mineral de yeso de buena calidad, de dimensiones considerables para su explotación económica, se recomienda continuar con un programa encaminado a elevar el tonelaje de reservas probadas, bien sea por medio de perforaciones con taladro o por medio de túneles de exploración.

La perforación con taladro, encuentra el inconveniente de la carencia de agua en la región, la cual tendría que ser llevada en carrotaques, posiblemente desde Los Curos, aproximadamente a 40 km de distancia. La profundidad de perforación, de acuerdo al mapa isocoro presentado en la figura 8, sería del orden de 225 a 250 m en el punto más favorable P. Una perforación en este sitio, a más de estar localizado a pocos metros del carreteable que lleva a la mina El Diviso, daría información adicional para comprobar la correlación entre las secciones 2 y 9 (fig.3),

por pasar la línea de correlación, por este punto. En otros posibles sitios de perforación la profundidad a que tendría que llegarse oscila entre los 250 y 300 m y la accesibilidad para el equipo de perforación se presenta más complicada. Hacia el lado este de la cuenca yesífera, debido al buzamiento general hacia el oeste de los estratos, el mapa isocoro muestra profundidades del contacto Rosablanca - Tambor menores a 50 m y aún llega a mostrarse una curva isocora O. No quiere decir esto que este contacto esté aflorando a lo largo de esta línea sino que puede estar cubierta por una sobrecarga de Cuaternario, como en realidad lo es, de unos pocos metros de espesor.

El tipo de roca que tendría que perforarse sería calizas masivas de la Formación Rosablanca y en algunos otros sitios parte de las lutitas de la Formación La Paja.

El programa de túneles exploratorios muestra mejores perspectivas desde el punto de vista económico si se llegare a contar con la colaboración de los actuales explotadores de las minas. De esta manera, el costo de los túneles exploratorios se compensaría con el beneficio del mineral extraído durante su desarrollo. Claro está que este sistema, el de túneles, implicaría un período de tiempo mucho más largo para llegar al objetivo propuesto de probar reservas.

### BIBLIOGRAFIA

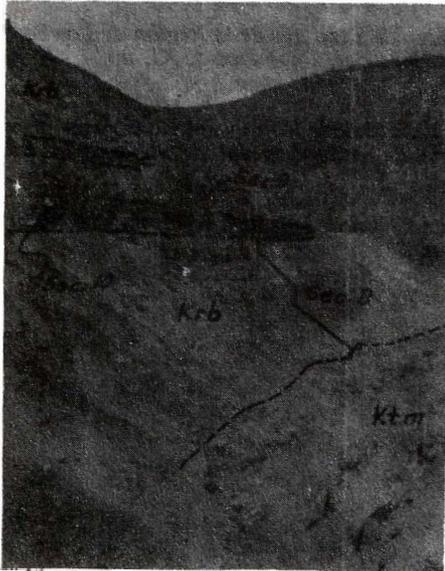
- Jimeno, V. A. y Yepes, J., 1963, Estudio de las Reservas Yesíferas de la Región de Los Santos - Batán - Villanueva: Serv. Geol. Nal., Bol. Geológico v. XI, no. 1 - 3, p. 261 - 286.*
- Julivert, I. Z., de 1963, Estudio Petrográfico de las Calizas de la Formación Rosablanca de la Región de Los Santos: Univ. Industrial de Santander, Bol. de Geología no.15, p. 5 - 34.*
- Seeley, W., Mudd Series, 1960, Industrial Mineral and Rocks: Am. Inst. of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, 934 p.*

\* \* \*

**Foto No. 1**

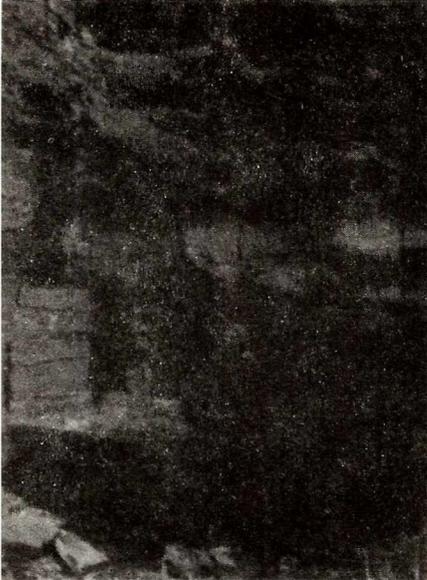
Aspecto del Cañón del Río Chicomocha en los alrededores de la mina El Toro.

Ktm = Formación Tambor.  
Krb = Formación Rosablanca.

**Foto No. 2.**

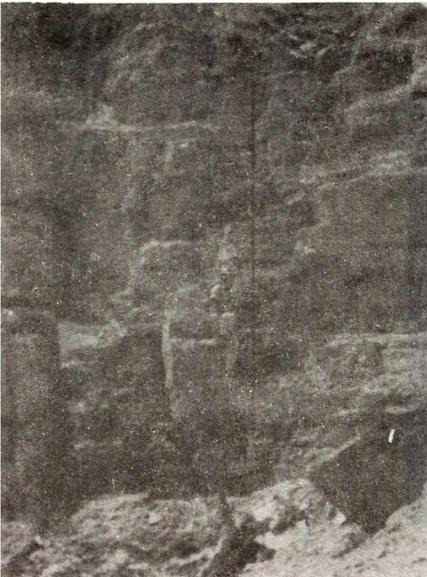
Aspecto Mina Guayacán secciones 8, 9 y 10.

c = Calizas con chert en su parte basal.  
Gy = Zona yesífera en explotación.  
Krb = Formación Rosablanca.  
Ftm = Formación Tambor.



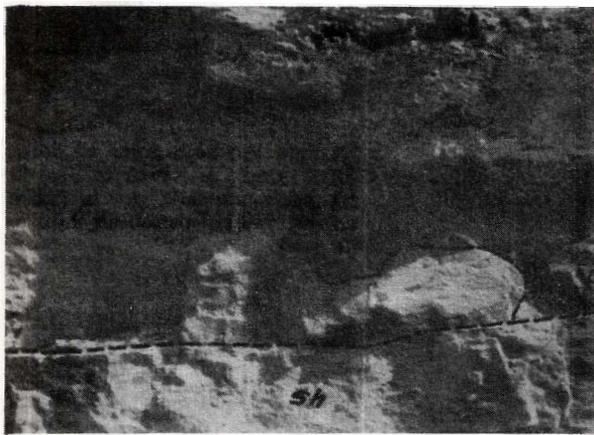
**Foto No. 3.**

Explotación de la mina El Toro. Sitio donde se levató la Sec. 3. La parte indicada por la figura corresponde al banco de 2.00 m de yeso.



**Foto No. 4.**

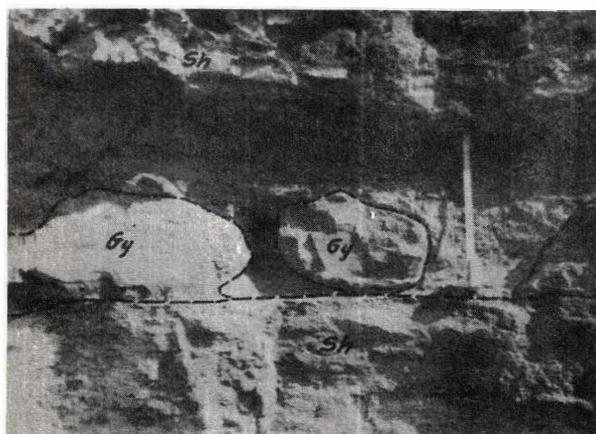
Aspecto de la zona explotable en la mina El Toro de yeso en la Sec. 4.

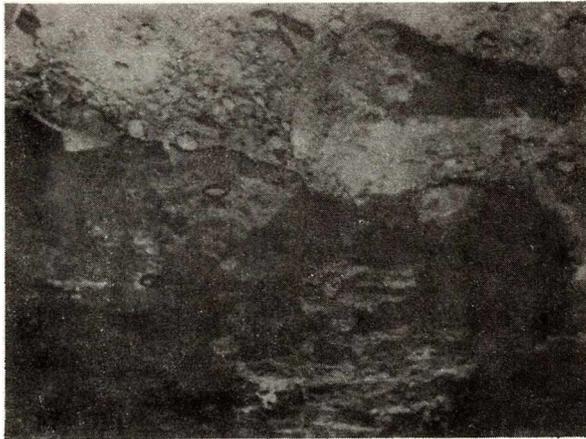
**Fotos Nos. 5 y 6.**

Canal de erosión en la Sección  
6. Mina El Diviso.

El flexómetro nos da la escala  
y marca 30 m.

Sh = Shale.  
Gy = Yeso.





**Foto No. 7.**

Pequeño canal de erosión en El Diviso.

Las pequeñas partes encerradas corresponden a guijarros de yeso englobados en una matriz arcillo-arenosa fina.

Sh = Shale.

Gy = Yeso.



**Foto No. 8.**

La fotografía adjunta muestra variación lateral en espesor de un shale calcáreo. El flexómetro marca 30 cm.

FORMACION	Muestra No. Inmóvil	S O <sub>3</sub> (%)	SECUENCIA LITOLÓGICA	Espesor Mts.	DESCRIPCION MACROSCOPICA	S O <sub>3</sub> (%)
ROSABLANCA	14209	50 40 30 20 10 0		.48	Yeso gris, con abundante arcilla	42.77
				.20	Shale calcáreo, gris negro	
				.06	Shale ilmonítico	
	14208	50 40 30 20 10 0		1.20	Shale calcáreo, gris negro. Yeso en laminillas	34.55
				.65	Yeso gris negro	
	14207	50 40 30 20 10 0		.53	Arcillolita calcárea, gris parda, con yeso fibroso en diaclasas	41.15
				.60	Shale calcáreo, gris negro. Yeso en laminillas	
				.55	Yeso gris negro	
	14206	50 40 30 20 10 0		.26	Shale calcáreo, gris negro, abundante yeso en laminillas	37.73
				.16	Yeso gris negro	
				1.00	Shale calcáreo, gris negro, abundante yeso	
				2.10	Yeso gris negro, ligeramente arcilloso	
				.36	Shale calcáreo, gris negro	
	14205	50 40 30 20 10 0		.34	Yeso gris negro	25.06
				.10	Shale calcáreo, gris negro	
				.60	Shale con abundante yeso en laminillas	
				.91	Shale calcáreo, gris negro. Variación lateral a caliza, grano fino, gris negra.	
	14204	50 40 30 20 10 0		.73	Yeso gris negro, arcilloso hacia la base	34.46
1.67				Shale calcáreo, gris negro, escaso yeso en laminillas		
14202	50 40 30 20 10 0		1.38	Yeso gris negro, con síale interestratificado y yeso fibroso. Los 50 cm del tope son yeso masivo	40.93	
			.30	Shale ligeramente calcáreo, gris negro, con abundante yeso en laminillas		
14203	50 40 30 20 10 0		.75	Shale ligeramente calcáreo, gris pardo, con abundante yeso en laminillas que hacia el tope pasa a yeso gris negro masivo (5cm)	41.15	
			.73	Shale gris negro, con yeso en laminillas, hacia la base se hace arenoso con manchas amarillentas (56 cm basales)		
			.50	Shale ligeramente calcáreo, gris negro, abundante yeso gris hacia el tope		
			.30	Shale calcáreo, gris negro, con abundante yeso en laminillas		
			.72	Shale calcáreo Yeso en laminillas y diaclasas		
			.18	Arcillolita calcárea, arenosa, gris parda		
			.55	Arcillolita calcárea, gris parda con pequeños guijos de yeso. Los 24 cm del tope presentan yeso en laminillas		
.36	Shale calcáreo, gris negro con escaso yeso en laminillas					
.28	Caliza grano fino, gris negra, delgadamente estratificada					



PLANCHA II. SECCION I: Secciones columnares de los yesos, en la parte basal de la formación Rosablanca (Municipio de Los Santos, Santander).

FORMACION	Muestra No. Inminero	SO <sub>3</sub> (%)					SECUENCIA LITOLOGICA	Espesor Mts.	DESCRIPCION MACROSCOPICA	SO <sub>3</sub> (%)
		50	40	30	20	10				
RO SABLANCA	14198						.62	Yeso gris claro a negro, arcilloso	37.16	
							.33	Shale calcáreo gris negro. Yeso en laminillas		
	14199						.05	Shale limonítico con yeso fibroso	41.27	
							.36	Shale calcáreo, gris negro a pardo. Yeso en laminillas		
							.10	Caliza grano fino, gris negra		
							.65	Shale calcáreo, gris negro a pardo, localmente arenoso. Lentes de caliza fina gris negra		
							.86	Yeso gris negro, arcilloso, aumentando la arcilla hacia el tope		
	14200						.50	Shale calcáreo, con abundante yeso en laminillas	33.95	
							.10	Arcillolita gris parda, calcárea, con guijos de yeso 02 cm de yeso fibroso al tope		
							.43	Shale calcáreo, gris pardo. Yeso en laminillas		
	14201						.70	Yeso gris negro, con delgadas intercalaciones de shale calcáreo, gris negro.	42.49	
							.12	Shale calcáreo, gris negro. Yeso en laminillas		
	14211						.10	Caliza grano fino, gris negra	40.68	
							.84	Yeso gris negro		
	14210						.36	Shale gris negro, calcáreo, abundante yeso en laminillas. 14 cm de caliza grano fino, gris negro en el tope	42.30	
							2.00	Yeso gris negro, con delgadas intercalaciones arcillosas		
							.52	Shale gris negro, calcáreo. Yeso en laminillas		
.70							Yeso gris negro			
1.50							Shale gris negro, calcáreo, con intercalaciones de caliza			
.47							Yeso gris claro			
.96							Shale calcáreo, gris pardo, abundante yeso gris interestratificado			
.26	Shale calcáreo, gris negro.									
.77	Shale ligeramente calcáreo, gris pardo, abundante yeso gris interestratificado									
.16	Shale ligeramente calcáreo, gris negro a pardo									
.56	Arenisca grano fino, gris, manchas amarillentas, ferruginosas									



Yeso



Caliza



Arenisca



Shale arenoso calcáreo.



Shale



Shale Calcáreo



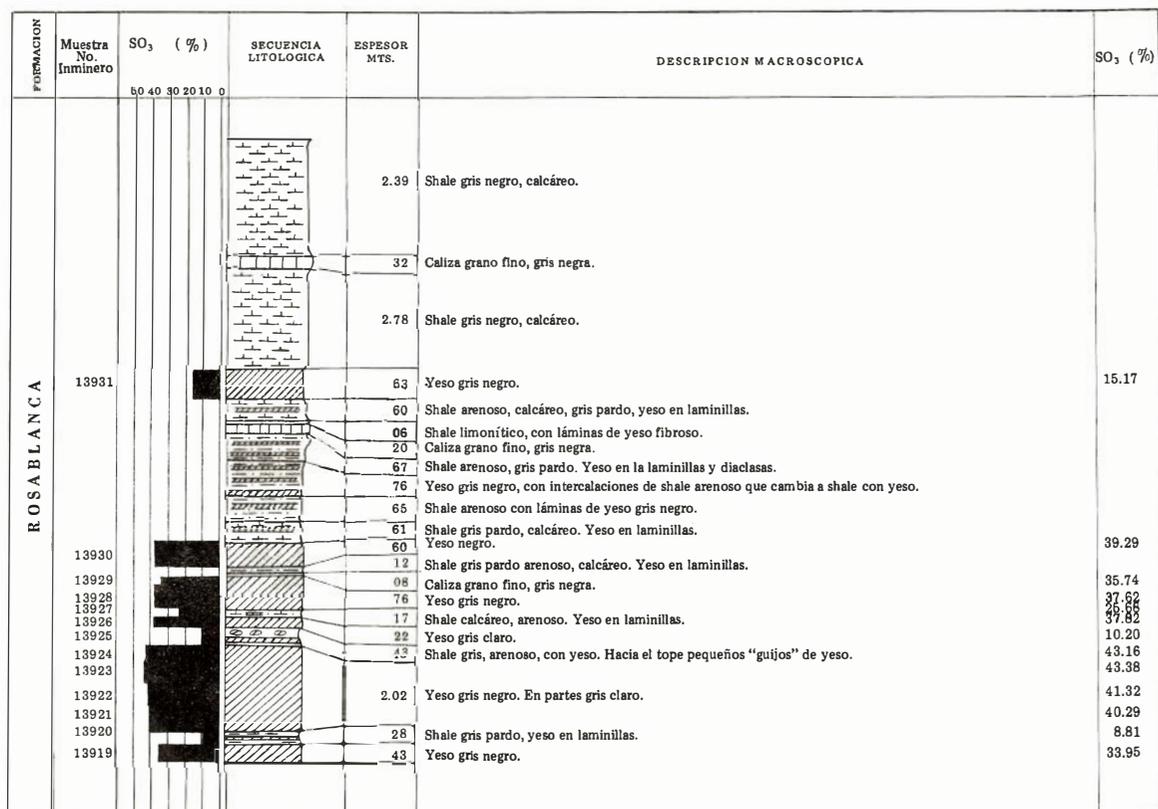
Shale arenoso



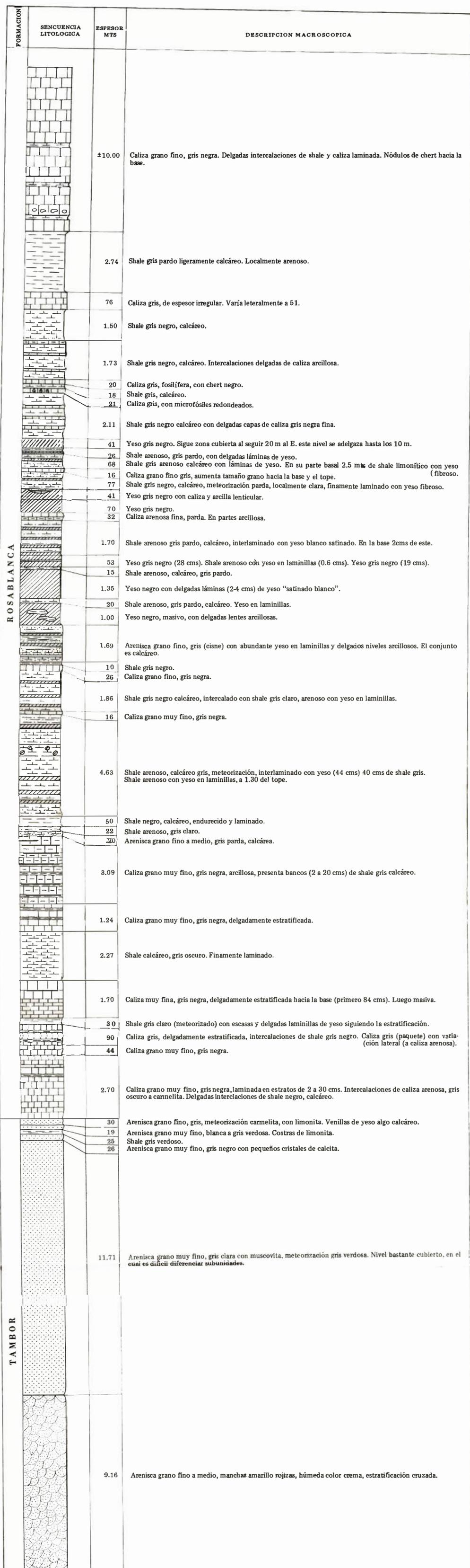
Arenisca con estratificación cruzada

PLANCHA II. SECCION 2: Secciones columnares de los yesos, en la parte basal de la formación Rosablanca (Municipio de Los Santos, Santander).

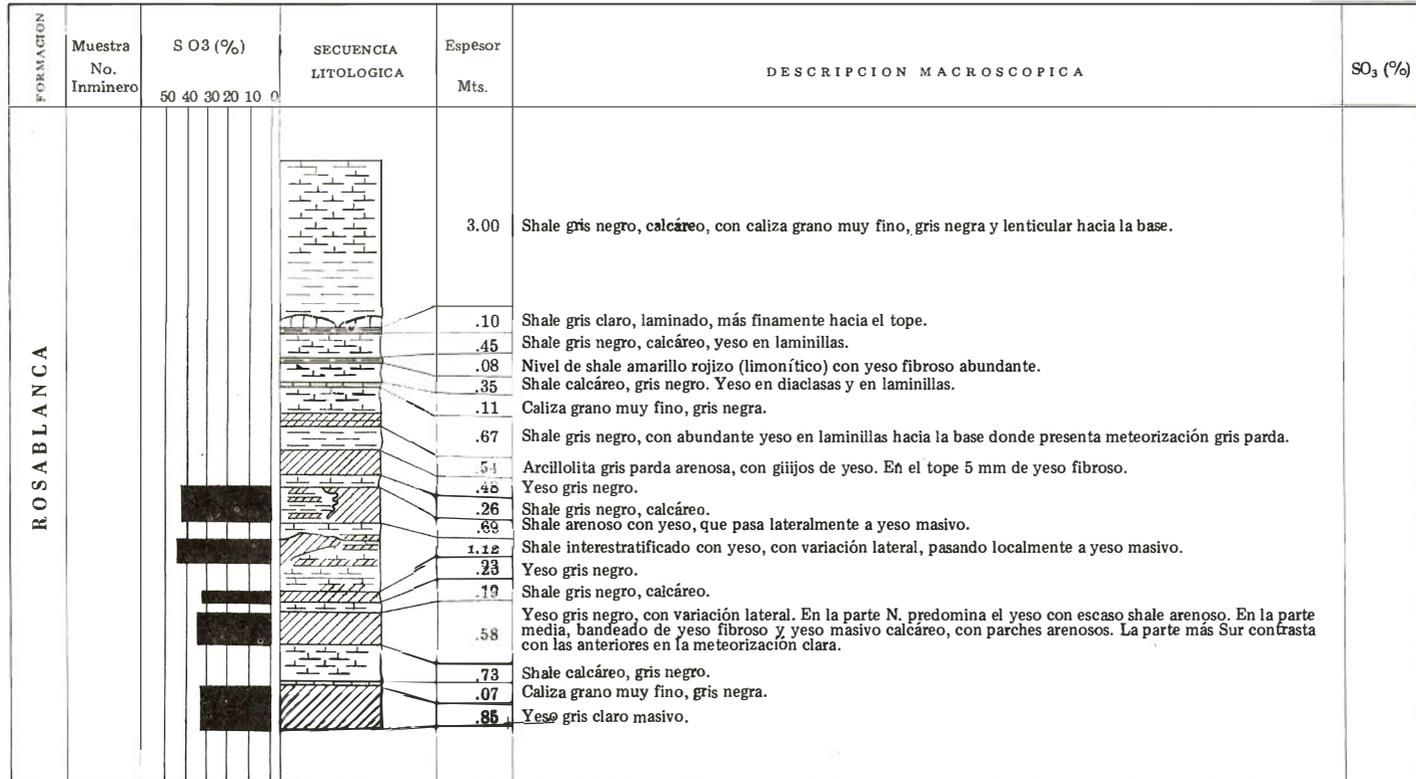
SECCION No. 3



PLANCHA III. SECCION 3: Secciones columnares de los yesos en la parte basal de la formación Rosablanca (Municipio de Los Santos, Santander).



PLANCHA III. SECCION 4: Secciones columnares de los yesos en la parte basal de la formación Rosablanca (Municipio de Los Santos, Santander).



Yeso



Caliza



Arenisca



Arenisca con estratificación cruzada



Shale



Shale calcáreo



Shale arenoso

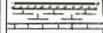
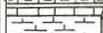
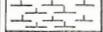
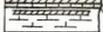
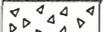


Shale arenoso Calcáreo

PLANCHA IV. SECCION 5: Secciones columnares de los yesos en la parte basal de la formación Rosablanca (Municipio de Los Santos, Santander).

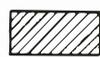
FORMACION	Muestra No. Inminero	SO <sub>3</sub> (%)					SECUENCIA LITOLOGICA	ESPESOR MTS.	DESCRIPCION MACROSCOPICA	SO <sub>3</sub> (%)	
		50	40	30	20	10					
ROSABLANCA	14217							.20	Shale calcáreo, gris pardo.	40.19	
								.05	Shale limonítico.		
								.05	Shale calcáreo, gris pardo.		
								.15	Caliza arcillosa.		
								1.00	Shale arenoso, gris pardo.		
								.50	Yeso con delgadas intercalaciones arcillosas.		
								.53	Arcillolita calcárea, gris parda, con guijos de yeso.		
								.12	Caliza gris negra, arcillosa, con 0.5 cm de yeso fibroso en la base.		
		14216						.48	Shale arenoso, calcáreo, yeso en laminillas.		31.68
								.64	Yeso gris negro con delgadas intercalaciones de shale.		
		14215						.18	Caliza gris negra, con microfósiles redondeados.		41.02
								.50	Yeso gris negro.		
								.13	Shale calcáreo, gris negro. Yeso en laminillas.		
								.24	Yeso gris negro.		
						.63	Shale calcáreo, gris negro, con caliza grano fino, gris negra. Yeso gris aparece localmente.				
						.24	Shale arenoso, ligeramente calcáreo, gris pardo.				
14214						2.00	Yeso gris negro con delgadas intercalaciones arcillosas.	42.05			
						.22	Shale calcáreo, ligeramente arenoso, gris pardo. Yeso fibroso en diaclasas.				
14213						.50	Yeso gris negro o claro.	41.99			
						.33	Shale calcáreo, gris negro, arenoso hacia el tope.				
						.44	Shale gris pardo. Poco fisil, con yeso en laminillas y en guijos. En el tope laminillas de yeso fibroso.				
						.75	Shale gris pardo, con yeso. Hacia el tope y base delgados bancos de caliza, grano fino gris negra.				
14212						.63	Yeso gris negro.	40.06			
							◁ ▷ ▷ ▷ ▷ ▷ ▷	Zona cubierta			

PLANCHA V. SECCION 9. : Secciones columnares de los yesos en la parte basal de la formación Rosablanca (Municipio de Los Santos, Santander).

FORMACION	Muestra No. Inminero	SO <sub>3</sub> (%)					SECUENCIA LITOLOGICA	ESPESOR MTS.	DESCRIPCION MACROSCOPICA	SO <sub>3</sub> (%)
		50	40	30	20	10				
ROSABLANCA	13947							.80	Shale calcáreo, gris negro. Yeso en laminillas y diaclasas.	39.70
								.10	Caliza grano fino, gris negra, con shale calcáreo.	
								.52	Shale arenoso, gris pardo bandeado. Franjas grises más oscuras con yeso abundante. Yeso fibroso siguiendo la estratificación y en diaclasas.	
								.09	Shale calcáreo, gris negro. Yeso en laminillas.	
								.19	Caliza arcillosa, gris parda, dura.	
								.04	Shale limonítico, con yeso fibroso.	
								.16	Caliza grano fino, gris negra, hacia el tope arcillosa y de color gris pardo.	
								1.21	Shale calcáreo, gris negro a pardo. Yeso en laminillas y diaclasas. Los 35 cm basales presentan mayor abundancia en yeso.	
								1.09	Yeso gris negro. Laminillas de yeso blanco fibroso. En la base lámina de 3 cm. Intercalaciones calcáreas delgadas, lenticulares.	
								.08	Caliza grano fino, gris negra.	
								.52	Shale calcáreo, gris negro. Yeso en laminillas abundantes hacia el tope. Meteorización carmelita parda. Yeso fibroso en diaclasas.	
								.64	Yeso gris negro.	
								.58	Caliza gris negro con fósiles.	
								.33	Yeso gris negro.	
								.71	Shale calcáreo, gris negro, caliza grano fino, gris negra. Yeso en laminillas.	
						.25	Shale arenoso, gris pardo. Yeso en laminillas.			
						2.05	Yeso gris negro.			
										

PLANCHA V. SECCION 10.: Secciones columnares de los yesos en la parte basal de la formación Rosablanca (Municipio de Los Santos, Santander).

Formación	SECUENCIA LITOLÓGICA	ESPESOR MTS.	DESCRIPCION MACROSCOPICA
ROSABLANCA			
		74	Shale calcáreo, gris negro.
		31	Shale arenoso, calcáreo, gris pardo.
		34	Arcillolita calcárea gris parda. Yeso fibroso en laminillas que aumenta hacia la base.
		40	Yeso gris negro, arcilloso.
		57	Shale calcáreo, gris negro a pardo.
		40	Shale calcáreo, gris pardo con caliza grano fino, gris negra.
		1.00	Shale calcáreo, gris negro a pardo, localmente arenoso
		23	Caliza grano fino, gris negra.
		82	Shale calcáreo, gris negro.
		29	Arenisca grano muy fino, arcillosa, calcárea, gris, meteorización carmelita parda.
		30	Arcillolita calcárea, gris, con escaso yeso en laminillas.



Yeso



Caliza



Arenisca



Arenisca con Estratificación cruzada



Shale



Shale calcáreo



Shale arenoso



Shale arenoso calcáreo

PLANCHA VI. SECCION 14: MORRO GRANDE.- Secciones preliminares de los yesos, en la parte basal de la formación Rosablanca (Municipio Los Santos, Santander).

FORMACION	Muestra No. Inminero	SO <sub>3</sub> (%)					SECUENCIA LITOLOGICA	ESPESOR MTS.	DESCRIPCION MACROSCOPICA	SO <sub>3</sub> (%)
		50	40	30	20	10				
ROSABLANCA	14218							.50	Arcilloлита gris parda, con yeso en laminillas.	33.19
								.22	Shale calcáreo, gris negro.	
								.06	Shale limonítico.	
								7.00	Zona bastante cubierta, se observan delgados bancos de caliza y shale calcáreo gris negro.	
								.56	Yeso gris negro.	
								.50	Shale calcáreo, con yeso en laminillas.	
								.30	Yeso gris claro.	
								.60	Shale con abundante yeso en laminillas.	
								.60	Arenisca grano muy fino, gris.	
								.40	Shale arenoso, gris.	



Yeso



Caliza



Arenisca



Arenisca con Estratificación cruzada



Shale



Shale calcáreo

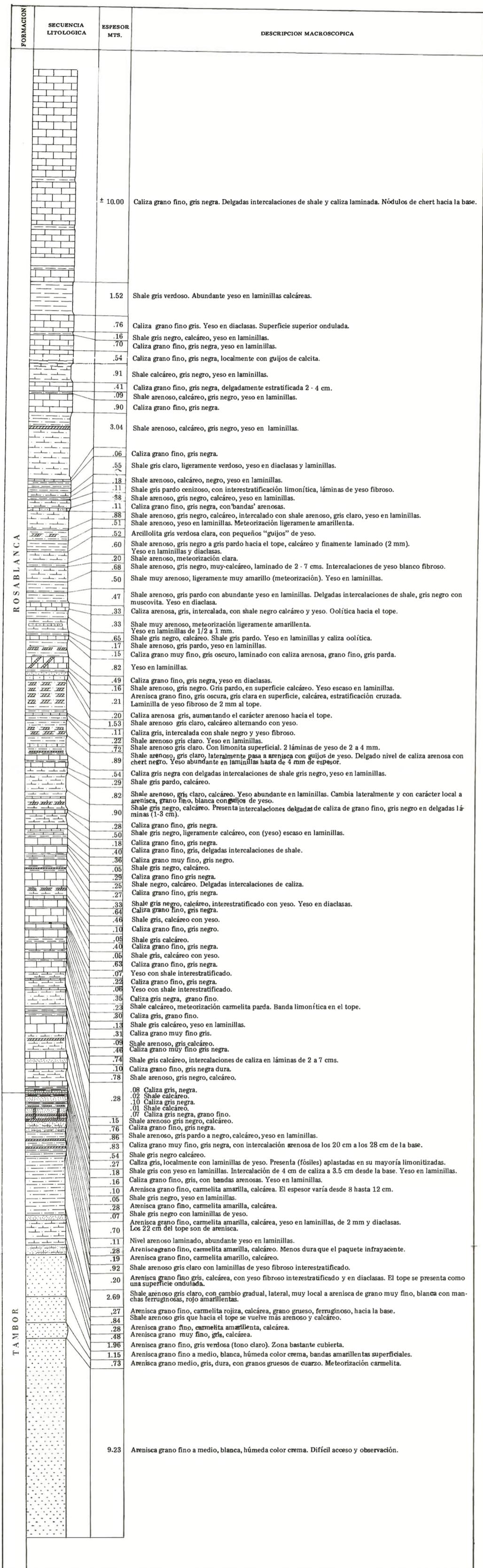


Shale arenoso



Shale arenoso calcáreo

PLANCHA VI. SECCION 15: MARGEN IZQUIERDA RIO SOGAMOSO.- Secciones preliminares de los yesos, en la parte basal de la formación Rosablanca (Municipio de Los Santos, Santander).



PLANCHA IV: SECCION 7.- Secciones columnares de los yesos en la parte basal de la Formación Rosablanca (Municipio de Los Santos, Santander).