

## ROCA FOSFORICA DE SARDINATA

PEDRO E. MOJICA<sup>1</sup>

### CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN . . . . .	156
ABSTRACT . . . . .	156
1. INTRODUCCION . . . . .	156
1.1. LOCALIZACION . . . . .	158
1.2. ANTECEDENTES . . . . .	158
1.3. TRABAJOS ANTERIORES . . . . .	159
2. GEOLOGIA . . . . .	159
2.1. ESTRATIGRAFIA . . . . .	159
2.1.1. FORMACION COGOLLO . . . . .	159
2.1.2. FORMACION LA LUNA . . . . .	159
2.1.3. FORMACION COLON . . . . .	162
2.2. HISTORIA GEOLOGICA . . . . .	162
3. ROCA FOSFORICA . . . . .	163
3.1. APATITO . . . . .	163
3.2. SILICE - CUARZO . . . . .	163
3.3. CALCITA . . . . .	163
3.4. ARCILLAS . . . . .	163
3.5. MATERIA ORGANICA . . . . .	164
3.6. OTROS MINERALES . . . . .	164
3.7. ELEMENTOS TRAZA . . . . .	164
3.8. COMPOSICION QUIMICA . . . . .	165
3.8.1. RELACIONES COMPOSICIONALES . . . . .	165
3.8.1.1. Relación $CaO/P_2O_5$ . . . . .	165
3.8.1.2. Relación $F/P_2O_5$ . . . . .	165
3.8.1.3. Relación $SiO_2/P_2O_5$ . . . . .	165
3.8.1.4. Relación Cobertura/Meteorización . . . . .	172
3.8.1.5. Relación $CaO/P_2O_5$ . . . . .	173
3.8.1.6. Relación $Al_2O_3/CaO$ . . . . .	173
3.8.1.7. Relación $Al_2O_3/P_2O_5$ . . . . .	173
3.9. RESERVAS . . . . .	174
3.10. BENEFICIO . . . . .	176
4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS . . . . .	176

1) Ingeominas

## RESUMEN

*En un área cerca a Sardinata, Departamento de Norte de Santander, la capa fosfórica principal de la Formación Luna varía desde 0,5 a 3,5 metros de espesor; es relativamente plana y está cubierta por una cobertera delgada. En esta área de unos 10 km<sup>2</sup>, esta capa puede ser explotada por métodos de minería a cielo abierto.*

*El área fue prospectada mediante cartografía, trincheras y perforaciones. Las reservas se dividen en dos categorías basadas en el espesor de la cobertera: las reservas donde la cobertera tiene un espesor menor de 12 metros, con 5 millones de toneladas y donde la cobertera es mayor de 12 metros, con un cálculo de 4.3 millones adicionales.*

*La fosforita meteorizada (básicamente aquel material cubierto por coberteras menores de 12 metros), está compuesta principalmente de apatito y cuarzo y tiene un alto contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (el máximo es de 37.5 %). La fosforita no meteorizada contiene calcita como un componente mineral adicional (máximo 38 %) y por lo tanto el contenido en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> es menor que en la roca meteorizada.*

## ABSTRACT

*In an area near Sardinata, Departamento de Norte de Santander, the main phosphatic bed of the La Luna Formation ranges from 0,5 to 3,5 meters in thickness, is relatively flat-lying, and is covered by thin overburden. In this area of 10 square kilometers, the bed probably can be mined by open pit methods.*

*The area was prospected by drilling and trenching. Reserves are divided into two categories, based on thickness of overburden. Reserves where the overburden thickness is less than 12 meters are 5 million tons, and areas where the overburden is more than 12 meters thick contain an additional 4.3 million tons.*

*Weathered phosphorite, basically that material covered by less than 12 meters of overburden, is composed principally of apatite and quartz, and is high in P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content (maximun 37.5 percent). Unweathered phosphorite contains calcite as an additional major mineral phase (maximun 38 percent calcite), and therefore, the P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> contain is less than in the weathered rock.*

## 1. INTRODUCCION

## 1.1. LOCALIZACION

El yacimiento de roca fosfórica de Sardinata está localizado al noroeste de la ciudad de Cúcuta, en el Departamento de Norte de Santander (Fig. 1).

El acceso al yacimiento se logra por carretera asfaltada en su mayor parte. Dista de Cúcuta unos 50 km que se recorren en una hora corta.

Las vías de comunicación dentro del departamento son carreteras macadamizadas de capacidad mediana, excepto la panamericana, que comunica a este departamento con el interior del país y con Venezuela. Otra vía de interés es la carretera Sardinata-Ocaña que comunica el yacimiento con el ferrocarril del Atlántico y el Río Magdalena.

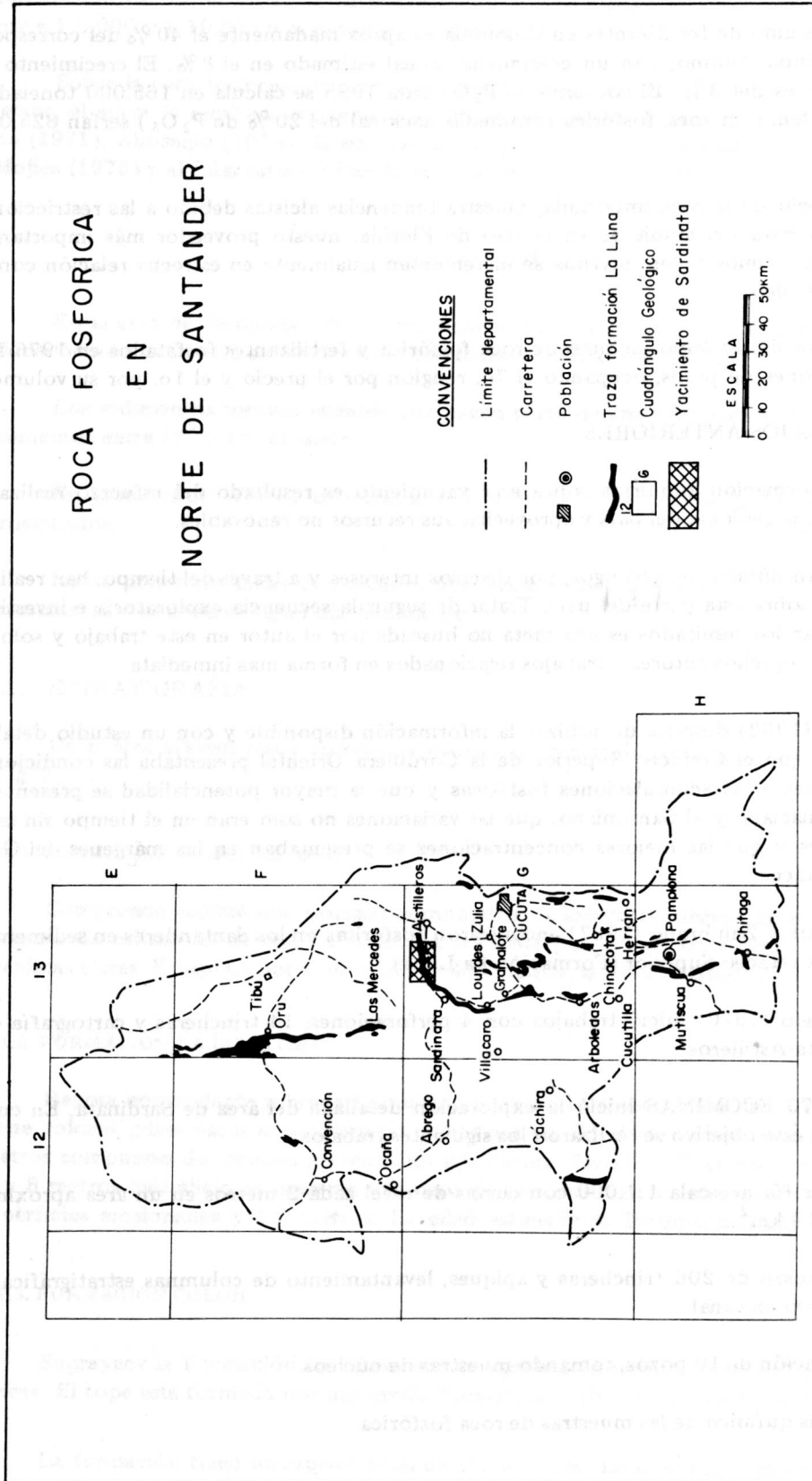


FIG. 1: Localización del yacimiento de Sardinata y su relación a otras áreas con fosforitas en Norte de Santander.

## 1.2. ANTECEDENTES

El consumo de fertilizantes en Colombia es aproximadamente el 40 % del correspondiente al Grupo Andino, con un crecimiento anual estimado en el 8 %. El crecimiento de la población es del 3 %. El consumo de  $P_2O_5$  para 1985 se calcula en 165.000 toneladas, cuyo equivalente en roca fosfórica (promedio nacional del 20 % de  $P_2O_5$ ) serían 825.000 toneladas.

El precio de la roca importada, muestra tendencias alcistas debido a las restricciones para preservación del ambiente en el área de Florida, nuestro proveedor más importante. Los fletes marítimos y los internos se incrementan igualmente en estrecha relación con el costo del petróleo.

El valor de las importaciones de roca fosfórica y fertilizantes fosfatados en 1976 fue de 153 millones de pesos, ocupando el 7o. renglón por el precio y el 1o. por su volumen.

## 1.3. TRABAJOS ANTERIORES

La información adquirida sobre este yacimiento es resultado del esfuerzo realizado para conocer la geología del país y aprovechar sus recursos no renovables.

Un gran número de geólogos, por diversos intereses y a través del tiempo, han realizado estudios sobre esta parte del país. Tratar de seguir la secuencia exploratoria e investigativa y evaluar los resultados es una meta no buscada por el autor en este trabajo y solo se mencionarán aquellos autores y trabajos relacionados en forma mas inmediata.

Bürgl (1962) después de utilizar la información disponible y con un estudio detallado, observó que el Cretáceo Superior de la Cordillera Oriental presentaba las condiciones más favorables a las acumulaciones fosfáticas y que la mayor potencialidad se presentaba entre el Coniaciano y el Santoniano; que las variaciones no solo eran en el tiempo sin también laterales y que las mejores concentraciones se presentaban en las márgenes del Geosinclinal Cretáceo.

Cathcart y Zambrano (1967) encontraron fosforitas en los Santanderes en sedimentos marinos del Cretáceo Superior (Formación La Luna).

Abozaglo (1970) inició trabajos con 4 perforaciones, 14 trincheras y cartografía del área Sardinata-Astilleros.

En 1970 ECOMINAS inició la exploración detallada del área de Sardinata. En cumplimiento de este objetivo se realizaron los siguientes trabajos:

- a) Topografía a escala 1:1.000 con curvas de nivel cada 2 metros en un área aproximada de 10 km<sup>2</sup>.
- b) Excavación de 206 trincheras y apiques, levantamiento de columnas estratigráficas y muestreo en canal.
- c) Perforación de 16 pozos, tomando muestras de núcleos.
- d) Análisis químico de las muestras de roca fosfórica.

ECOMINAS procesó parte del material y posteriormente solicitó al INGEOMINAS la elaboración de un informe. El material recibido fue reinterpretado; las escalas se modificaron a 1:5.000 y 1:10.000 y se calcularon reservas.

Sobre la roca fosfórica de Sardinata existen numerosos trabajos. Para complementar al lector, el autor lo remite a los trabajos de Notestein (1944), Cathcart (1966-1975), Zambrano (1971), Abozaglo (1973), Japan Consulting Institute (1974) Waggoner Spickard (1974), Mojica (1975) y al International Fertilizer Development Center (1977).

## 2. GEOLOGIA

En el área de Sardinata afloran sedimentos marinos y continentales pertenecientes regionalmente a la Cuenca de Maracaibo, con edades cretáceas y terciarias.

Los sedimentos forman estratos que hacen parte de una pendiente estructural con buzamientos entre  $12^{\circ}$  y  $15^{\circ}$  al norte.

En la superficie afloran los estratos superiores de la Formación La Luna más o menos erosionados.

No se presentan fallas con grandes desplazamientos aunque es de presumir pequeñas fracturas; solo se observa algún diaclasamiento.

### 2.1. ESTRATIGRAFIA

En el área afloran rocas correspondientes a las formaciones Cogollo, La Luna y Colón (Fig. 2).

#### 2.1.1. FORMACION COGOLLO (kmc)

Comprende sedimentos marinos compuestos de arcillolias negras, grises, con intercalaciones de calizas fosilíferas. La base está marcada por el cambio a nivelitos calcáreos y areniscas claras. El espesor varía entre 218 y 435 metros; la edad es Cenomaniano.

#### 2.1.2. FORMACION LA LUNA (ksl)

Reposa concordante sobre la Formación Cogollo. Esta compuesta de calizas fosilíferas, tiene colores grises oscuros y niveles de cherts negros. En el tope presenta un estrato de 3 metros compuesto de arenisca glauconítica gris oscura, fosfática. El grano es grueso. A unos 7 u 8 metros más abajo se presenta una capa de fosforita con un espesor entre 0,5 m para superficies erosionadas y 3.0 metros. La edad estimada es Turoniano-Coniaciano (Fig. 3).

#### 2.1.3. FORMACION COLON

Suprayace la Formación La Luna; está compuesta de arcillas "pizarras" grises algo calcáreas. El tope está formado por una arcilla "pizarrosa", piritosa, de 3 a 5 metros de espesor.

La formación tiene un espesor total de 215 a 334 m. La edad asignada es Campaniano.

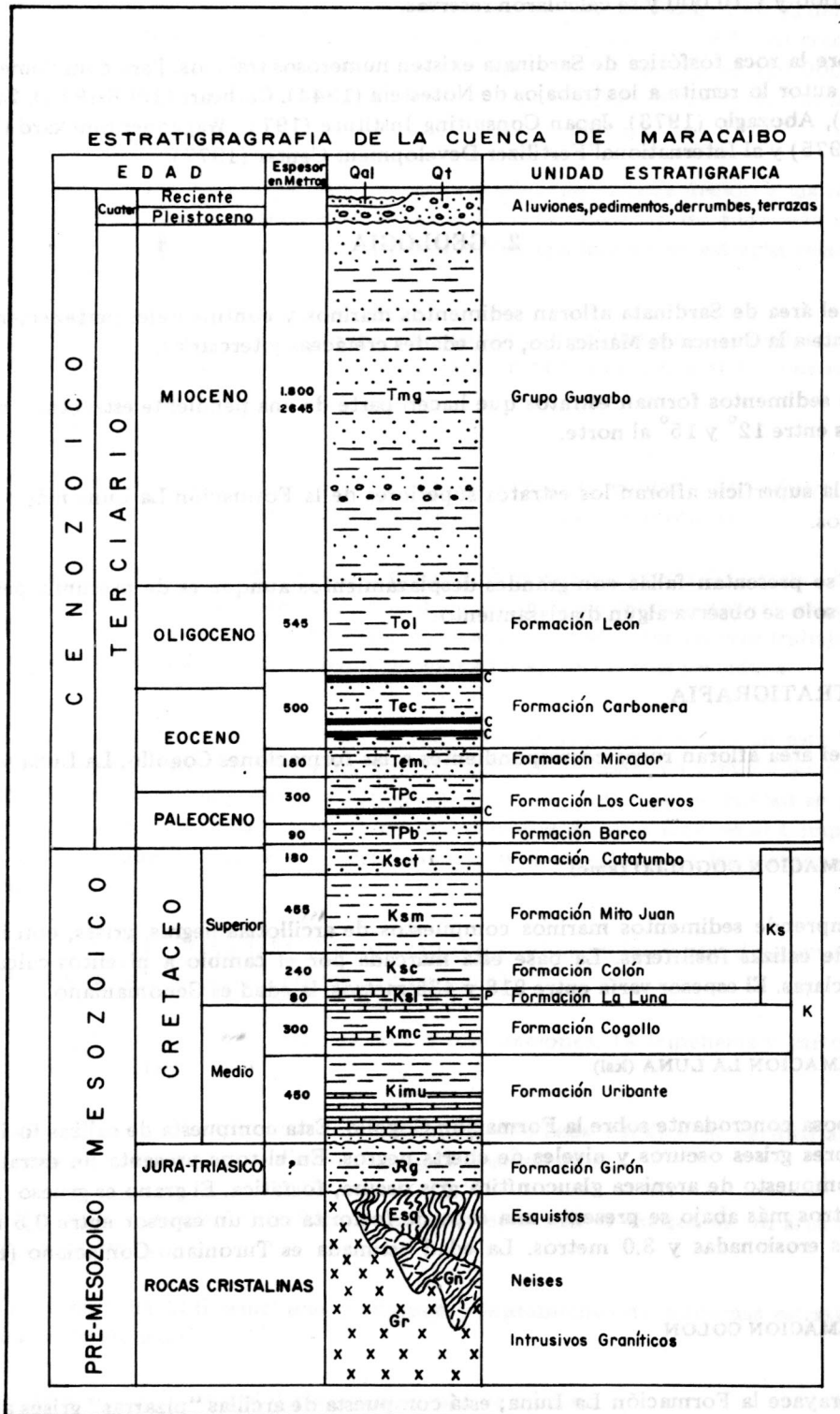


FIG. 2: Ubicación estratigráfica de la Formación La Luna (Tomado del Cuadrángulo G-13- Ingeominas, 1967).

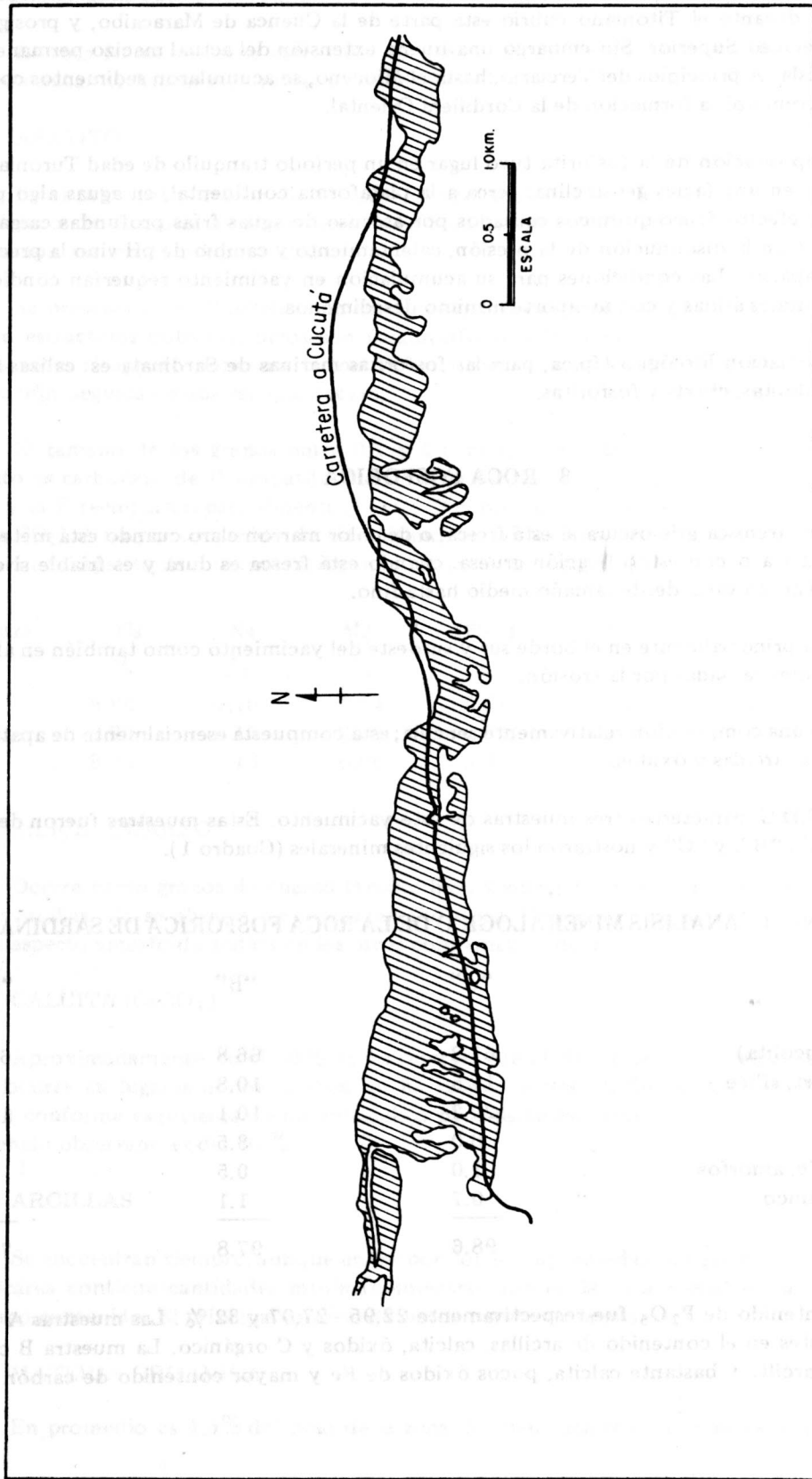


FIG. 3: El hachurado muestra la forma y extensión de la Formación La Luna conteniendo la fosforita de "Sardinata".

## 2.2. HISTORIA GEOLOGICA

A principios del Cretáceo esta área estaba sobre el nivel del mar. La transgresión marina iniciada durante el Titoniano cubrió esta parte de la Cuenca de Maracaibo, y prosiguió hasta el Cretáceo Superior. Sin embargo una buena extensión del actual macizo permaneció como una isla. A principios del Terciario, hasta el Mioceno, se acumularon sedimentos continentales y comenzó la formación de la Cordillera Oriental.

La depositación de la fosforita tuvo lugar en un período tranquilo de edad Turoniano-Coniaciano, en una facies geosinclinal cerca a la plataforma continental, en aguas algo profundas, por efectos físico-químicos causados por ascenso de aguas frías profundas cargadas de fósforo. Con la disminución de la presión, calentamiento y cambio de pH vino la precipitación del apatito. Las condiciones para su acumulación en yacimiento requerían condiciones continentales áridas y con un aporte mínimo desedimentos.

La asociación litológica típica, para las fosforitas marinas de Sardinata es: calizas fosfáticas, arcillolitas, cherts y fosforitas.

## 3. ROCA FOSFORICA

Es una arenisca gris oscura si está fresca, o de color marron claro cuando está meteorizada. Es masiva o con estratificación gruesa; cuando está fresca es dura y es friable si está lixiviada. El grano varía desde tamaño medio hasta fino.

Aflora principalmente en el borde sur y suroeste del yacimiento como también en algunas depresiones causadas por la erosión.

Tiene una composición relativamente sencilla; está compuesta esencialmente de apatito, sílice, calcita, arcillas y óxidos.

El I.F.D.C. caracterizó tres muestras de este yacimiento. Estas muestras fueron denominadas "A", "B", y "C" y mostraron los siguientes minerales (Cuadro 1).

CUADRO No. 1 ANALISIS MINERALOGICO DE LA ROCA FOSFORICA DE SARDINATA

MUESTRA	"A"	"B"	"C"
Apatito (rancolita)	61.2	66.8	66.2
Cuarzo, chert, sílice	11.5	10.8	10.6
Arcillas	24.2	10.1	19.7
Calcita	0.0	8.5	0.1
Oxidos de Fe, amorfos	1.0	0.5	1.0
Carbón orgánico	0.7	1.1	0.7
Total	98.6	97.8	78.3

El contenido de  $P_2O_5$  fue respectivamente 22,95 - 27,07 y 32 %. Las muestras A y C son semejantes en el contenido de arcillas, calcita, óxidos y C orgánico. La muestra B contiene poca arcilla y bastante calcita, pocos óxidos de Fe y mayor contenido de carbón orgánico.



En todas las muestras el apatito se presenta en parte en microfósiles fosfatizados y el cuarzo en partículas de tamaño menor de 2 mm, las arcillas impregnan toda la roca. El apatito varía en el tamaño de los granos de 0,1 hasta 2,5 mm.

La roca fresca contiene entre 15 y 40 % de calcita y del 5 al 15 % de cuarzo. Contiene además trazas de feldespatos, micas y materia orgánica.

### 3.1. APATITO

Es el principal portador del fósforo. Se presenta como un carbonato de fluorapatito. El fósforo de la molécula puede estar reemplazado en proporciones diferentes por otros elementos, esencialmente por  $\text{CaCO}_3$ .

Se presenta como "pellets", sin estructura, de forma redondeada. Algunos granos muestran estructuras oolíticas; otros son foraminíferos o fragmentos de huesos fosfatizados. Otras veces el apatito impregna la matriz de la roca, aparentemente como resultado de su lixiviación, seguida de una redepositación.

El tamaño de los granos entre 0,1 y 2,5 mm, promediando 0,6 mm. El mineral de apatito es carbonato de fluorapatito; tiene como fórmula  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_6\text{F}_2$ , donde el  $\text{CO}_3$  y el F reemplazan parcialmente al  $\text{PO}_4$ . El contenido el fluor aumenta con el incremento de  $\text{CO}_2$ . A mayor contenido de este último, mayor es su solubilidad en el agua. La composición del apatito de 3 muestras, según el I.F.D.C. fue la siguiente:

Muestra	Ca %	Na %	Mg %	( $\text{PO}_4$ ) %	( $\text{CO}_3$ ) %	F %	$\text{P}_2\text{O}_5$ (Teórico) %
A	9,86	0,10	0,04	5,59	0,41	17	39,84
B	9,79	0,15	0,06	5,39	0,61	24	38,67
C	9,78	0,16	0,06	5,37	0,63	25	38,53

### 3.2. SILICE - CUARZO

Ocurre como granos de cuarzo tamaño limo y entrando como sílice en la composición de las arcillas. No se observaron granos tamaño arena. Una parte está en forma criptocristalina de aspecto amorfo difundida en los otros componentes de la roca.

### 3.3. CALCITA ( $\text{CaCO}_3$ )

Aproximadamente en el 50 % de las reservas calculadas se presenta calcita en la roca. Esto ocurre en lugares donde la roca no ha sufrido meteorización o solo ligeramente. La calcita conforma esqueletos de microfósiles o hace parte del cemento de la roca. El máximo contenido observado es del 40 %.

### 3.4. ARCILLAS

Se encuentran siempre, aunque en proporciones muy variadas. En general la roca fresca y calcárea contiene cantidades mínimas, mientras que en la roca meteorizada muestra el máximo contenido. El principal mineral de arcilla parece ser la caolinita.

### 3.5. MATERIA ORGANICA

En promedio es 4,5% del peso de la roca. No tiene una relación directa con los demás

componentes. Existe una relación positiva con la meteorización, presentando los menores contenidos en las rocas más alteradas.

### 3.6. OTROS MINERALES

Cuando la roca sufre una meteorización fuerte, parte del fósforo del apatito es lixiviado y reacciona con las arcillas formando wavelita. Si la reacción ocurre con los óxidos de hierro procedentes de la pirita, forma Cacoxonita.

El hierro varía entre 0,3 y 2,87%. En muestras de pozos está presente como pirita. En la meteorización se altera a óxido (limolita). Cuando la meteorización es moderada el Fe se combina con el fósforo formando cacoxonita.

En la roca calcárea fresca se presentan trazas de pirita cuando la relación  $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$  sube de 1,7.

### 3.7. ELEMENTOS TRAZA

En los laboratorios del U.S.G.S., Denver, se analizaron muestras para determinar el contenido eU mediante el "Beta-grama scaler", obteniendo los siguientes resultados:

REF. DENVER	REF. CAMPO	LOCALIDAD	eU (ppm)
D159418	Cl 31 - 72	Astillero - Sardinata	120
D159419	Cl 32 - 72	Astillero - Sardinata	100
D159420	Cl 33 - 72	Astillero - Sardinata	60
D159421	Cl 34 - 72	Astillero - Sardinata	20
D159422	Cl 35 - 72	Astillero - Sardinata	40

Los elementos de las tierras raras (La, Ce, Y, Yb, Nd, Gd, Dy y Er) están asociados con el apatito; el escandio sigue tal vez a las tierras raras y está en la misma proporción que en la formación Phosphoria (Estados Unidos) y que en Pesca (Boyacá).

El estroncio sin duda sustituye al calcio en el apatito y es algo más alto que en Pesca. Cr, Ag, Cu, Pb, Mo, V y Zn se asocian a la materia orgánica (KRAUSKOPF-GULBRANDSEN, 1955); esto muestra por qué en Pesca, con menor cantidad de materia orgánica, contiene también menos de estos elementos (CATHCART y ZAMBRANO, 1973). Mn, Ba, Be, Zr y Ga, parecen no tener relación ni con el apatito, ni con la fase orgánica.

El manganeso parece corresponder a condiciones reductoras. El galio tal vez se relacione con el aluminio de las arcillas.

El bario es abundante y parece presentarse como barita y en cantidades mucho más altas que en Pesca.

### 3.8. COMPOSICION QUIMICA

Es un reflejo de la composición mineralógica, del origen de estos sedimentos, de la diagénesis y el grado de las alteraciones sufridas por la roca hasta el presente.

La composición promedio de la roca de Sardinata basada en 222 muestras es la siguiente (Cuadro 2):

## CUADRO No. 2 COMPOSICION QUIMICA GENERAL - ROCA DE SARDINATA

Humedad (105° C)	1,51	(peso)
Pérdidas (105 - 1000° C)	4,98	
SiO <sub>2</sub> + insolubles	16,55	
Fórforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	27,00	
Calcio (CaO)	41,13	
Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,86	
Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,87	
Fluor	3,15	
CaO <sub>2</sub>	2,71	
CaO/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,52	
SiO <sub>2</sub> /P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,61	

## 3.8.1. RELACIONES COMPOSICIONALES

3.8.1.1. Relación CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

La relación CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> muestra claramente la meteorización sufrida por la roca. Las muestras de rocas procedentes de pozos siempre tienen una relación mayor de 2,0 habiéndose encontrado relaciones de 2,55. En roca muy alterada procedente de trincheras y afloramientos, esta relación desciende hasta 1,0 (Figs. 4,5,6 y 8).

Los análisis mineralógicos muestran que cuando la relación sube de 1,47 la calcita se hace presente en cantidades tanto mayores cuanto mayor sea la relación.

El máximo contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> corresponde a la relación 1,35 (37,4%); disminuye gradualmente hasta valores de 19% para relaciones de 2,55. Cuando la relación baja de 1,35 el apatito comienza a disminuir por lixiviación. El fósforo inicialmente se recombina con el aluminio de las arcillas formando wavellita. Si la meteorización hace descender la relación a 1,27 comienza a formarse fosfato de hierro (Cacoxonita).

3.8.1.2. Relación F/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Cuando la relación F/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> es mayor de 0,1, indica que se trata de un carbonato de fluorapatito. Por debajo de 0,1 indica una meteorización, donde una parte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> está en forma de fosfato de hierro.

3.8.1.3. Relación SiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Esta relación aunque no es estrecha, es bien definida; indica que el contenido en sílice aumenta con la meteorización.

Se encontró un contenido de sílice máximo, no representativo, de 42% y un mínimo de 3,8%.

## 3.8.1.4. Relación Cobertura/Meteorización

Existe una relación inversa entre el grado de meteorización y la cobertura de la capa fosfática (Figs. 7, 8).

Las mayores concentraciones de fósforo y las mejores características de explotación se presentan a los lados de la carretera Sardinata - Cúcuta y hacia la traza del afloramiento en el borde sur del yacimiento.

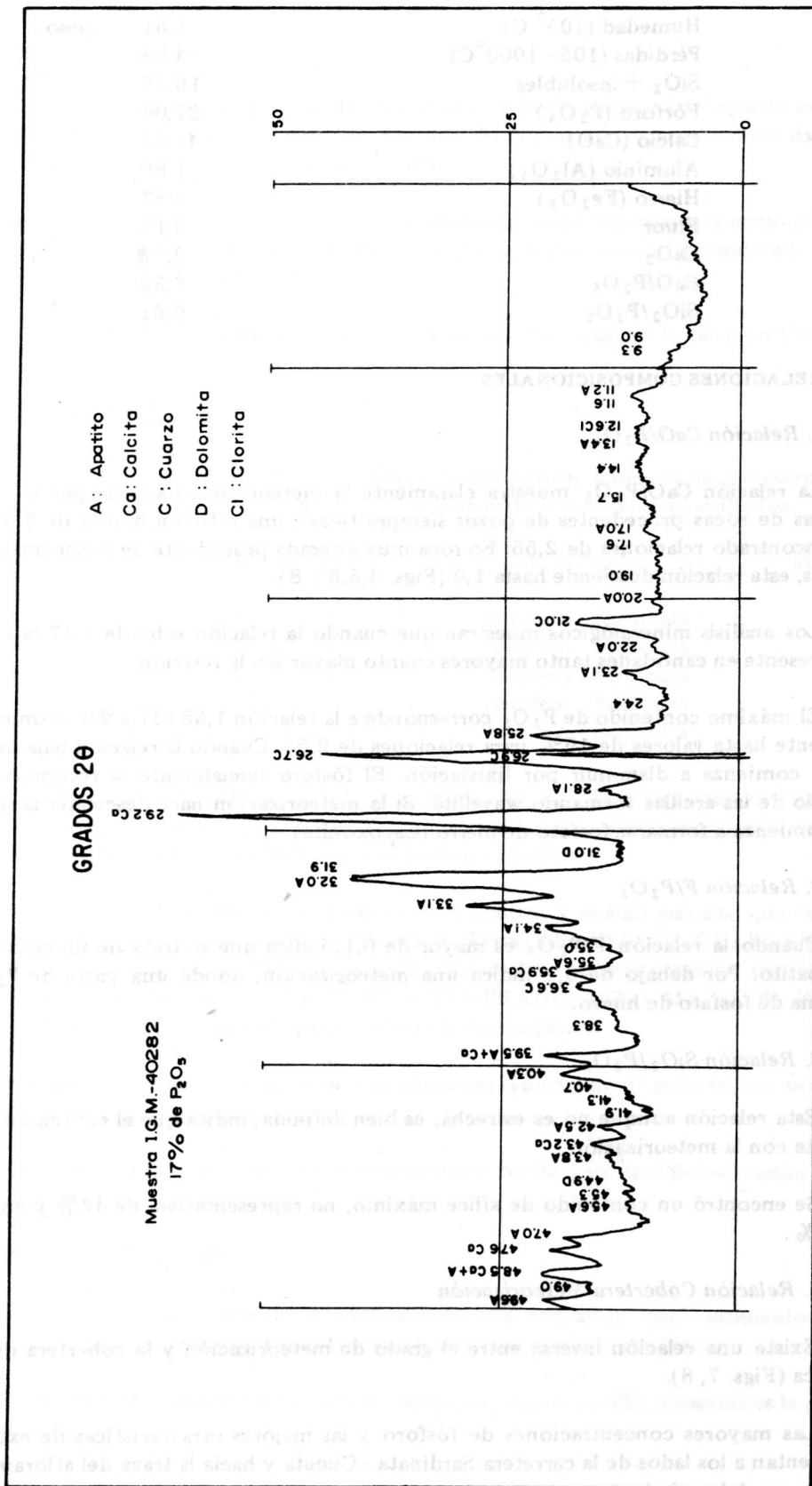


FIG. 4: Patrón de rayos X, por el método difraccionométrico, de muestra de roca fosfórica representativa del área.

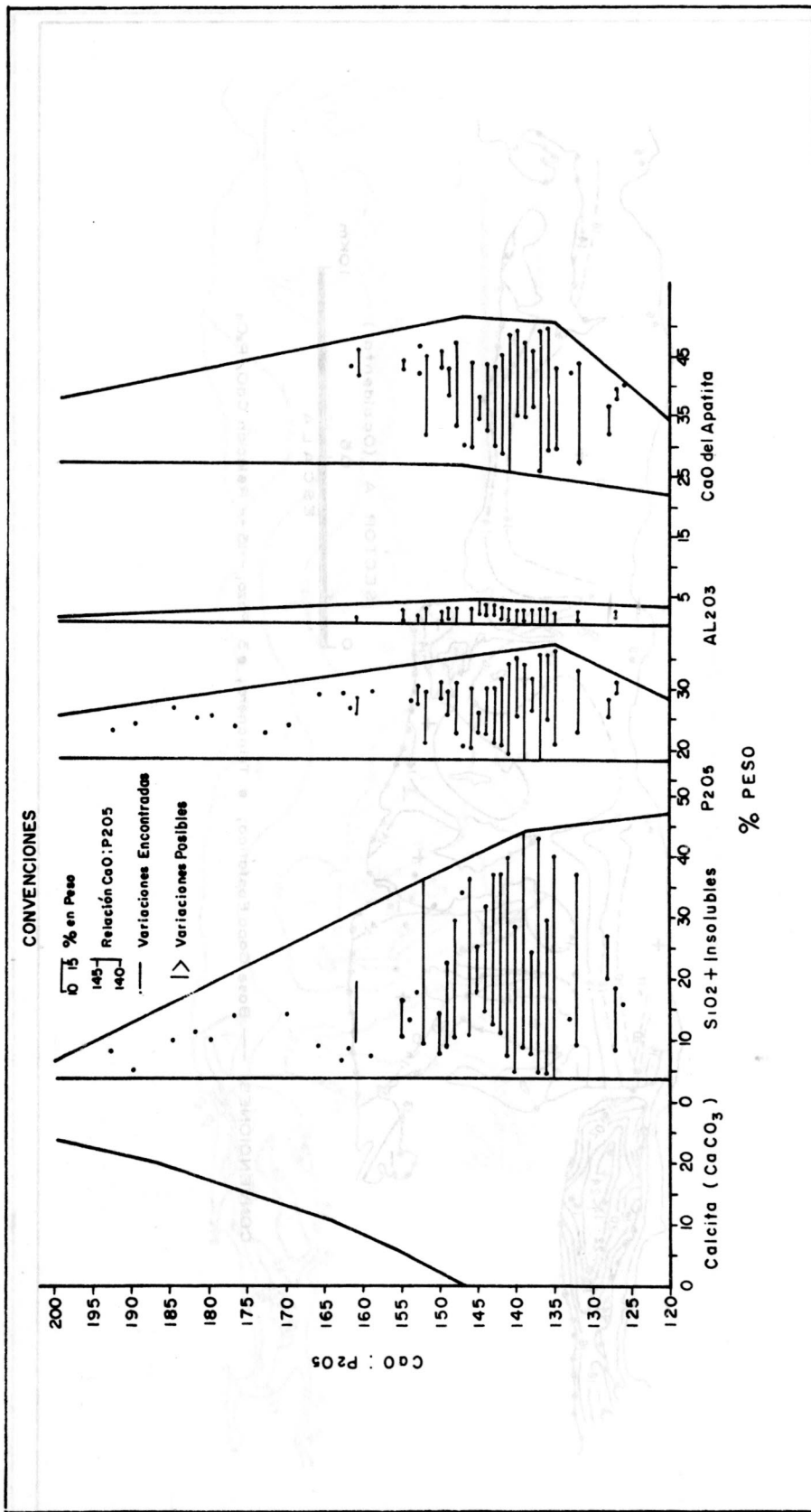


FIG. 5: Variaciones porcentuales de la roca fosfórica en Sardinata.

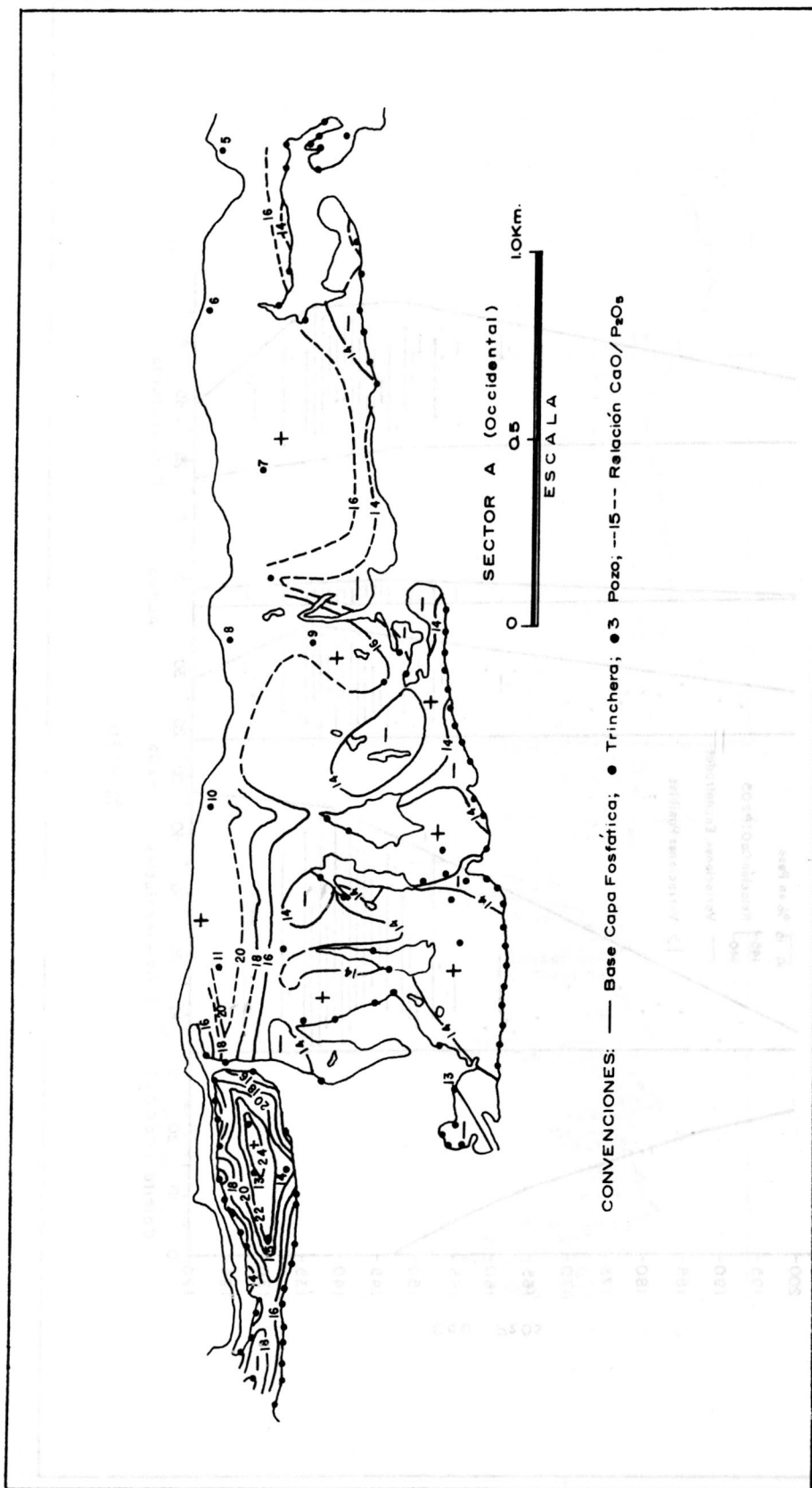


FIG. 6: Mapa de la relación CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fosfatos Sardinata.

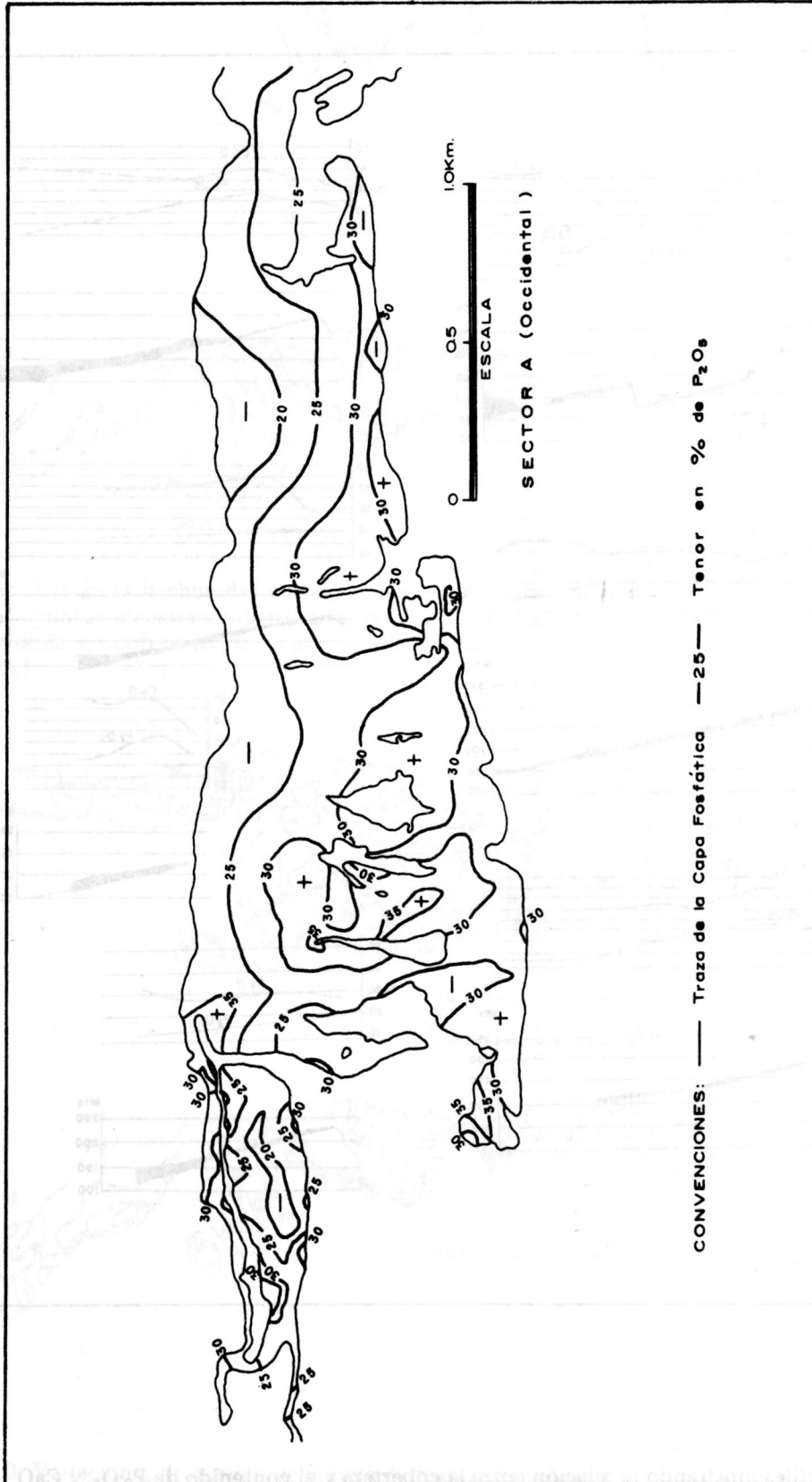


FIG. 7: Mapa isotenores en  $P_2O_5$  fosfatos Sardinata.

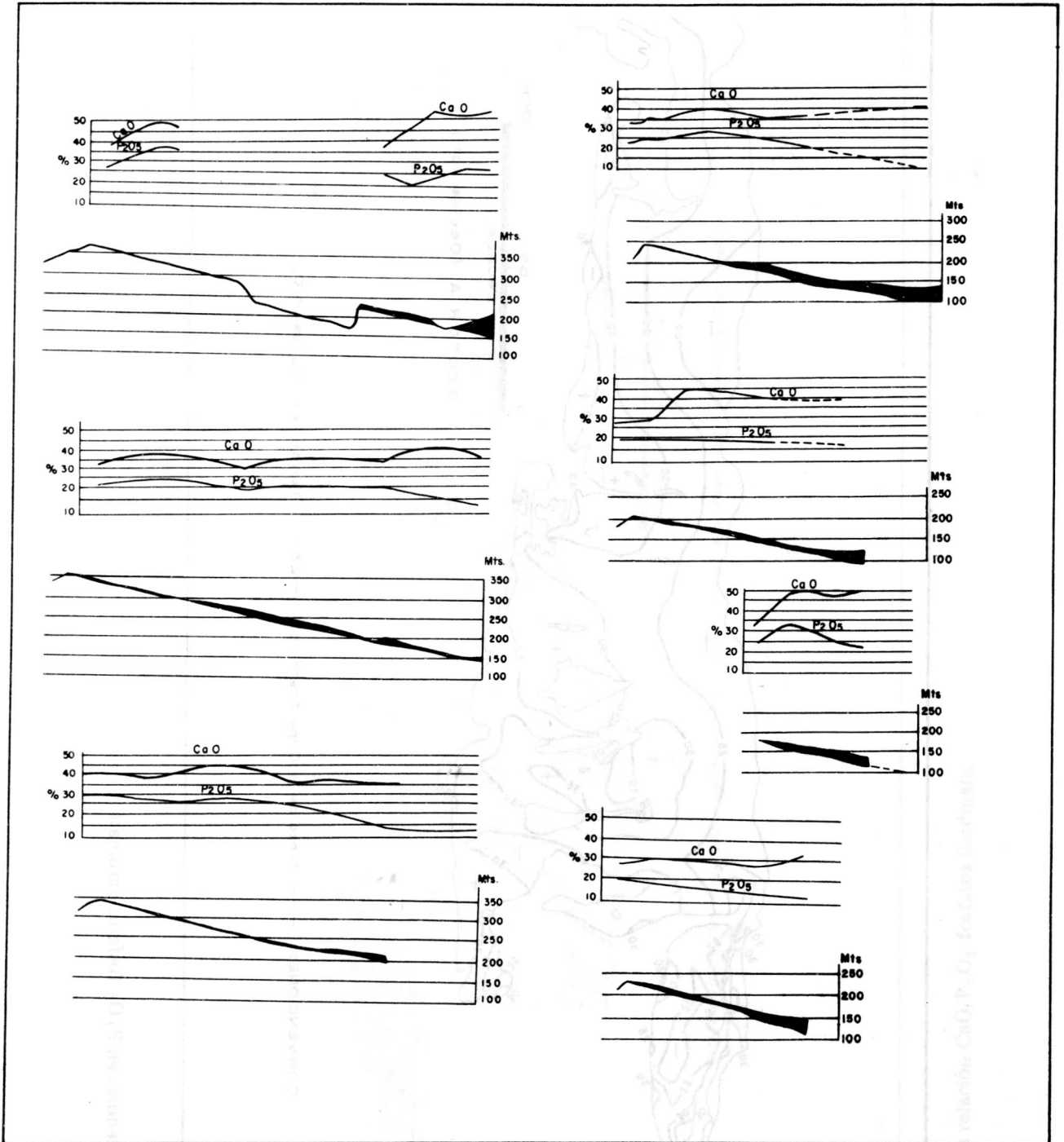


FIG. 8: Perfiles mostrando la relación entre la cobertura y el contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CaO.

FIG. 6. Mapa de relación CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y fósforo disponible.



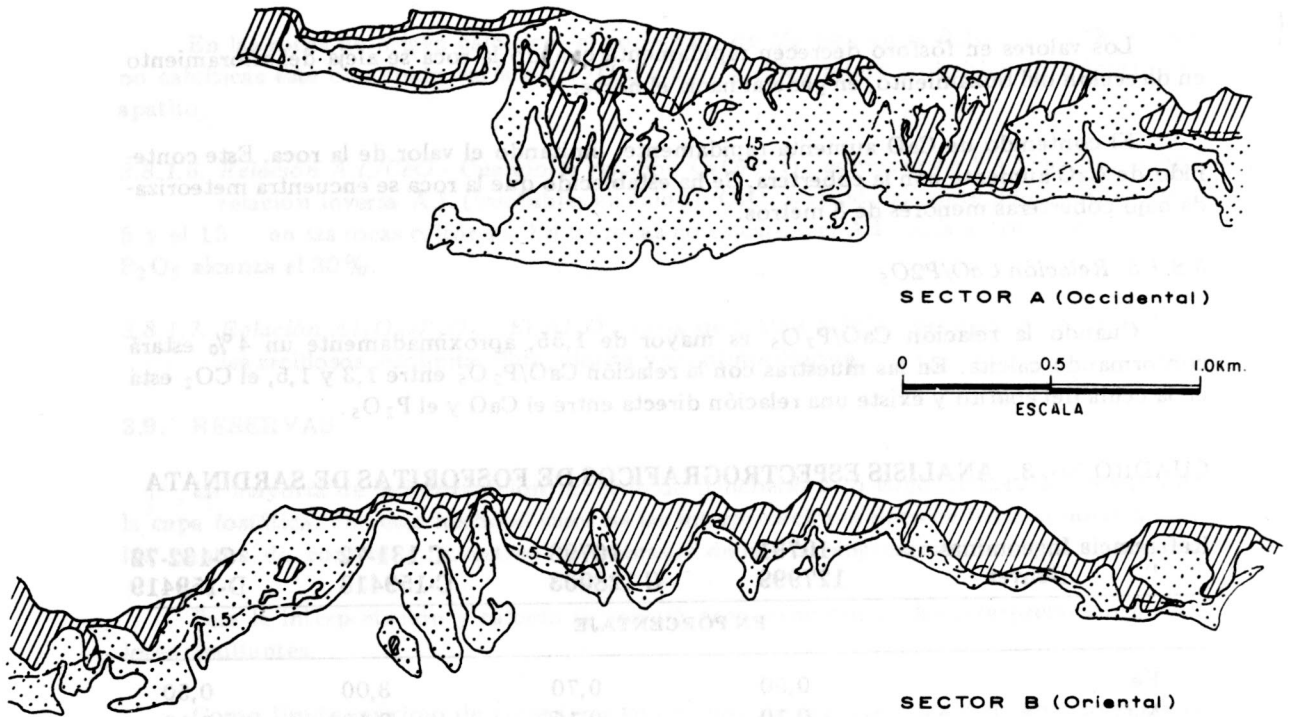


FIG. 9: Las áreas hachuradas corresponden a coberturas mayores de 12 m. Las áreas con puntos muestran coberturas entre 0 y 12 m. La parte superior al trazo discontinuo corresponde a valores superiores a 1.5 de la relación  $P_2O_5$  con posible presencia de calcita ( $CaCO_3$ ).

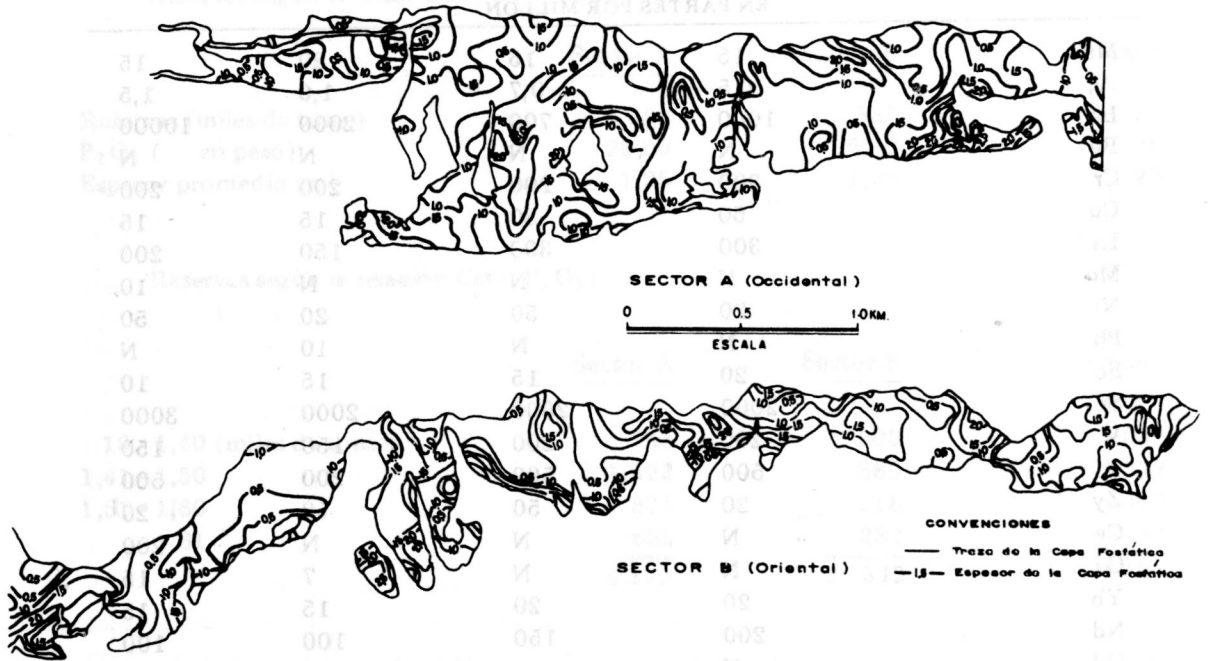


FIG. 10: Variaciones de espesor de la capa de fosforita (Isopaco).

Los valores en fósforo decrecen rápidamente cuando la roca se aleja del afloramiento en dirección del buzamiento, en general hacia el norte.

El contenido de CaO aumenta rápidamente, limitando el valor de la roca. Este contenido de CaO aumenta con la cobertera. Se ha establecido que la roca se encuentra meteorizada bajo coberteras menores de 8 metros.

### 3.8.1.5. Relación $CaO/P_2O_5$

Cuando la relación  $CaO/P_2O_5$  es mayor de 1,55, aproximadamente un 4% estará conformando calcita. En las muestras con la relación  $CaO/P_2O_5$  entre 1,3 y 1,5, el  $CO_2$  está en la celda del apatito y existe una relación directa entre el CaO y el  $P_2O_5$ .

CUADRO No. 3. ANALISIS ESPECTROGRAFICOS DE FOSFORITAS DE SARDINATA

Referencia Ingeominas " Denver	10791 127999	10798 C-128003	C-131-72 C-159418	C-132-72 D-159419
EN PORCENTAJE				
Fe	0,50	0,70	3,00	0,50
Mg	0,10	0,15	0,10	0,10
Ti	0,30	0,20	0,10	0,02
Si	5,00	5,00	7,00	3,00
Al	0,70	1,00	3,00	0,70
Na	0,07	0,15	0,07	0,20
K	N	N	N	N
P	G	G	G	G
EN PARTES POR MILLON				
Mn	15	15	20	15
Ag	0,5	0,7	1,0	1,5
Ba	1000	700	2000	10000
Be	N	N	N	N
Cr	300	200	200	200
Cu	50	30	15	15
La	300	300	150	200
Mo	N	N	N	10
Ni	20	50	20	50
Pb	N	N	10	N
Sc	20	15	15	10
Sr	2000	2000	2000	3000
V	200	200	150	150
Y	500	500	200	500
Zy	20	50	50	20
Ce	N	N	N	200
Ga	N	N	7	15
Yb	20	20	15	15
Nd	200	150	100	100
Gd	N	N	N	N
Dy	N	N	L	N
Er	N	N	N	L
$P_2O_5$	31,84	30,0	25,0	32,9

En las rocas de origen calcítico, el contenido de Mg está entre 0,13 y 2,15 %. En las no calcíticas este contenido varía entre 0,06 y 0,57 y el Mg estará probablemente dentro del apatito.

3.8.1.6. *Relación A.I./CaO.*- Cuando la relación  $CaO/P_2O_5$  es mayor de 1,47 hay una buena relación inversa A.I. (insolubles en ácido) /CaO, variando el contenido de Al entre el 5 y el 15 en las rocas calcáreas. En las rocas no calcáreas el A.I. varía entre 20 y 25 % y el  $P_2O_5$  alcanza el 30 %.

3.8.1.7. *Relación  $Al_2O_3/P_2O_5$ .*- El  $Al_2O_3$  varía de 0,29 a 4,38 %; hace parte de los minerales arcillosos, caolinita, illita, clorita y montmorillonita.

### 3.9. RESERVAS

La mayoría de la información procede de trincheras a lo largo de los afloramiento de la capa fosfática. Por este hecho el valor de las interpretaciones decrece hacia el norte donde los puntos de control y muestreo son escasos debido al engrosamiento de la cobertera.

Para la interpretación y cálculo se asumió homogeneidad en las interpretaciones y valores resultantes.

Como límite máximo de coberteras en una posible explotación a cielo abierto se tomó el valor de 12 metros.

Para efectos de presentación, el yacimiento se dividió en 2 sectores denominados occidental (A) y oriental (B). Cada sector ha sido calculado según contenidos químicos ( $P_2O_5$ , CaO,  $SiO_2$ ), la relación  $CaO/P_2O_5$ , espesores / $P_2O_5$  etc.

Reservas según el tenor de  $P_2O_5$  y espesores:

	<u>Sector A</u>	<u>Sector B</u>	<u>Totales</u>
Reservas (miles de tons.)	3.360	1.535	4.895
$P_2O_5$ ( en peso)	29,00	25,40	27,86
Espesor promedio (m)	1,25	1,25	1,25

Reservas según la relación  $CaO : P_2O_5$ :

	<u>Sector A</u>	<u>Sector B</u>	<u>Totales</u>
10 - 1,40 (miles de tons.)	745	303	1.048
1,41 - 1,50	1.423	889	2.312
1,51 - 1,60	375	118	493
- 1,61	652	232	884
	<u>3.195</u>	<u>1.542</u>	<u>4.737</u>

La explotación a cielo abierto permite una minería barata y una recuperación alta de las reservas geológicas. Si se estima como factor de recuperación el valor 0,9. Las reservas extractales serían de unos 4.260.000 toneladas.

## 3.10. BENEFICIO

La roca en su estado natural no cumple los requisitos del mercado y requiere algún tipo de beneficio que la haga adecuada a procesos que la transformen en fertilizante comercial. Estos requisitos son especialmente estrictos si los procesos han de ser por vía húmeda.

Los mayores inconvenientes provienen de la calcita, arcillas, sílice, óxidos y la materia orgánica.

La sílice causa problemas de filtración en la mayoría de los procesos de beneficio; usualmente se exige que el porcentaje esté por debajo del 5% y en lo posible menor del 3,5%.

Los óxidos reaccionan con el ácido fosfórico produciendo fosfatos insolubles exigen contenidos menores del 5%.

Las arcillas y la materia orgánica causan bloqueos en las reacciones y el filtrado; se piden contenidos menores al 1%.

Además de la industria de fertilizantes requiere un producto con porcentaje en  $P_2O_5$  superior al 32% y una granulometría entre las mallas - 20 + 80 (Mesh).

Cathcart (1975) de acuerdo a las características químicas de las muestras tomadas hizo 4 agrupaciones según su relación  $CaO/P_2O_5$ .

**CUADRO No. 4. COMPOSICION QUIMICA DE LAS FOSFORITAS DE SARDINATA  
(Según la relación  $CaO/P_2O_5$ )**

	Composición en promedio (porcentaje en peso)			
	1	2	3	4
$P_2O_5$	21,340	26,600	28,080	28,970
CaO	47,510	43,590	39,730	35,730
MgO	0,8600,250	0,250	0,180	0,170
$Al_2O_3$	0,880	1,140	1,980	2,590
$Fe_2O_3$	0,400	0,470	0,940	1,130
F	13,730	5,710	1,300	1,720
A.I.	8,900	12,990	18,860	19,260
$CaO/P_2O_5$	2,230	1,630	1,420	1,230
$F/P_2O_5$	0,112	0,114	0,111	0,104
Grupo 1 -	16 muestras de pozo, frescas con una relación $CaO/P_2O_5$			2,00
Grupo 2 -	24 muestras de trincheras, meteorización ligera "			1,52 - 1,92
Grupo 3 -	172 muestras de trincheras, meteorizadas "			1,30 - 1,52
Grupo 4 -	8 muestras de trincheras, muy meteorizadas "			1,30

\*\*\*

CUADRO No. 5. COMPOSICION QUIMICA DE LAS FOSFORITAS DE SARDINATA (Analizadas por el I.F.D.C.)

Muestras	A	B	C
CaO . . . . .	33,00	42,20	36,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	25,60	25,80	26,70
F . . . . .	2,60	2,90	2,90
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,82	5,30	1,20
Na <sub>2</sub> . . . . .	0,10	0,10	0,10
Mg . . . . .	0,22	0,20	0,24
SiO <sub>2</sub> . . . . .	25,3	16,6	22,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5,00	2,10	4,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,90	0,89	1,70
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,15	0,19	0,25
Corgánico . . . . .	0,70	1,10	0,70
CaO/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	1,32	1,63	1,35

Los distintos tipos de rocas responden diferentemente a cada tipo de flotación. La roca alta en arcillas no responde adecuadamente a la flotación con amina. Si la roca contiene ácido-insolubles (A.I.) entre 5 y 6 % , una reducción en tamaño a malla -12 mesh, un restregado y deslode a malla -400 mesh, da una recuperación y un grado de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> satisfactorios.

La empresa que explota la fosforita de Sardinata (Fosfonorte) ha logrado obtener roca beneficiada de calidad y porcentaje de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recuperado, excelentes. El ejemplo siguiente muestra los resultados obtenidos.

**Trinchera No. 140**

Análisis de la roca en bruto (% en peso):

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	A.I.	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
17,15	24,00	41,40	41,40	5,72	1,40

**Beneficio:**

Peso de la roca en bruto : 1.000 gramos

Peso de la roca restregada y lavada: 507,4 gms.

Malla (mesh)	Peso grm.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	A.I.	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mat.Org.	CaO/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
+ 20	11,45	27,60					
- 20 + 60	238,30	35,70	49,42	3,45	2,74	0,14	1,38
- 60 + 200	144,10	31,90		28,54			
- 200	10,8	25,6		28,54			

La recuperación del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> entre las mallas - 20 + 60 es del 49,60 %.

La recuperación del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para fracción lavada del 79.86 %.

## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABOZAGLO, J., 1973.- *Estudios exploratorios del yacimiento de fosfatos de Sardinata*. Bogotá. Ecominas.
- BURGL, H., 1961.- *Historia Geológica de Colombia*. Rev. Acad. Col. Ci. Exac. Fís. y Nat., 11 (43): pp. 137-191.
- CATHCART, J.B., 1971.- *Mineralogy and chemistry of phosphorite core from a drill hole in the Conejera Syncline, Department of Boyacá, Colombia*. Washington. U.S. Geol. Surv. Proj. Rep. CO-21,30 p.
- 1966.- *Phosphatic deposits near Sardinata, N. de S.*, Preliminary Report. Bogotá. Ingeominas.
- CATHCART, J.B. y ZAMBRANO, F., 1967.- *Roca Fosfática en Colombia*. Bol. Geol. (Bogotá) 15 (1-3): pp. 65-162.
- GULBRANDSEM, R.A., 1966.- *Chemical composition of phosphorite of the Phophoria Formación: Geochemin at cosmach in Acta 30*: pp. 769-778.
- KRAUSKOPF, KB., 1955.- *Sedimentary deposits of rare metal*. Ecom. Geol. (El Paso, Texas). 50 th anniversary Vol. p. 411-463.
- MOJICA, P., 1975.- *Roca Fosfórica de Sardinata (Norte de Santander)*. Informe No. 1675. Bogotá. Ingeominas. 40 p.
- JAPAN CONSULTING INSTITUTE, 1974.- *Report on the prefeasibility Survey of Phosphate rock in Colombia*.
- NOTESTEIN, P.B., HUBMAN, C.W. and BOWLER, J.W., 1944.- *Geology of the Barco Concesion, Republic. of Colombia, South America*: Geol. Soc. Amer. Bull. (Boulder, Colorado). 55.
- INTERNATIONAL, FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER, 1977.- *Technical Studies of Upgrading and Utilizacion of Pesca and Sardinata Ore*. (Denver, Colorado). Final Report. 1977.
- WAGCONER, D.R. y SPICKARD, G.M., 1974.- *Engineering Evaluation of Selected segments of Colombian Fertilizer Industry for Agency for International Development, R.S.S.A. T.V.A.*, 01-74.
- ZAMBRANO, F., 1971.- *Roca fosfórica de Sardinata, Norte de Santander*. Inf. 1572. Bogotá. Ingeominas, 44 p.
- ZAMBRANO, F. y MOJICA, P., 1973.- *Depósito de roca fosfórica de La Conejera y zonas aledañas a Pesca*. Inf. 1570. Bogotá. Ingeominas, 122 p.