



UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



"PETROGRAFIA DE LA CAPA HUMBOLDT, SAN JUAN DE LA  
COSTA, BAJA CALIFORNIA SUR. UNA CONTRIBUCION  
AL BENEFICIO DE LA FOSFORITA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

G E O L O G O

P r e s e n t a

*Concepción Carreón Diazconti*

HERMOSILLO, SONORA

DICIEMBRE DE 1988



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



Julio 15, 1988.

*pus 642*

M.C. CESAR JACQUES AYALA  
Director de Tesis  
P r e s e n t e



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

Por este conducto, me permito informarle que ha sido aprobado el tema de tesis intitulado:

"PETROGRAFIA DE LA CAPA HUMBOLDT, SAN JUAN DE LA COSTA, BAJA CALIFORNIA SUR. UNA CONTRIBUCION AL BENEFICIO DE LA FOSFORITA"

Para que sea desarrollado por la Srita. Pasante de Geólogo CONCEPCION CARREON DIAZCONTI.

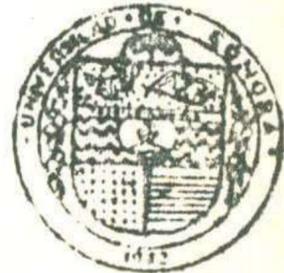


EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

Sin otro en particular, quedo de usted.

A T E N T A M E N T E

ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ  
Coordinador Ejecutivo



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
DEPTO. GEOLOGIA

C.c.p. Archivo

RAM\*ag



Departamento de Geología

NOMBRE DE LA TESIS:

" PETROGRAFIA DE LA CAPA HUMBOLDT, SAN JUAN DE LA COSTA, BAJA CALIFORNIA SUR: UNA CONTRIBUCION AL BENEFICIO DE LA FOSFORITA "



NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

CONCEPCION\* CARREON DIAZCONTI



EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA

BIBLIOTECA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

El que suscribe certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenida adecuada como requerimiento parcial para obtener - el Titulo de Geologo en la Universidad de Sonora.

ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ.

*[Handwritten signature of Ricardo Amaya Martinez]*

El que suscribe certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenida adecuada como requerimiento parcial para obtener - el Titulo de Geologo en la Universidad de Sonora.

DR. GUILLERMO A. SALAS.

*[Handwritten signature of Guillermo A. Salas]*

El que suscribe certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenida adecuada como requerimiento parcial para obtener - el Titulo de Geologo en la Universidad de Sonora.

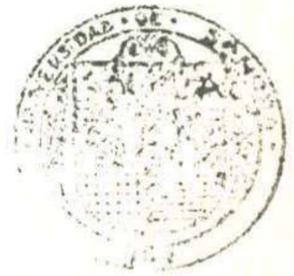
GEOLOG. MARGARITA DE LA O.

*[Handwritten signature of Margarita de la O.]*



ATENTAMENTE  
ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ.  
COORDINADOR EJECUTIVO.

*[Handwritten signature of Ricardo Amaya Martinez]*



EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA DEPTO. GEOLOGIA

## RESUMEN

EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

Con el objeto de contribuir con las investigaciones que se realizan para mejorar el aprovechamiento metalúrgico de la fosforita, se realizó un estudio petrográfico del estrato denominado capa Humboldt del yacimiento de fosforita de San Juan de la Costa en Baja California Sur. Dicho estrato se localiza en la Formación San Gregorio, correspondiente al Oligoceno, la cual está constituida principalmente por la alternancia de lutita silíceas, arenisca tobácea, coquina y algunos estratos de fosforita.

La capa Humboldt es un estrato subhorizontal de 1.45 m de espesor promedio, formado por: 65% de oolitos, peletes e intraclastos de francolita, principalmente del tamaño de arena muy fina; 10 a 15% de terrígenos, principalmente plagioclasa (oligoclasa), y cantidades subordinadas de feldespato potásico, cuarzo, pedernal, biotita, fragmentos volcánicos y bioclásticos; 20 a 25% de cementante constituido por calcita (que reemplaza fuertemente a los fosfatos), sílice, colofano y yeso. En afloramiento, el sílice se encuentra principalmente en la base y la cima de la capa, en cambio, al microscopio se observan áreas irregulares con diferentes cementantes. Esta distribución irregular le proporciona a la roca una consistencia variable, desde muy deleznable (yeso) hasta muy tenáz (sílice).

La petrografía de los productos del beneficio de la fosforita (concentrados, colas, medios, cabeza general)

muestra que la mayor parte de los granos de francolita se recuperan intactos y libres. Sin embargo, es comun encontrar varios de ellos firmemente adheridos por cementante, formando granos gruesos, los que por su tamaño y composición superficial no permiten su recuperación. Tambien se observan ocasionalmente abundantes fragmentos de roca, derivados de los estratos que encajonan a la capa Humboldt.

Conjuntando los resultados de la petrografia, se llega a las siguientes conclusiones:

a) Se tienen diferentes etapas de cementación, considerando que la primera es por colofano; otra corresponde al sílice, el cual aparentemente cementa en diferentes tiempos; otra incluye por lo menos dos eventos de calcita; y una por yeso, el cual se restringe a zonas en contacto con delgados horizontes del mismo.

b) La naturaleza del cementante es el factor decisivo en la liberación irregular de los granos de francolita, debido a que la cementación no es homogénea.

c) El sílice y la calcita como cementantes ofrecen resistencia durante la liberación, debido a la fuerte cohesión que ejercen sobre las partículas fosfatadas. Su presencia en la superficie de los granos inhibe la recuperación por flotación.

d) El espesor variable de la capa influye en la contaminación del mineral durante la extracción, provocando el uso de mayor cantidad de reactivos y una recuperación de baja ley.

A MIS PADRES:

*HERMELINDA DIAZCONTI DE CARREON*

*RICARDO CARREON SAAVEDRA*

Con profundo agradecimiento por todo el amor, apoyo, impulso y comprensión que me han brindado a través de toda mi vida y especialmente durante mis años de estudiante.

A MIS HERMANOS:

*ROSA*

*ANGELICA*

*JOSE RICARDO*

*ALEJANDRO*

*NORMA I SELA*

*RUBEN*

Con todo el amor de una hermana mayor

*A MIS AMIGOS*

Ya que sin ellos no hubiera podido lograr mi meta



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Roca Fosfórica Mexicana por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis en la unidad minera San Juan de la Costa, sobre todo al Ing. José Luis Aguilar, Gerente de Geología, quien me facilitó información y asesoría, así como su apoyo y confianza durante mi estancia en la unidad.

Igualmente, agradezco profundamente a los Ings. Angel Acosta Bernal y J. Moisés Martínez Camacho por todo el apoyo, conocimiento, motivación y amistad que me brindaron durante la realización de este trabajo, ya que sin ellos no hubiera sido posible su feliz término.

El M. en C. César Jacques Ayala aceptó amablemente dirigir la presente tesis, además de permitirme utilizar las instalaciones y equipo de la Estación Regional Noroeste del Instituto de Geología de la U.N.A.M., en donde terminé el desarrollo de trabajo. Deseo mencionar especialmente que en este sitio obtuve el inapreciable apoyo de todo el personal, por lo que me siento muy agradecida.

El Dr. Guillermo A. Salas, el Ing. Ricardo Amaya M. y la Geol. Margarita de la O aceptaron ser mis revisores de tesis, aportando valiosos comentarios y acertadas recomendaciones.

Son muchas las personas que de diversas maneras contribuyeron con este trabajo, a continuación cito sus nombres, en orden alfabético, esperando no cometer ninguna omisión y pidiendo disculpas si es que las hay.



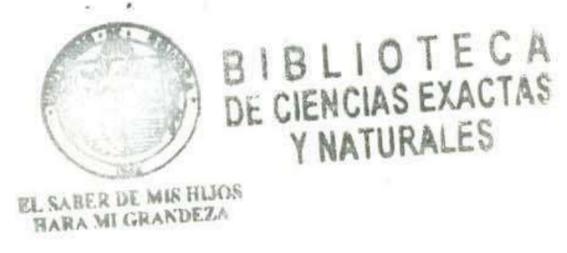
Apoyo técnico y académico:

Otros:

Sr. Miguel Almaráz.  
Geol. Rafaela Aranda.  
Dr. Thierry Calmus.  
Geol. Miguel Campusano.  
Sr. J. Ricardo Carreón.  
Ing. Jesús Cervantes.  
Ing. Mario Flores.  
Geol. Graciela Garduño.  
Geol. Tito Rey Montaña.  
Geol. Mariano Morales.  
Sr. Fernando Murrieta.  
Ing. Sergio Pantoja.  
M. C. Olivia Pérez.  
Ing. Eirén Pérez Segura.  
Ing. Gustavo Ponce de León.  
Dr. Luigi Radelli.  
Geol. Miguel Romero.  
Geol. Lourdes Vega.  
Geol. Ricardo Vega.

Geol. Guadalupe Arriola.  
Geol. Alejandrina Castro.  
Sra. Alejandra Galáz.  
Sra. Gloria de Martínez.  
Geol. Sergio Morfín.  
Geol. Hildebrando Ramos.  
Geol. José Alberto Rosas.  
Ing. Rolando Valenzuela.  
Geol. Guadalupe Yeomans.

EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA





EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

CONTENIDO

	pagina
RESUMEN . . . . .	i
DEDICATORIA . . . . .	iii
AGRADECIMIENTOS . . . . .	iv
CONTENIDO . . . . .	vi
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS . . . . .	viii
CAPITULO I	
INTRODUCCION . . . . .	1
OBJETIVO . . . . .	1
LOCALIZACION Y ACCESO . . . . .	1
TRABAJOS PREVIOS . . . . .	2
METODO DE TRABAJO . . . . .	3
CAPITULO II	
EL YACIMIENTO SAN JUAN DE LA COSTA . . . . .	8
GENERALIDADES . . . . .	8
Geología . . . . .	8
Origen . . . . .	10
Yacimientos minerales . . . . .	13
CAPITULO III	
PETROGRAFIA. . . . .	15
DESCRIPCION MEGASCOPICA . . . . .	15
DESCRIPCION MICROSCOPICA . . . . .	19
Composición mineralógica . . . . .	19

Relaciones intergranulares . . . . .	34
Alteraciones . . . . .	34



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARE MI GRAN LUNA  
Nacional - Universidad  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

CAPITULO IV

EL PROCESO DE CONCENTRACION Y LA PETROGRAFIA DE LOS PRODUCTOS . . . . .	40
PROCESO DE CONCENTRACION . . . . .	40
LA PETROGRAFIA DE LOS PRODUCTOS: SU RELACION CON EL DEPOSITO Y CON LA CONCENTRACION . . . . .	42
Descripción microscópica . . . . .	44

CAPITULO V

DISCUSION: LA PETROGRAFIA DEL DEPOSITO RELACIONADA CON EL PROCESO DE CONCENTRACION . . . . .	52
ALGUNOS PROBLEMAS ASOCIADOS . . . . .	52
La Liberación de los granos de francolita . . . . .	52
La Contaminación del mineral . . . . .	55
La flotación de los granos de francolita . . . . .	58
La zona norte, un problema especial . . . . .	58

CAPITULO VI

CONCLUSIONES . . . . .	62
------------------------	----

CAPITULO VII

REFERENCIAS CITADAS . . . . .	65
-------------------------------	----

A P E N D I C E

DESCRIPCION MICROSCOPICA DE LA ROCA Y DE LOS PRODUCTOS DE SU BENEFICIO . . . . .	68
DESCRIPCION MICROSCOPICA DE LA FOSFORITA . . . . .	71
DESCRIPCION MICROSCOPICA DE LOS PRODUCTOS DEL PROCESO DE BENEFICIO . . . . .	86



LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Fig.	1.-	Plano de localización, mostrando vías de acceso . . .	2
Fig.	2.-	Columna estratigráfica de la porción superior de la Fm. San Gregorio . . . . .	9
Fig.	3.-	Plano geológico-estructural del yacimiento San Juan de la Costa . . . . .	14
Fig.	4.-	Columnas litológicas representativas de la capa Humboldt, incluyendo la distribución cualitativa de los cementantes . . . . .	16
Fig.	5.-	Fotomicrografía del contacto superior de la capa Humboldt . . . . .	18
Fig.	6.-	Fotomicrografía de los componentes aloquímicos de la fosforita . . . . .	18
Tabla	1.-	Composición mineralógica de la fosforita de San Juan de la Costa, por zonas . . . . .	20
Fig.	7.-	Distribución del tamaño de los granos de francolita en las diferentes zonas del yacimiento . . . . .	21
Tabla	2.-	Composición química de la fosforita de San Juan de la Costa . . . . .	22
Tabla	3.-	Composición química de una muestra de francolita de San Juan de la Costa . . . . .	23
Fig.	8.-	Fotomicrografía de la fosforita cementada por esparita . . . . .	29
Fig.	9.-	Fotomicrografía de fosforita cementada por varias etapas de sílice . . . . .	29
Fig.	10.-	Gráfica de difracción de rayos X . . . . .	30
Fig.	11.-	Fotomicrografía de fosforita cementada por calcedonia . . . . .	33
Fig.	12.-	Fotomicrografía de calcificación de los oolitos . . . . .	37
Fig.	13.-	Fotomicrografía de la calcificación interna de los oolitos . . . . .	39
Tabla	4.-	Composición mineralógica de los concentrados . . . . .	43

Tabla 5.- Resultados de análisis químico realizado por sílice y carbonato de calcio, muestras representativas de las minas subterráneas y del Arroyo Tarabillas . . . . .	43
Fig. 14.- Fotomicrografía de los componentes del concentrado . . . . .	46
Fig. 15.- Fotomicrografía de los componentes de las colas . . . . .	48
Fig. 16.- Fotomicrografía de la composición de la cabeza general . . . . .	51
Fig. 17.- Fotomicrografía de la composición de los medios . . . . .	51
Fig. 18.- Fotomicrografía mostrando calcita y francolita como cementante . . . . .	54
Fig. 19.- Fotomicrografía de concentrado contaminado por la presencia de calcita . . . . .	57
Fig. 20.- Fotomicrografía de la cabeza general mostrando el material que inicia el proceso de concentración . . . . .	57
Fig. 21.- Fotomicrografía de la contaminación del concentrado y de las colas de Tarabillas . . . . .	60
Fig. 22.- Plano de localización de muestras . . . . .	70



# CAPITULO I

## INTRODUCCION



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingenieros  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

### OBJETIVO

El presente trabajo de tesis consiste en el estudio de las características petrográficas de la capa Humboldt, principal estrato mineralizado del yacimiento de fosforita de San Juan de la Costa, en Baja California Sur, con el fin de contribuir a las investigaciones que se realizan para mejorar el aprovechamiento metalúrgico del mineral y aumentar la recuperación.

### LOCALIZACION Y ACCESO

El yacimiento se localiza a los  $24^{\circ}30'$  de latitud norte y  $110^{\circ}45'$  de longitud oeste, en la costa oriental de la Bahía de la Paz, dentro del municipio del mismo nombre, estado de Baja California Sur.

El acceso a la unidad se hace por tierra, tomando la desviación a la altura del kilómetro 17 de la Carretera Transpeninsular Benito Juárez, desde donde se inicia un recorrido de 40 km sobre carretera pavimentada hasta San Juan de la Costa (Fig. 1).

## TRABAJOS PREVIOS

La geología del área se ha descrito ampliamente al quedar incluida en varios trabajos de tipo regional. Además, ha sido objeto de estudio a partir de su descubrimiento como yacimiento de interés económico en 1976. Algunos de estos trabajos son los de Hausback (1984), Quintus-Booz (1980), Riggs (1976), Escandón (1978), Salas (1979), Garduño (1987) y numerosos reportes inéditos, elaborados por los geólogos de ROFOMEX.

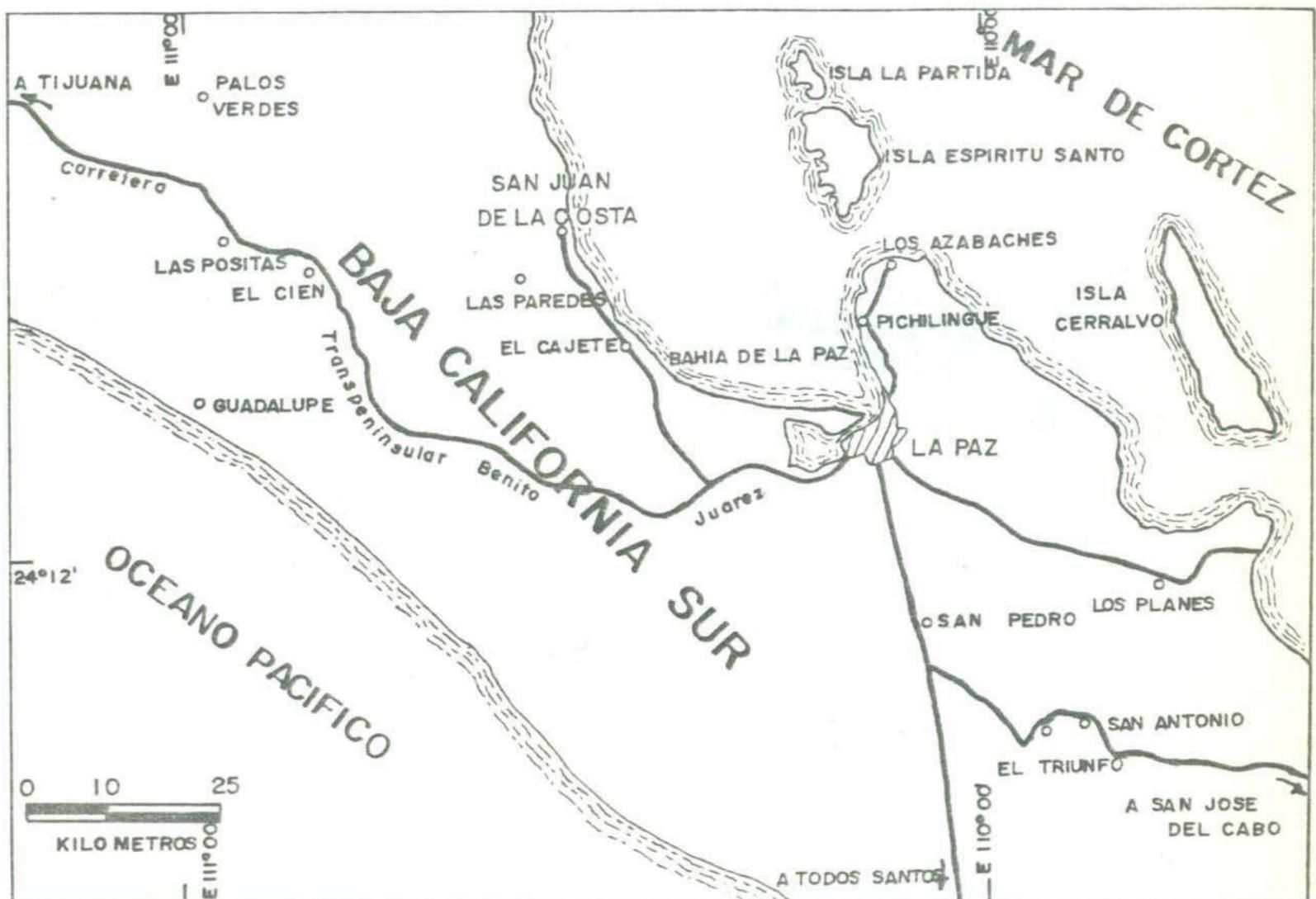


Figura 1.- Plano de localización, mostrando las vías de acceso (PEMEX, 1987).

## METODO DE TRABAJO

1942  
EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES



Para la elaboración de este trabajo se siguieron los pasos que a continuación se detallan:

EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Biblioteca de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

**Muestreo.** - Se utilizó un plano geológico-estructural escala 1:20,000 elaborado por ROFOMEX (1986) y se tomó como base la descripción de los reportes internos. La idea consistió en hacer un muestreo representativo del yacimiento considerando especialmente los sitios en donde el estrato presenta características irregulares, las que, de acuerdo con la experiencia, pueden afectar la recuperación metalúrgica. Se colectaron 85 muestras, de las cuales 20 corresponden a testigos de barrenos de exploración, 49 a cortes en el talud y zanjas de muestreo, 7 al avance en mina subterránea y 9 a los productos del proceso de beneficio de la roca fosfórica, que son: cabeza general, medios, concentrados y colas.

La cabeza general es el mineral que se encuentra entre el rango de la malla 28 y la malla 150, con el cual se inicia el proceso de recuperación, que en este caso es por flotación directa. Las colas son los desechos muy finos de una primera etapa de flotación. Durante una segunda etapa de flotación se obtienen dos productos: medios, que son desechos y el concentrado del mineral.

Las muestras colectadas se describieron con lupa, conservándose para estudio petrográfico aquellas que se consideraron representativas, siendo 51 en total.



En el apéndice I se presenta la localización de todas las muestras colectadas y la descripción de las conservadas para la petrografía.

**Elaboración de secciones delgadas.** - Las secciones delgadas de la roca fueron elaboradas por la autora. Su preparación requirió de cuidados extremos por tratarse de una roca altamente deleznable y heterogénea, ya que, siguiendo el método rutinario la mayoría de las muestras se desintegraban.

EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Dpto. Geología  
BIBLIOTECA

Las láminas de los productos del beneficio fueron elaboradas por el personal del laboratorio de laminación del Departamento de Geología de la UNI-SON.

**Descripción microscópica.** - El estudio al microscopio se realizó con énfasis en las características que, de acuerdo con los especialistas, pueden afectar la recuperación metalúrgica.

De acuerdo con la literatura (Huang, 1968; Bentor, 1980; Ehlers y Blatt, 1982; etc.), las fosforitas están clasificadas como rocas sedimentarias no clásticas con alto contenido de fosfatos, compuestas por partículas aloquímicas y ortoquímicas.

Las fosforitas de San Juan de la Costa incluyen dentro de las partículas aloquímicas a los oolitos, peletes, intra-clastos y fragmentos biógenos. En este trabajo solo se consideran de importancia aquellos que forman la mena, que

son los tres primeros, los cuales se han agrupados bajo el término "granos de francolita".

Los oolitos son esféricos, del tamaño de arena y tienen estructura radial o concéntrica. Generalmente tienen un núcleo que puede ser de cuarzo o fragmento de concha, alrededor del cual se acresiona el revestimiento de apatita. Los peletes carecen de estructura interna y núcleo, y los intraclastos son fragmentos de la misma fosforita que han sido retrabajados durante el depósito.

Debido a que los oolitos son los más abundantes, en las descripciones generales de este trabajo, se les considera como los únicos constituyentes de la mena.

El tamaño de los granos está en el rango de la arena. De acuerdo con la escala de Dietrich, *et. al.* (1982, sheet 17.1), los muy finos se encuentran entre 0.0625 y 0.125 mm, los finos van de 0.125 a 0,25 mm, los medios de 0.25 a 0.5 mm, los gruesos de 0.5 a 1 mm y los muy gruesos de 1 a 2mm.

Para establecer los rangos de los granos de francolita, se midieron con micrómetro unos 50 oolitos, observando el espacio ocupado en el campo del microscopio, de manera que, por comparación fuera posible determinar los tamaños de los granos.

Dentro de los componentes ortoquímicos de la roca se incluyen sus cementantes, los cuales son calcita, sílice, francolita y yeso.

Para la identificación de estos minerales se utilizaron criterios petrográficos comunes, excepto para el sílice, el



EL SABER DE MIS HEREDEROS  
UNIVERSIDAD DE SONORA  
Facultad de Ingeniería  
Dpto. Geología  
BIBLIOTECA

cual, debido a que su presentación amorfa es similar a la de la francolita, requirió del apoyo de análisis de difracción de rayos X.

Mauheim, et. al. (1980), utiliza la onda de yeso para la determinación de apatita y calcita en fosforita, por lo que en este trabajo también se hace uso de ella, logrando identificar incluso al ópalo.

Con este método, la francolita toma un color rojo escarlata muy característico, variando con la disminución del espesor de la lámina hasta magenta; para la calcita los colores son amarillo verdoso, rosa y azul, dependiendo del corte del cristal y del grado de extinción. Todas las formas de sílice adoptan colores muy fuertes, azul, violeta amarillo, naranja y verde, excepto la variedad criptocrystalina, en la que se observa un magenta similar al de la francolita; es posible diferenciarlo debido a su pseudoisotropía que presenta anomalías al girar la platina.

La descripción petrográfica de los productos del beneficio de la fosforita se realizó como apoyo, con el fin de conocer las propiedades de las partículas recuperables y de los desechos, y así poder compararlas con las de la roca minada. Para tal efecto se siguieron los métodos petrográficos comunes.

La composición mineralógica de la roca fue estimada utilizando la gráfica de comparación presentada por Dietrich, et. al. (1982, sheet 15.1).



Las composiciones mineralógica y química de las muestras estudiadas fueron apoyadas por los análisis de difracción de rayos X, por un análisis espectrográfico por fluorescencia de rayos X, por análisis químicos y por un estudio mineragráfico.

## CAPITULO II

### EL YACIMIENTO SAN JUAN DE LA COSTA

#### GENERALIDADES

##### Geología

La capa de fosforita denominada Humboldt forma parte de una secuencia sedimentaria marina conocida como Formación San Gregorio (Beal, 1948 en Hausback, 1984, p.221), cuya edad corresponde al Oligoceno tardío (Hausback, 1984).

La Formación San Gregorio (fig. 2) consiste de una alternancia de lutita silícea, arenisca tobácea, coquina y localmente algunos estratos de fosforita (Hausback, 1984, p. 221). Presenta estratificación cruzada y contiene abundantes restos de organismos y ceniza volcánica (Garduño, 1987). En el área de estudio alcanza un espesor de 30 a 65 m.

De acuerdo con Escandón (1978), en el área afloran dos tipos de rocas bien definidos. El inferior constituido por sedimentos marinos marginales, como son las formaciones San Gregorio y San Isidro, la cual descansa en discordancia erosional sobre la primera, presentando un espesor máximo de 235 m y cuya edad corresponde al Mioceno Medio; y el superior, formado por clastos volcánicos, continentales y marinos de la Formación Comondú del Mioceno Tardío-Plioceno, con un espesor de más de 500 m y que sobreyace en discor-

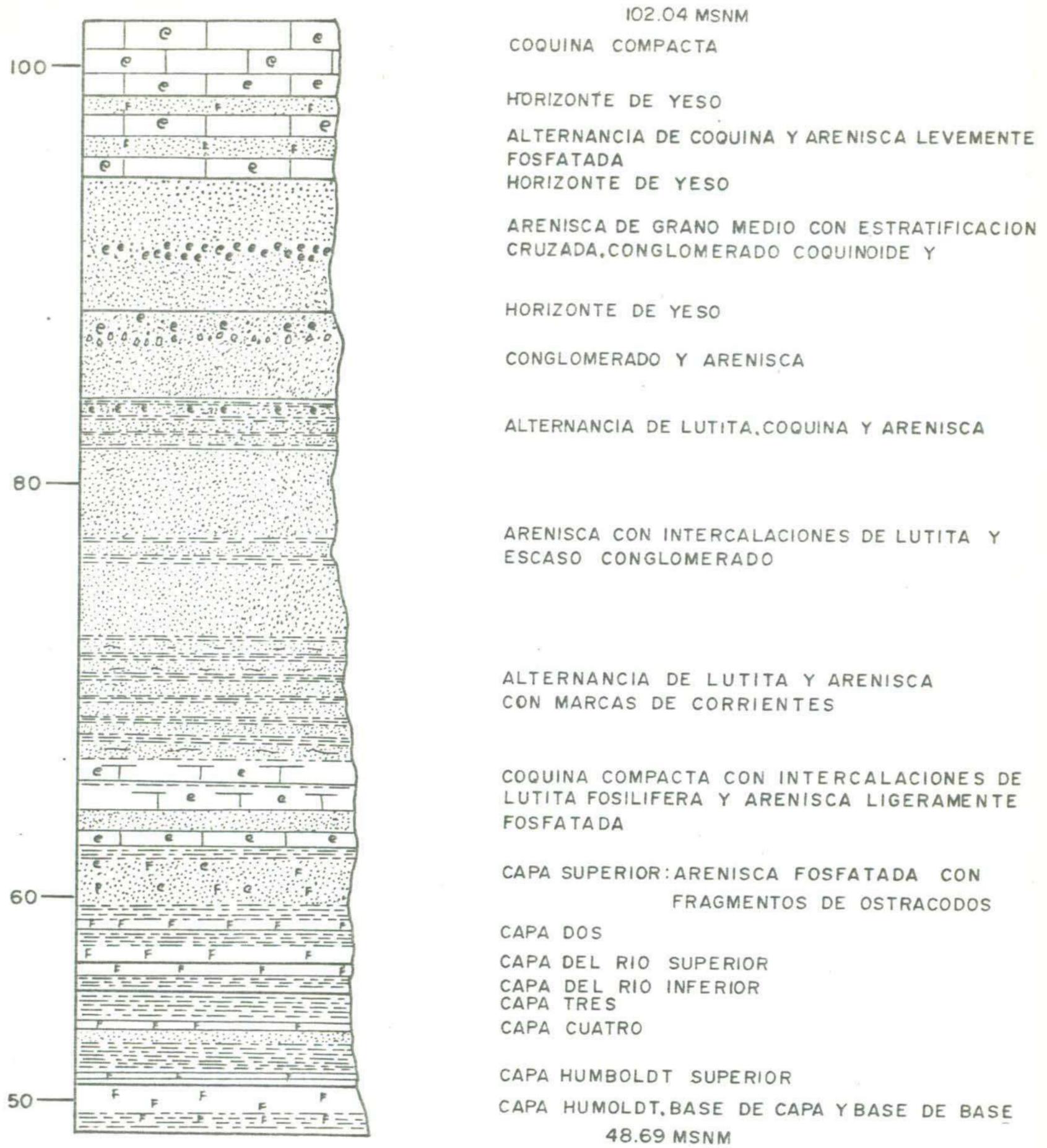


Figura 2.- Columna estatigráfica de la porción superior de la formación San Gregorio, tomando como límite inferior la base de la capa Humboldt. Barreno SJD-156-A, Mesa del Junco. (ROFOMEX, 1987).

dancia erosional a la Formación San Isidro. Dichas formaciones son descritas con detalle por Hausback (1984).

Geomorfológicamente, los rasgos más prominentes son las mesetas erosionales formadas en el contacto San Gregorio-San Isidro, las cuales se elevan entre los 90 y 110 m s.n.m. Hacia el poniente, las rocas vulcanosedimentarias constituyen una abrupta sierra de más de 500 m de elevación originada por fallamiento en bloques y por intemperismo (Escandón, 1978).

Existen tres sistemas de fallas que cortan y desplazan a la capa Humboldt. El principal presenta una tendencia general NE - SW y consiste de fallas normales que forman horsts y grabens (ROFOMEX, 1986). La mayor de las fallas es la Fotosí, la cual tiene un echado de 70° al SE y un salto de más de 200 m, constituyendo el límite sur del yacimiento al poner en contacto a las formaciones San Gregorio y Comondú. Otras fallas prominentes son la Del Barco y la Salvatierra, las cuales forman un graben en el Arroyo del Junco con un hundimiento de más de 17 m. La mayoría de las fallas son de tijera y presentan saltos de entre 2 y 10 m (Escandón, 1978).

#### Origen

Un sistema fosfogénico es la conjunción simultánea de numerosos factores geológicos, físicos, químicos y biológicos que moldean un ambiente de sedimentación muy especi-

fico, cuyo resultado final es la formación de un yacimiento sedimentario de roca fosfórica (Riggs, 1978 en Martínez Vera, 1979).

Entre las condiciones geológicas generales que caracterizan a los yacimientos de fosfatos, Martínez Vera (1979) cita las siguientes:

1.- Los periodos fosfogenéticos se presentan a lo largo de toda la tabla geológica, con aparente ausencia en los periodos Triásico y Silúrico.

2.- La distribución de los depósitos de fosforita está limitada a latitudes y paleolatitudes que varían entre los 5° y 42° tanto norte como sur.

3.- Estos yacimientos forman cinturones con longitudes de 1,500 km y 150 a 300 km de ancho.

4.- Los espesores de las capas fosfatadas son relativamente pequeños, variando desde unos cuantos centímetros hasta 8 m.

5.- Dichas capas de fosforita generalmente alcanzan leyes que varían entre 6 y 30% de  $P_2O_5$  y se encuentran interestratificadas en una secuencia de sedimentos normales.

6.- Las fosforitas están relacionadas con minerales autigénicos como calcita, minerales arcillosos ricos en magnesio, pedernal y glauconita.

7.- La generación de fosforita está asociada a fenómenos volcánicos que aportan gran cantidad de fosfatos y flúor, además de provocar la muerte masiva de la fauna presente.

8.- La gran mayoría de los depósitos fosfatados se localiza adyacente a antiguas zonas áridas.

Es en condiciones como las anteriores en las que se apoya Kasakov (1939 en Bentor, 1980) al presentar la teoría más antigua y aceptada para el origen de las fosforitas. Dicha teoría propone como la fuente de fósforo a las corrientes oceánicas ascendentes de aguas frías cargadas de nutrientes (surgencias) y, como mecanismo de precipitación del fosfato a la sobresaturación del mismo dentro de un mar somero de aguas cálidas, con baja presión y un pH ligeramente alcalino.

Otros autores (Bushinski, 1964; Pevear, 1966, en Martínez Vera, 1979) proponen que el aporte de fosfatos proviene de los ríos o de la fauna marina.

El origen del yacimiento de fosforita de San Juan de la Costa ha sido explicado hasta la fecha con la teoría de Kasakov. Riggs (1976), Martínez Vera (1979) y otros indican que durante el Oligoceno el área reunía todos los requisitos propuestos por Kasakov, es decir, un mar tranquilo y somero formado por dos cuencas, latitudes y temperaturas apropiadas, baja presión, vulcanismo activo cercano, zona de surgencias, ambiente reductor, presencia de materia orgánica, etc. Consideran la formación de oolitos, peletes, intraclastos y estructuras sedimentarias como una consecuencia de las corrientes y la actividad biológica dentro de la misma cuenca.

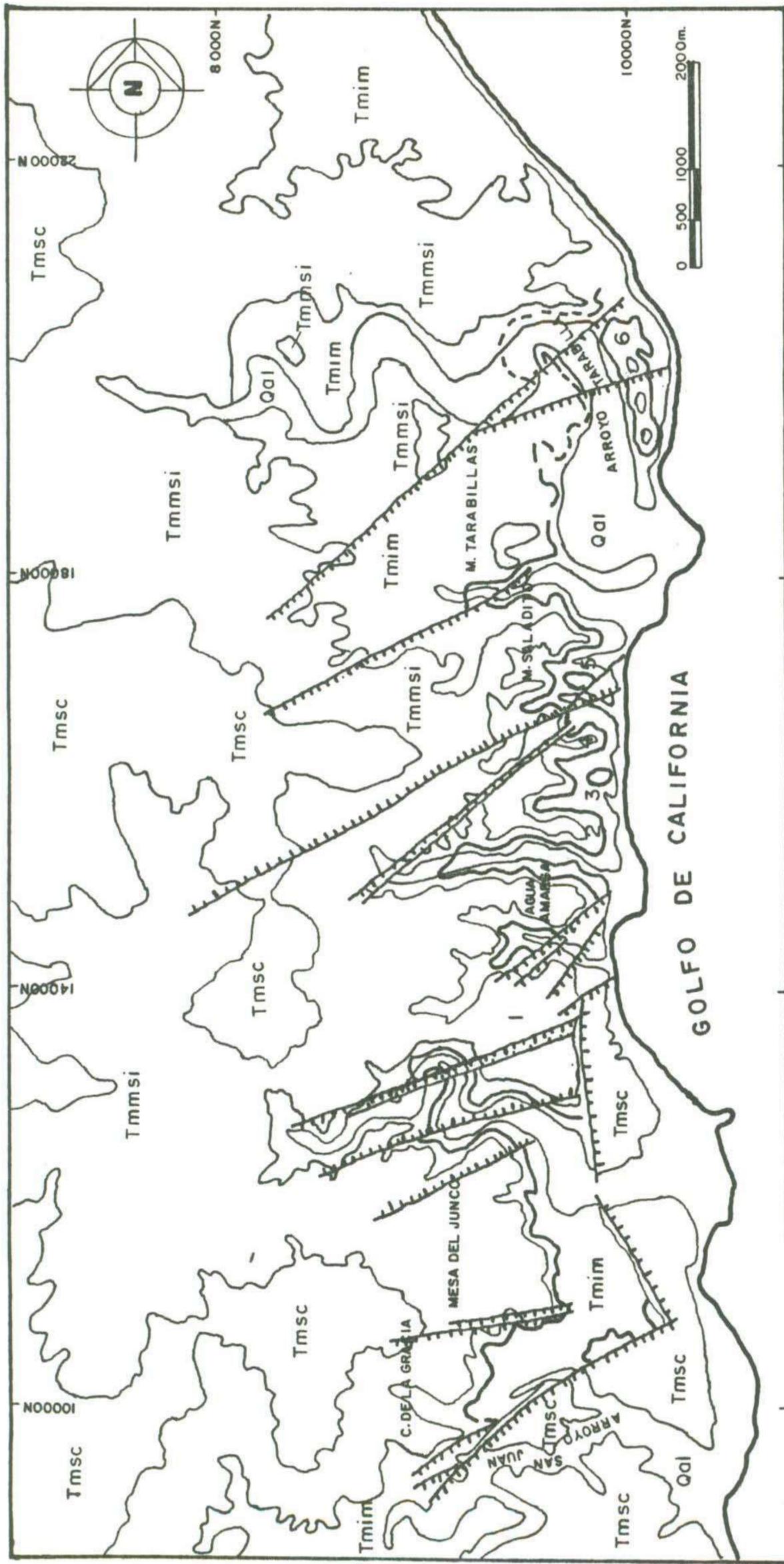
Y. K. Bentor (1980) concluye que el origen de las fosforitas es un problema sin resolver. Propone abandonar la teoría de Kasakov debido a una serie de razones, siendo la principal la poca probabilidad de que las surgencias provean el fósforo necesario para la sobresaturación requerida y las condiciones químicas ideales para la precipitación de este.

#### Yacimientos Minerales

La capa Humboldt es, por su espesor y ley, la única económicamente explotable. Se cuenta con una superficie de 20 km<sup>2</sup> y hasta finales de 1986 se tenían cubicadas 36 millones de toneladas con 20.15% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. El programa de exploración continúa hacia el oeste, ampliando las reservas constantemente.

A la fecha, el sistema extractivo es exclusivamente subterráneo ya que las zonas de bajo encape, requeridas para la explotación a tajo abierto, se han agotado. La extracción se lleva a cabo en varias zonas a la vez por lo que el mineral con que se alimenta a la planta de beneficio puede provenir de cualesquiera de ellas.

Para los fines de estudio y explotación de que ha sido objeto, el yacimiento se ha dividido por zonas en forma correspondiente con los rasgos topográficos de mesas y cañadas (fig. 3), mismas divisiones que serán utilizadas en el presente trabajo para facilitar la descripción.



- |                            |  |                 |
|----------------------------|--|-----------------|
| CONTACTO GEOLOGICO         |  | 1 M. CRUCECITA  |
| FALLA                      |  | 2 M. CALERA     |
| AFLORAMIENTO CAPA HUMBOLDT |  | 3 M. DELFINES   |
| ALUVION                    |  | 4 M. TULE       |
| FORMACION-COMUNDO          |  | 5 M. VACA       |
| FORMACION SAN ISIDRO       |  | 6 M. DEL TESORO |
| FORMACION SAN GREGORIO     |  |                 |

Figura 3.- Plano Geológico - Estructural del yacimiento San Juan de la Costa. ( ROFOMEX , 1986 ).

## CAPITULO III

### PETROGRAFIA

#### DESCRIPCION MEGASCOPICA

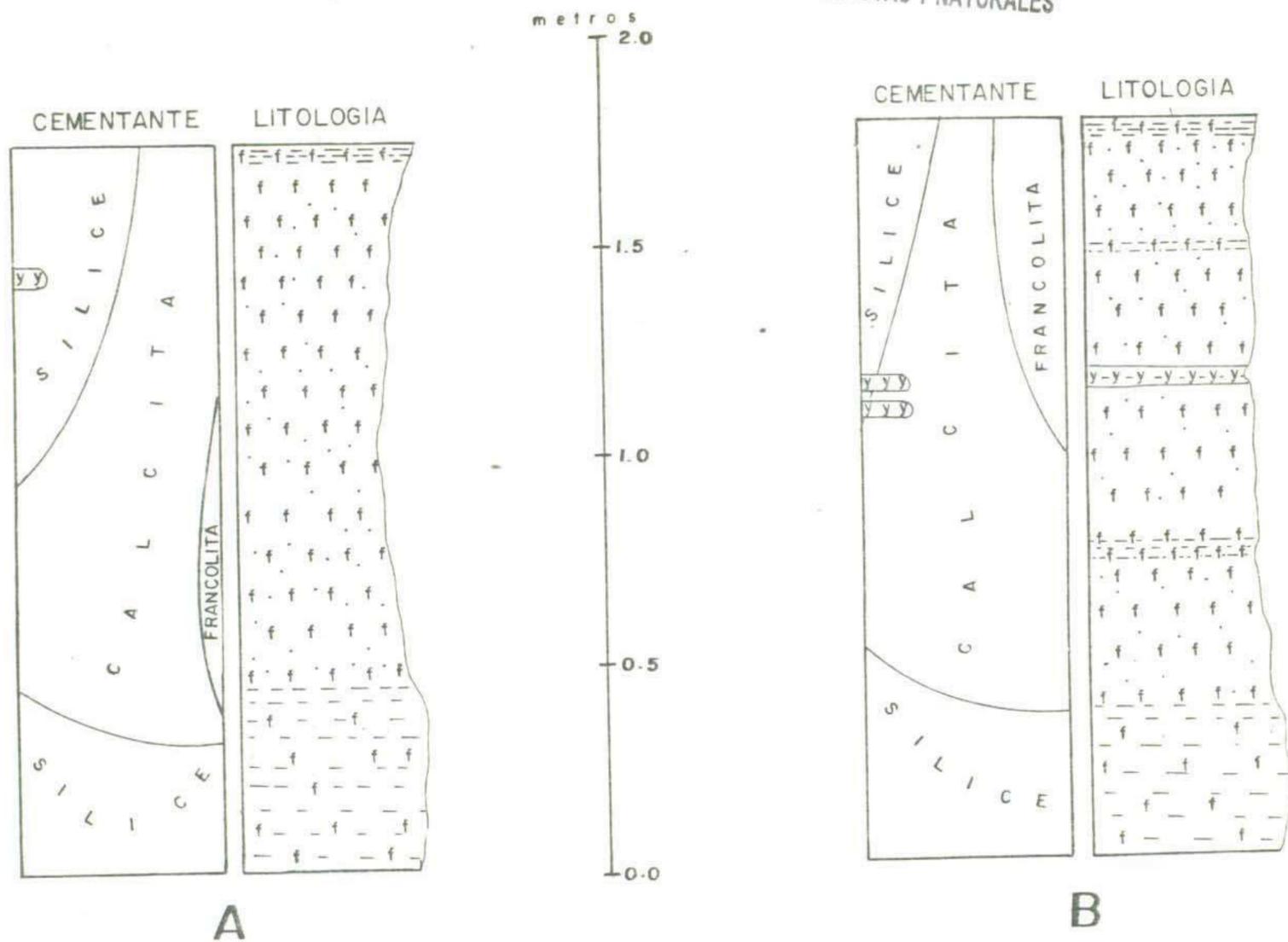
La capa Humboldt es un estrato subhorizontal, con 2° a 5° de inclinación, de fosforita con textura oolítica arenacea, de grano fino, bien clasificada, cuyo color varía entre el crema y el gris claro. Generalmente es deleznable, estando mucho mejor consolidada hacia el norte del yacimiento.

La fosforita está constituida principalmente por granos esferoidales de fosfato. Otros minerales presentes son cuarzo, feldespato, mica, fragmentos volcánicos, minerales opacos, óxidos, pocas arcillas, fragmentos de huesos y conchas, abundante yeso, calcita y sílice.

El espesor de la capa varía desde 0.15 m (Arroyo Tarabillas y la zona central de la mesa del Junco), hasta 2.35 m, (Mesas de la Calera y de la Vaca). El espesor promedio es de 1.45 m.

La figura 4 muestra dos columnas litológicas representativas de la capa, incluyendo la distribución cualitativa del cementante.

El contacto superior de la capa Humboldt es abrupto y concordante con un estrato de lutita que contiene concreciones calcáreas (Fig. 5). El contacto basal es gradual,

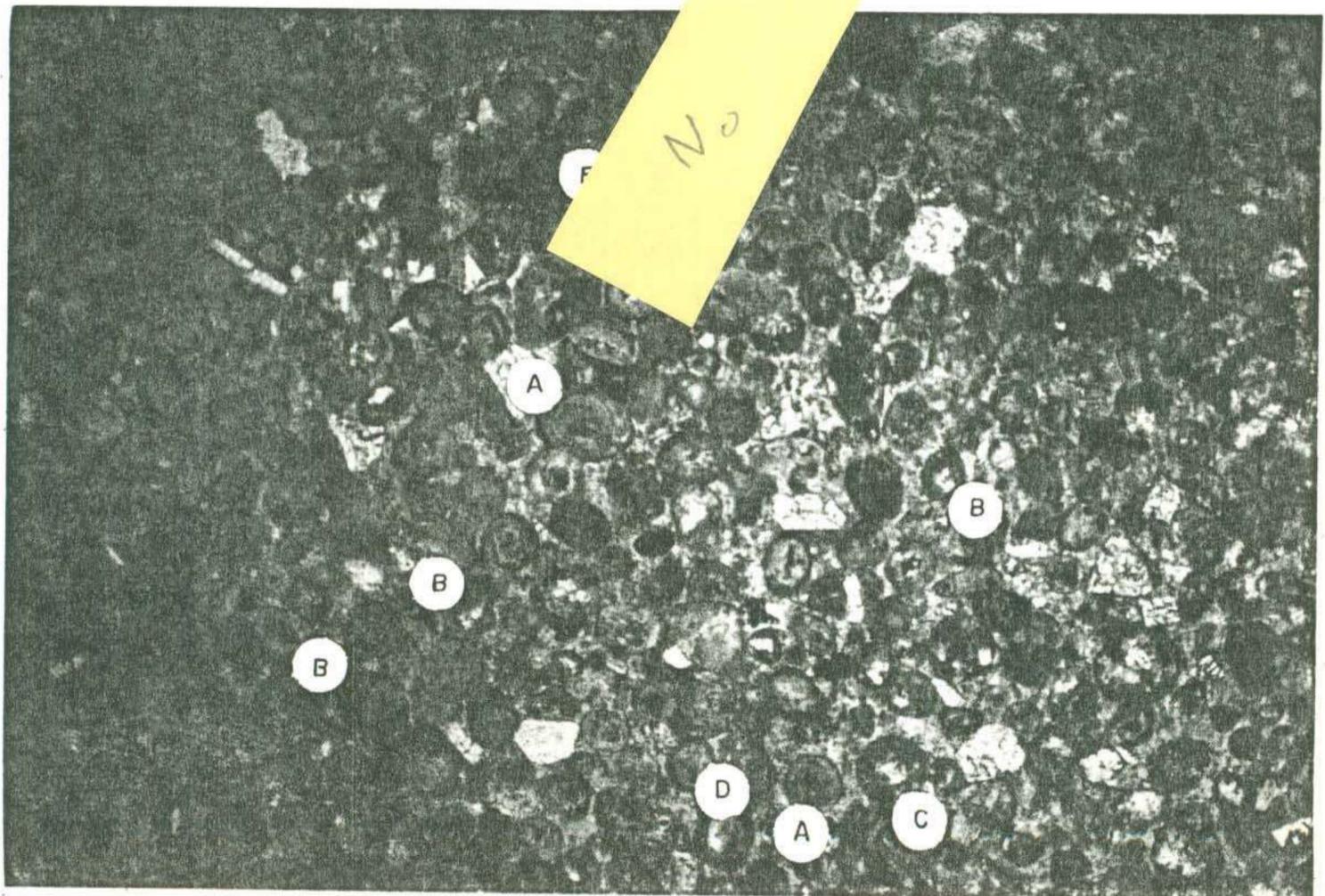
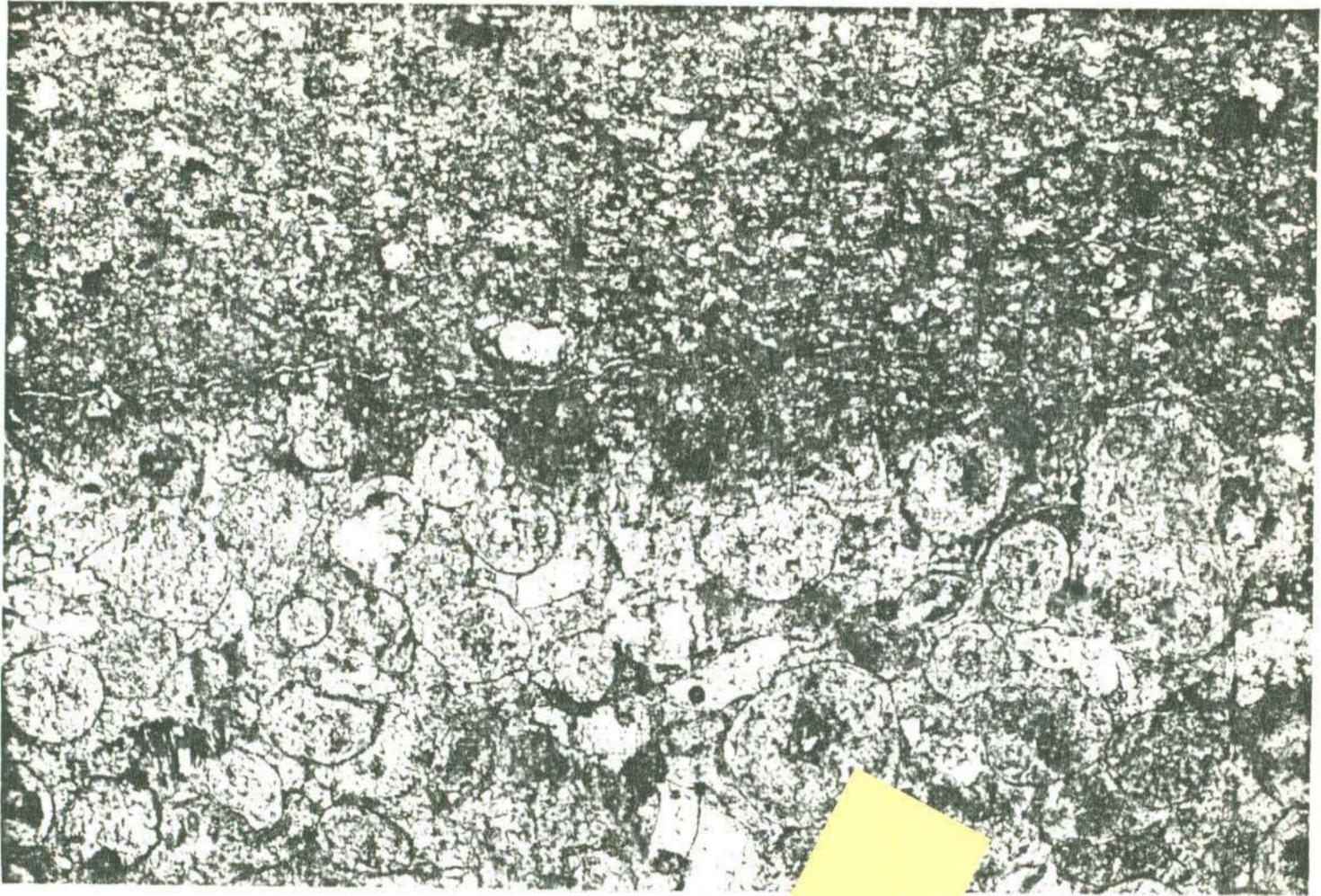


### L I T O L O G I A

	Fosforita		Arcilla
	Arena		Yeso

Fig. 4 Columnas litológicas representativas de la capa Humboldt, incluyendo la distribución cualitativa de los cementantes. A-Mesa del Saladito B-Mesa del Junco, en la que se incluye un horizonte de Yeso presente en gran parte del yacimiento.





presentando una mezcla heterogénea de fosforita, fragmentos de lutita gris y arenisca tobácea, con aparentes evidencias de retrabajo sin transporte (Escandón, 1978). A ésta zona de transición, de 0.45 m en promedio, se le conoce como "base de la capa" y es considerada como parte de ella.

#### DESCRIPCION MICROSCOPICA

El estudio al microscopio se enfatizó especialmente en los granos de fosfato, que son las partículas recuperables, y en el material intergranular, que en la mayoría de los casos se comporta como un verdadero cementante y proporciona sus características a la roca. Por el sentido metalúrgico de este trabajo, el resto de los componentes tiene poca importancia, debido a su escaso contenido, a menos que se observen alterando a los componentes principales.

En la Tabla 1 se muestra la composición mineralógica de la capa, por zonas, mientras que en la Tabla 2 se presenta la composición química general de la roca.

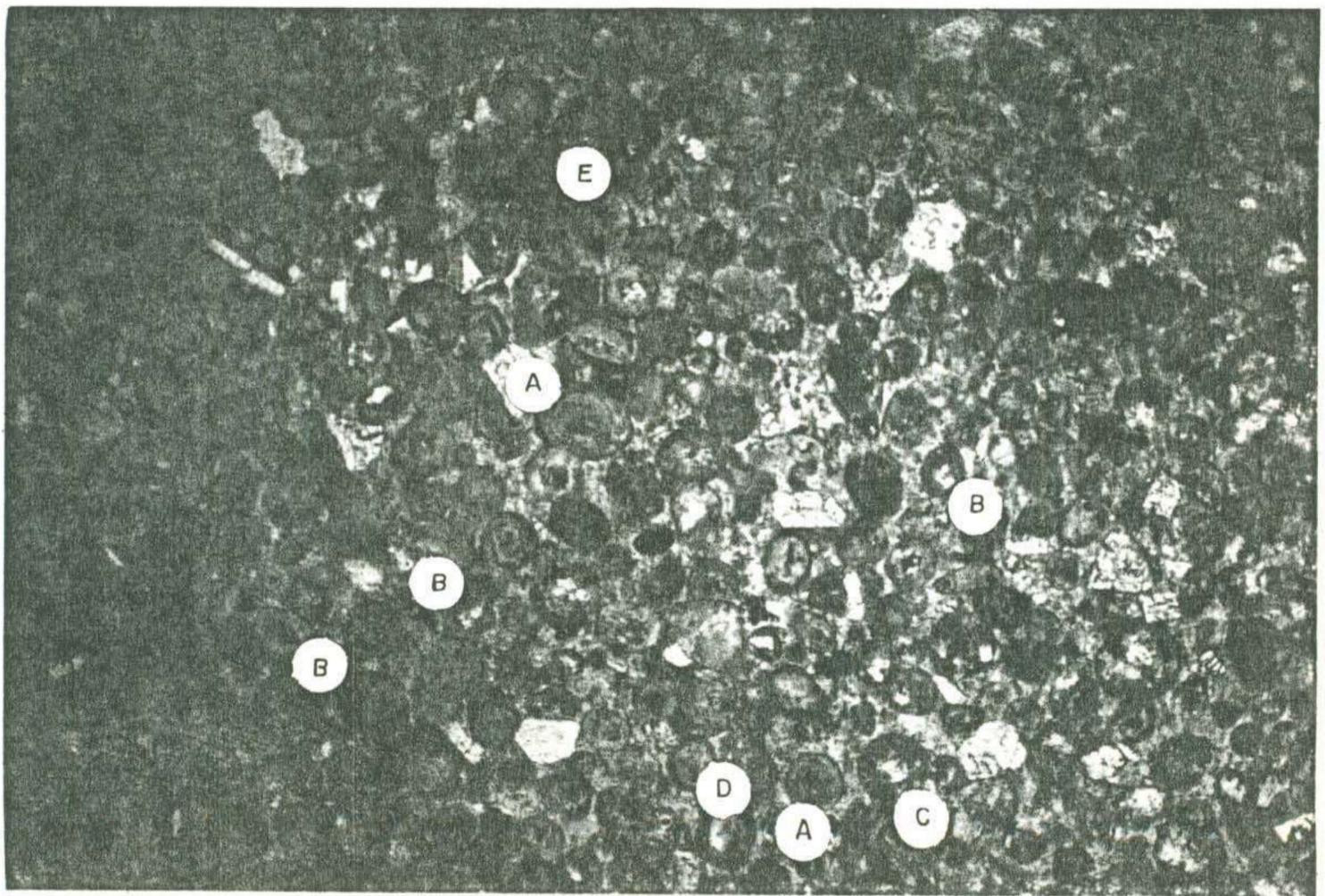
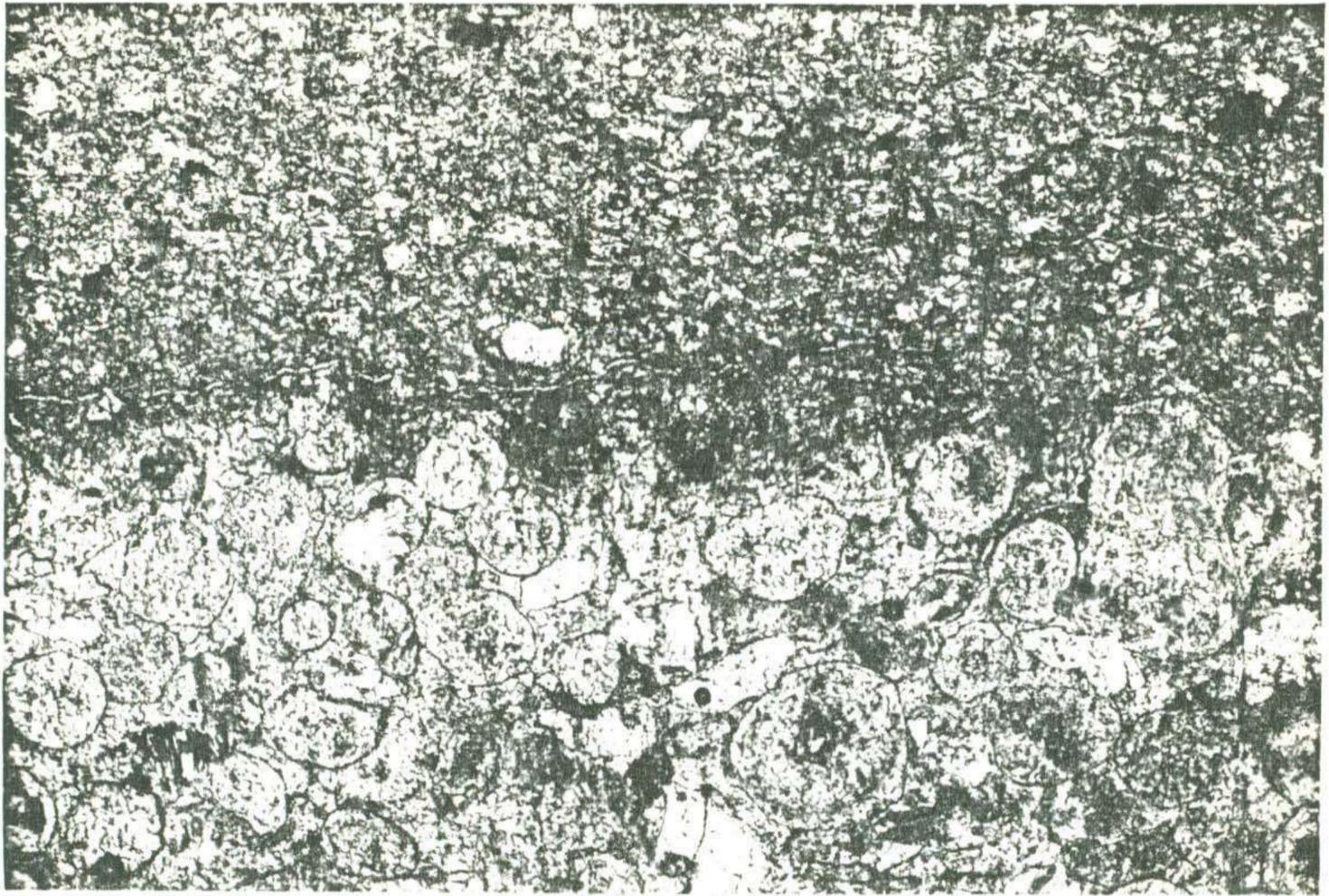
#### Composición mineralógica

##### Aloquímicos

Los aloquímicos son oolitos, peletes, intraclastos y fragmentos de huesos y conchas, siendo los primeros los de mayor abundancia (Fig. 6). Su distribución granulométrica en

Fig. 5.- Fotomicrografía del contacto superior de la capa Humboldt. Notese que se trata de un contacto abrupto regular. Luz natural, ampliación 80 X.

Fig. 6.- Fotomicrografía de los componentes aloquímicos de la fosforita. (A), oolitos con varias capas; (B), oolitos superficiales; (C), oolitos con núcleo y sin estructura; (D), oolitos sin núcleo y con varias capas; (E), peletes. Luz natural, ampliación 40 X.



presentando una mezcla heterogénea de fosforita, fragmentos de lutita gris y arenisca tobácea, con aparentes evidencias de retrabajo sin transporte (Escandón, 1978). A esta zona de transición, de 0.45 m en promedio, se le conoce como "base de la capa" y es considerada como parte de ella.

#### DESCRIPCION MICROSCOPICA

El estudio al microscopio se enfatizó especialmente en los granos de fosfato, que son las partículas recuperables, y en el material intergranular, que en la mayoría de los casos se comporta como un verdadero cementante y proporciona sus características a la roca. Por el sentido metalúrgico de este trabajo, el resto de los componentes tiene poca importancia, debido a su escaso contenido, a menos que se observen alterando a los componentes principales.

En la Tabla 1 se muestra la composición mineralógica de la capa, por zonas, mientras que en la Tabla 2 se presenta la composición química general de la roca.

#### Composición mineralógica

##### Aloquímicos

Los aloquímicos son oolitos, peletes, intraclastos y fragmentos de huesos y conchas, siendo los primeros los de mayor abundancia (Fig. 6). Su distribución granulométrica en

fosfatados están formados por francolita, una variedad de apatita (carbonato-fluorapatita) de la que se componen todas las fosforitas marinas reportadas en el mundo. Por ser

LOCALIZACION	G F	F*	C	S	Y	T	M A
C. LA GRACIA	68	5	17	--	--	10	--
JUNCO/CASETA	65	5	14	6	--	7	3
M. DEL JUNCO	66	-	17	1	--	6	3
M. Y C. CRUCESITA	68	7	9	8	--	10	3
JUNCO/CRUCESITA	67	6	5	11	--	9	2
C. AGUA AMARGA	69	2	14	3	1	11	--
CALER/TULE/VACA	68	5	14	1	4	8	--
M. DEL SALADITO	62	2	12	10	--	11	3
ARR. TARABILLAS	60	-	7	15	1	15	2
ZONA SW	61	1	23	3	--	11	1
ZONA NW	62	-	10	12	--	14	2

Tabla 1.- Composición mineralógica de la fosforita de San Juan de la Costa, por zonas. Los valores dados son en porcentaje promedio. G F, granos de francolita; F, francolita; C, calcita; S, sílice; Y, yeso; T, terrígenos; M A, minerales del tamaño de arcilla. \* Los valores son estimados por confundirse con sílice; generalmente se considera como un agregado.

las diferentes zonas del depósito está representada en la figura 7.

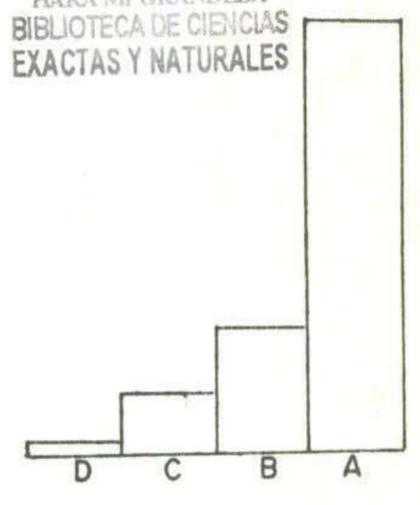
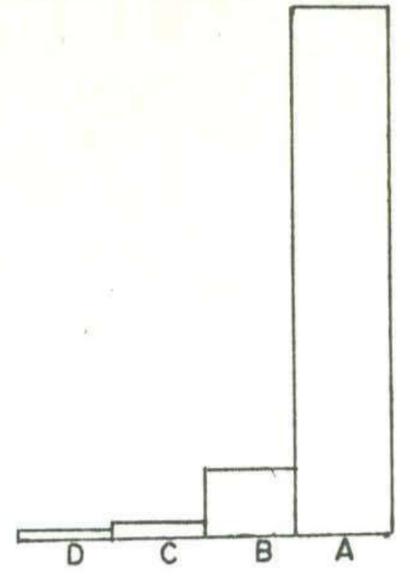
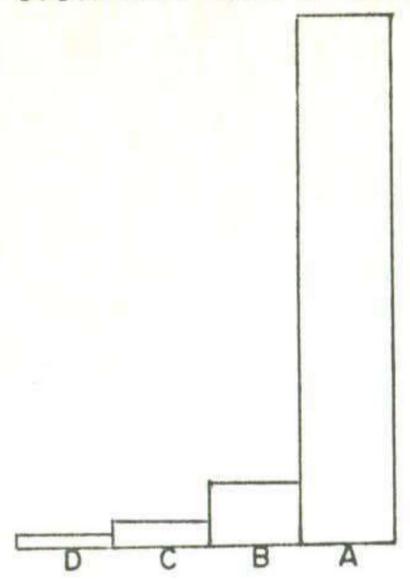
De acuerdo con Espinoza (1982, p.13) todos los granos fosfatados están formados por francolita, una variedad de apatita (carbonato-fluorapatita) de la que se componen todas las fosforitas marinas reportadas en el mundo. Por ser

100%  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

C. GRACIA-ARR. SAN JUAN      M. CASETA-M. JUNCO S.

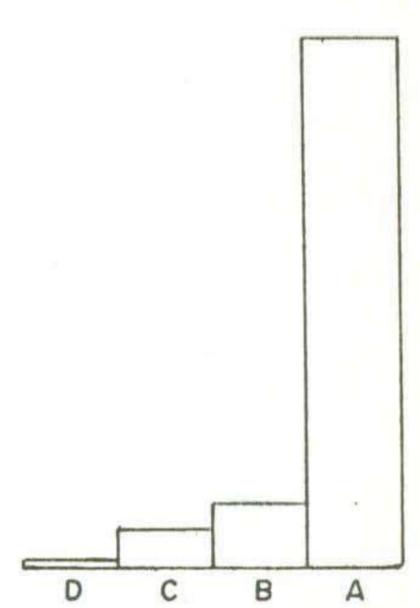
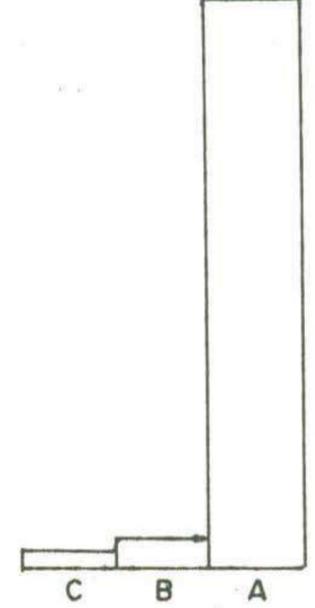
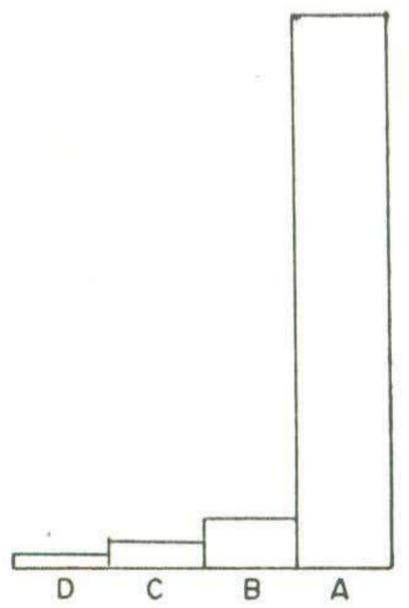


M. DEL JUNCO  
1942  
EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES



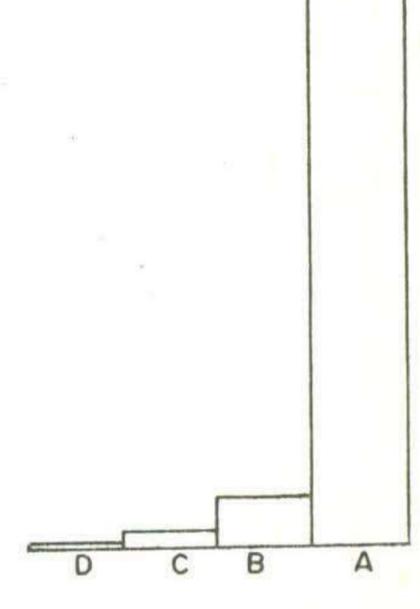
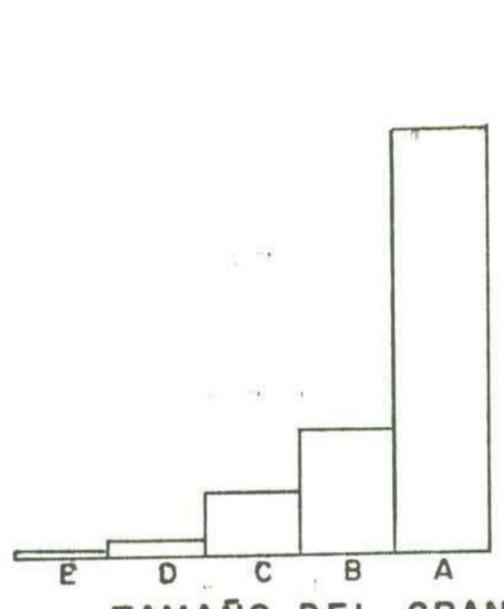
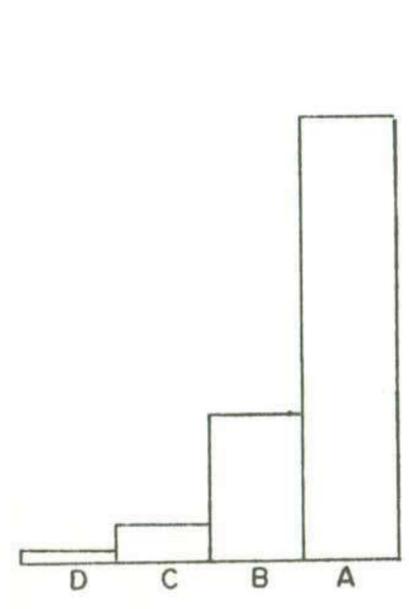
100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

M. DE LA CRUECITA      C. DEL AGUA AMARGA      M. CALERA-TULE-VACA



100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

M. DEL SALADITO      ARR. TARABILLA      ZONA PONIENTE



TAMAÑO DEL GRANO

Figura 7.- Distribución del tamaño de los granos de francolita en las diferentes zonas de yacimientos. (A) muy finos; (B) finos; (C) medios; (D) gruesos; (E) muy gruesos (según Dietrich, 1982).

COMPUESTO	%
$P_2O_5$	24.60
CaO	47.60
$SiO_2$	15.36
$CaCO_3$	8.30
$Al_2O_3$	5.19
FeO	1.40
$Na_2O$	0.87
MgO	0.78
$SO_4$	0.56
$K_2O$	0.54

Tabla 2.- Composición química de la fosforita de San Juan de la Costa. ROFOMEX (reporte interno, 1986).

criptocristalina es también llamada colofano y su fórmula general es  $Ca_5(PO_4, CO_3)_3(F, OH)$ .

En la tabla 3 se presenta la composición química de una muestra de francolita de San Juan de la Costa.

**Oolitos.**- Los oolitos son esferoidales y sus tamaños varían en el rango de la arena (0.06 a 1.7 mm), siendo los más abundantes menores que 0.5 mm.

Los muy finos generalmente presentan un núcleo rodeado de una sola capa de colofano, llamados por Flugel oolitos

FRANCOLITA	
COMPUESTO	%
$PO_4$	51.06
Ca	39.69
Mg	0.17
Na	0.42
F	4.40
$CO_3$	4.26
$CaO/P_2O_5$	≈ 1.5

Tabla 3.-Composición química de una muestra de francolita de San Juan de la Costa, incluyendo la relación carbonato-fosfato. Modificado de Espinoza de León (1982) y Escandón (1978).

superficiales (1978, p.145). El resto muestra dos o tres capas de crecimiento, delimitadas por cambios en la coloración o por una delgada película de composición no fosfática. Es común su apariencia fibrosa concéntrica debida a la abundancia de dichas películas de material criptocristalino.

En algunas zonas las estructuras de los oolitos son poco claras o no existen, lo que de acuerdo con Flügel (1978, p. 145) corresponde a cierto grado de recristalización. Es frecuente encontrarlos multiples, con abundantes microfracturas debidas quizá a desecación, incompletos, calcificados, ligeramente silicificados o muy hematizados.

Aproximadamente al 50% de los oolitos se les observa el núcleo, el cual puede ser céntrico o excéntrico, simple o múltiple y de tamaño que varía de manera más o menos inversamente proporcional al de los oolitos. Los núcleos más comunes son menores que  $1/4$ , aunque algunos pueden sobrepasar  $1/2$  del total del grano. Los minerales que los conforman son, en orden de abundancia: plagioclasa, cuarzo, feldespato, pedernal, mica, fragmentos biógenos, óxidos, minerales opacos, calcita y pequeños peletes.

Tanto la calcita como los óxidos se encuentran reemplazando abundantemente a los núcleos originales, sin embargo, aún se conserva parte de ellos.

Cabe aclarar que en un 50% de los casos no fue posible observar el núcleo, lo que no necesariamente indica su inexistencia, ya que uno de los motivos puede ser el corte de los oolitos al ser elaborada la sección delgada.

**Peletes.**- Los peletes frecuentemente presentan formas elípticas, su tamaño es mayor que en los oolitos, siendo más abundantes los de 0.25 mm. hasta 1.7 mm.; presentan textura moteada debida a la oxidación y evidencias de corrosión en los bordes, tal vez debida a ataques de organismos (Garduño, 1987). Representan del 10% al 15% de la mena.

**Intraclastos.**- Los intraclastos son fragmentos irregulares, generalmente redondeados, algunos de los cuales

contienen oolitos muy finos y fragmentos de cristales del tamaño de arcilla y hasta arena. Es posible observar el desvanecimiento de las estructuras circulares hasta convertirse en una masa criptocristalina en la que se preservan antiguos núcleos.

**Fragmentos biógenos.**- Los restos de organismos son abundantes y de composición calcárea, aunque es posible encontrarlos hematizados y fosfatizados. Son principalmente foraminíferos, restos de conchas, fragmentos de huesos y algas. En ocasiones sirven como núcleos de oolitos, aunque generalmente se encuentran dispersos entre la calcita, siendo reemplazados por ella hasta llegar a constituir parte del cementante. No han sido identificados por no considerarse de importancia para el presente trabajo.

#### Terrígenos

Los principales terrígenos son plagioclasas (oligoclase) euhedrales, macladas y zoneadas, con alteración a sericita y a calcita, y representan casi el 90% de ellos. Otros fragmentos presentes son feldespato potásico, cuarzo, pedernal, biotita y abundantes fragmentos de rocas volcánicas. Sus tamaños varían desde limo como en el caso del cuarzo, el cual se presenta subredondeado, a arena gruesa, como en las plagioclasas y los feldespatos, los cuales tienden ser angulosos, y hasta muy gruesa, como los frag

mentos redondeados de tobas. Probablemente provienen del vulcanismo de la Sierra Madre Occidental (Hausback, 1984, p. 221).

#### Ortoquímicos

**Calcita.** - El cementante principal es esparita (Fig. 8) y se observa como un mosaico de grano grueso englobando a los oolitos. Es notorio el gran espaciamiento entre granos que provoca su presencia, además del abundante reemplazamiento del que los hace objeto. Se encuentra mezclada con pequeñas cantidades de micrita en parches, y se relaciona con restos de organismos y algunas arcillas. Proporciona a la roca una consistencia firme.

Es probable que se tengan dos etapas de cementación por calcita. La primera, representada por el material que forma las aureolas de los oolitos, cuya acción parece ser sumamente corrosiva, lo que se discutirá posteriormente; la segunda etapa dió lugar a la esparita que ocupa los espacios intergranulares.

La calcita se encuentra cementando principalmente a la porción central de la capa. En la parte superior generalmente coexiste con los otros cementantes, mientras que en la base no se encuentra.

**Colofano.** - El cementante de francolita se presenta generalmente en agregados con arcillas y micrita. Debido a su carácter isotrópico y a su color pardo en luz natural es

EL SABER DE NIS RIGOS  
HARA MI GRANDELA  
Instituto de Geología  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

difícil de identificar, confundiéndose con masas fosfáticas o con sílice amorfo. Su presencia da como resultado una mala consolidación en la roca.

**Sílice.**- El sílice se presenta cementando a toda la base de la capa y, localmente, a la porción superior de la misma (los primeros 65 cm), sobre todo hacia el norte del yacimiento. De acuerdo con lo observado en la figura 9, se piensa que existen por lo menos tres fases de cementación por sílice, aunque esto se observó sólo en una lámina.

Generalmente el sílice es amorfo y se identifica como ópalo, el cual, debido a su carácter pseudoisotrópico, a su relieve bajo y al color pardo en luz natural, es fácilmente confundible con el colofano. Análisis de difracción de rayos X, elaborados por la Comisión de Fomento Minero (Patiño, com. escrita, 1986; Zayas, com. escrita, 1988), indican que se trata de la variedad cristobalita (Fig. 10), la que de acuerdo con Heinrich (1970, p. 77), se puede presentar criptocristalina y desordenada, formando ópalo.

En algunos lugares el ópalo está asociado con cuarzo microcristalino o con calcedonia, fácilmente reconocibles. Los rayos X indicaron la presencia de tridimita, la cual no fue identificada petrográficamente.

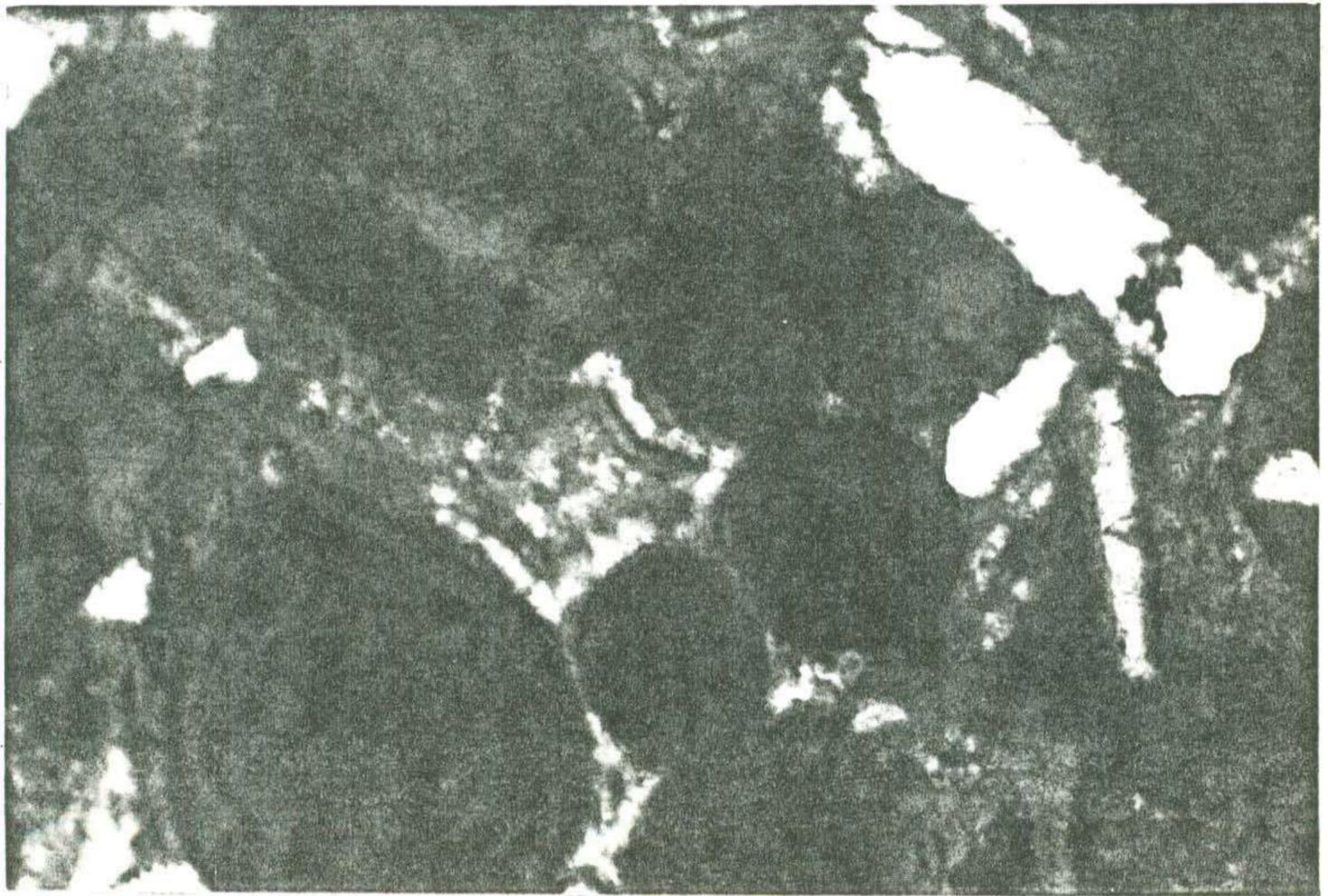
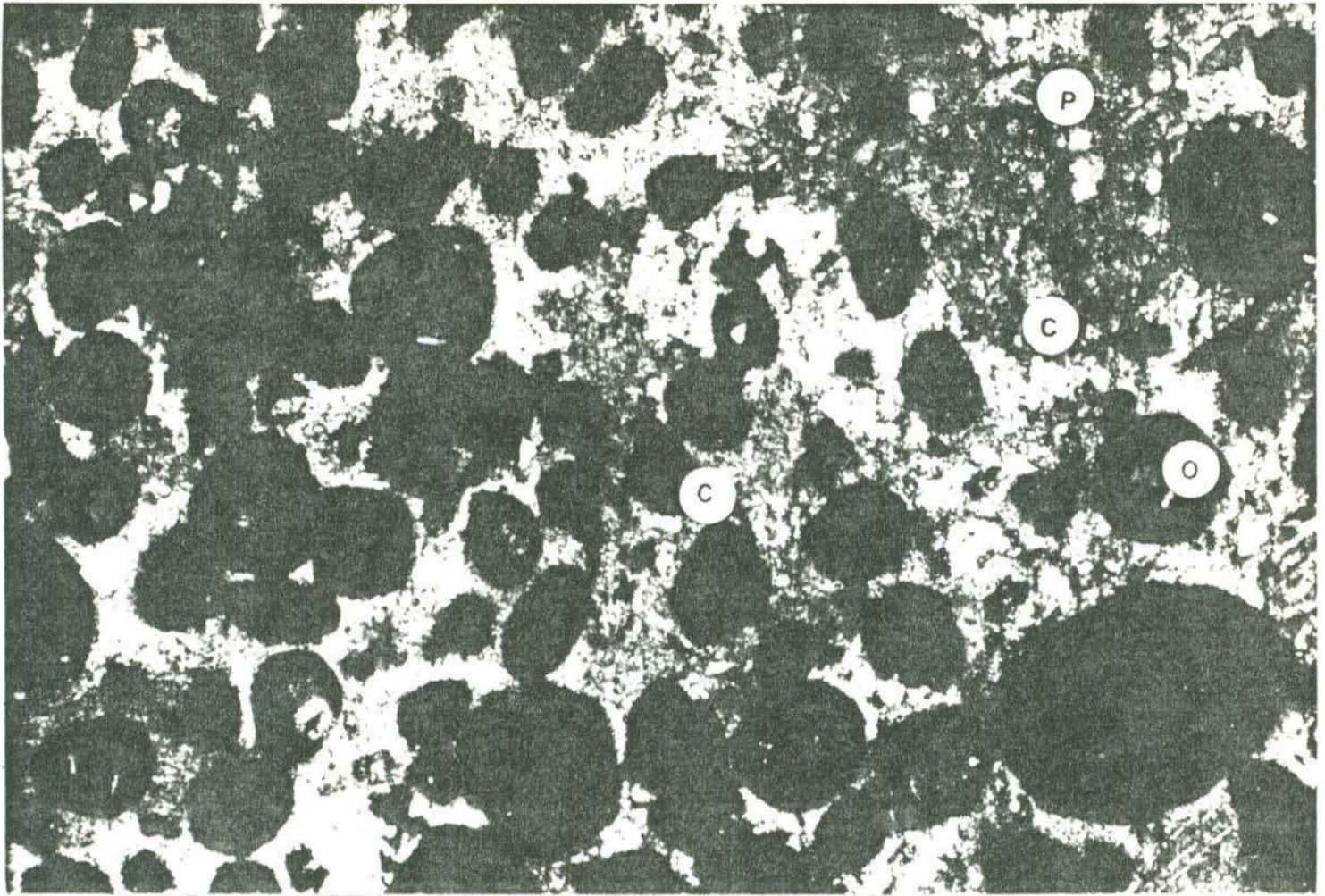
En la muestra CCT-23<sub>u</sub>, del arroyo Tarabillas, se puede apreciar claramente como el sílice se presenta como calcedonia, formando aureolas alrededor de los oolitos, sin

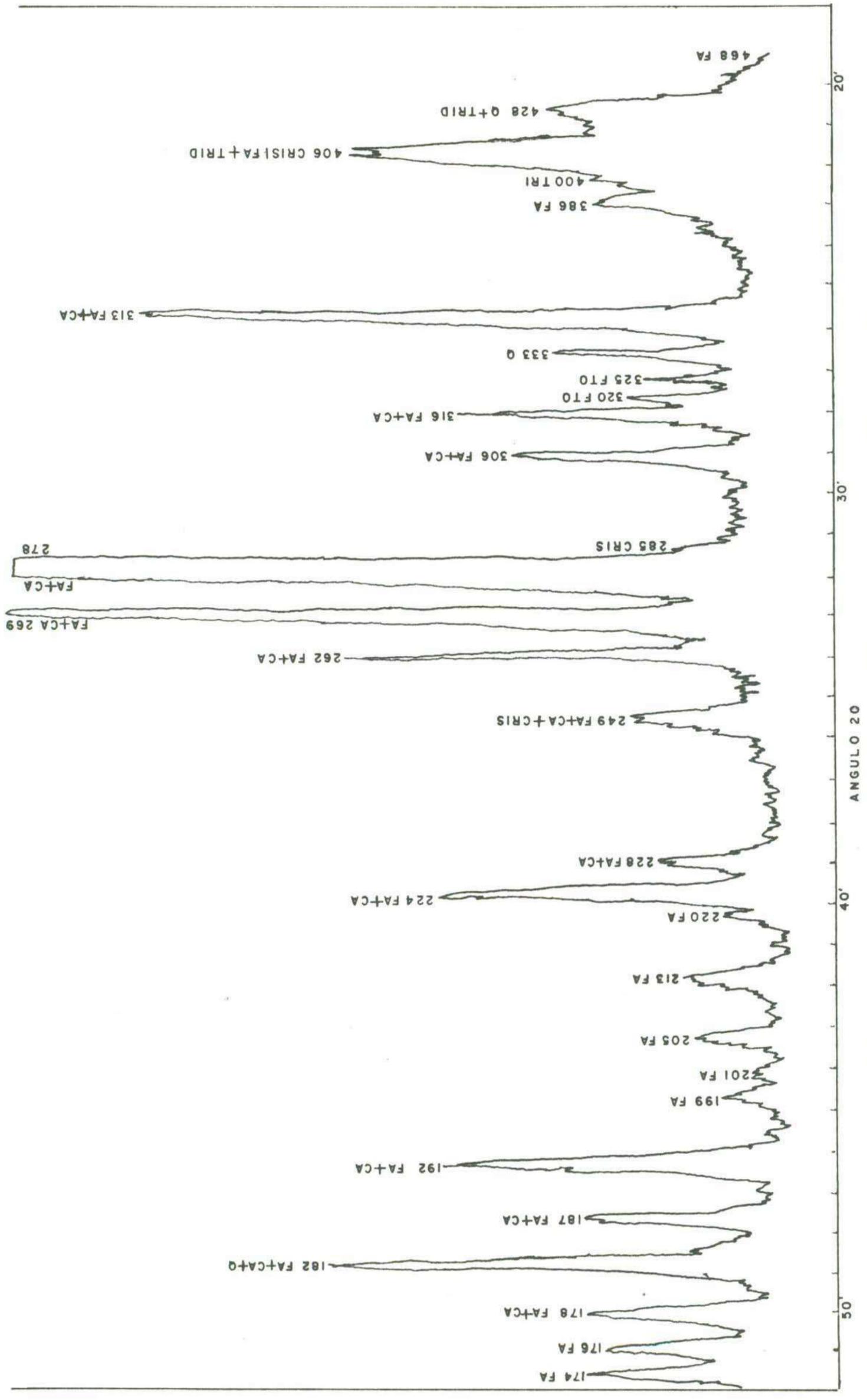


EL SABER DE MIS DIAS  
HACE MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

Fig. 8.- Fotomicrografía de fosforita cementada por esparita. Se observan varios cristales de calcita, algunos de los cuales están extinguidos (C), oolitos isotrópicos (O) y plagioclasas (P). Luz polarizada, ampliación 80 X.

Fig. 9.- Fotomicrografía de fosforita cementada por sílice en varias etapas. La calcedonia se observa en pequeños cristales de colores colocados en forma bandeada, mientras que el ópalo (O) es amorfo, de color rojo flama y se encuentra intercalado con la calcedonia. Cuña de yeso, ampliación 100 X.





FA-FLUORAPATITA  
 CA-CARBONATO-APATITO  
 Q-CUARZO  
 FTO-FELDESPATO  
 CRIS-CRISTOBALITA  
 TRID-TRIDIMITA

Figura 10.-Resultados del análisis de difracción de rayos X, muestra representativa de la zona Tarábillas ( Zayas.com. escrita, 1988)

mostrar evidencias de ataque interno sobre ellos (Fig. 11), y como ópalo relleno de parte de los poros.

La presencia de sílice en la roca le da una consistencia sumamente firme.

**Yeso.**- El yeso, como cementante, se observa localmente y en pequeñas cantidades, sobre todo en la zona correspondiente a las Mesas de la Calera, de la Vaca y del Tule. Está relacionado con pequeños horizontes del mismo material, intercalados entre la fosforita. Da a la roca un comportamiento deleznable.

#### Minerales Accesorios

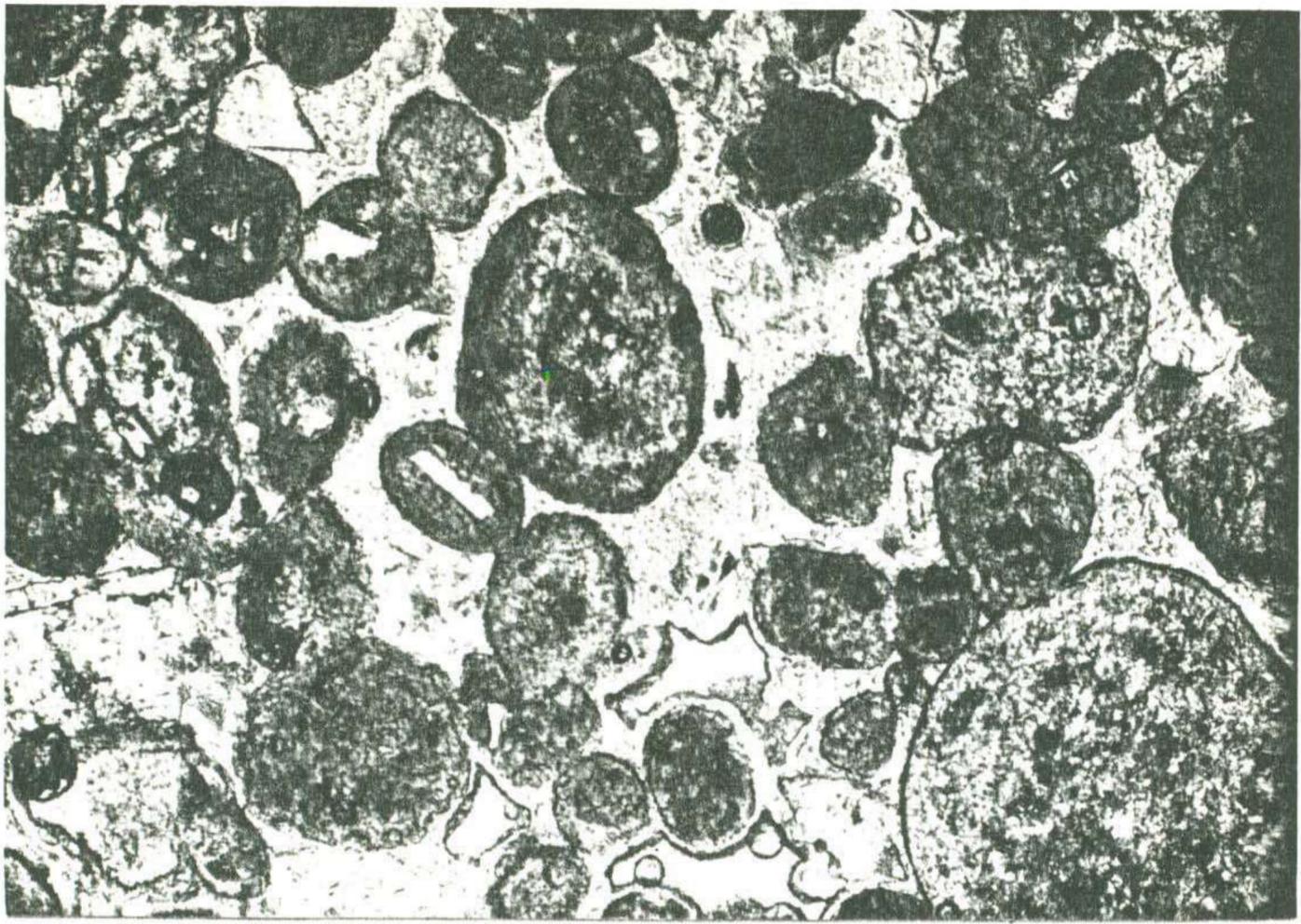
Se presentan algunos minerales accesorios, los cuales se formaron mediante procesos diagenéticos. Algunos han sido reportados por la Comisión de Fomento Minero (Patiño, com. escrita, 1986). El primero es la ripidolita, o proclorita, una variedad de clorita a la que se pudo identificar en muestras provenientes de la zona norte del yacimiento y que en sección delgada se presenta como un agregado escamoso de grano fino y color amarillo. Otro es la muscovita, identificada en las muestras como sericita y que es producida por la alteración de los terrígenos.

Con un estudio minerográfico se determinó la presencia de pirita y magnetita (Morales, com. oral, 1988), mientras que con el método de tentadura se determinaron magnetita y hematita (Zayas, com. escrita, 1988).

Fig. 11.- Fotomicrografías de fosforita cementada por calcedonia. Corresponde al Arroyo Tarabillas.

a) El tamaño de oolitos es mayor que en el resto de la capa, la calcedonia es ligeramente parda y está relacionada con otra forma de sílice. Luz natural, ampliación 80 X.

b) La calcedonia forma aureolas alrededor de los oolitos sin atacarlos internamente, está presente una segunda etapa de sílice rellenando poros. Luz polarizada, ampliación 80 X.



a



b

El contenido de pirita es muy escaso, pues sólo es observable en las zonas altamente deleznable, como en las muestra CCB-193 y CCM-2. Probablemente sea de origen autigénico ya que se presenta reemplazando a los oolitos (Morales, com. oral, 1988).

La magnetita se presenta como un mineral detrítico y al igual que la pirita, es muy escaso.

Los demás minerales reportados corresponden a zeolitas no identificadas por la autora, pues no tienen importancia desde el punto de vista metalúrgico.

#### Relaciones intergranulares

El tipo de contacto entre granos que se presenta con más frecuencia es el microestilolítico, siendo también comunes el puntual, el concavo-convexo y el alargado, combinados con grandes zonas en las que los granos parecen "flotar" libres dentro de su cementante. En las figuras anteriores es posible apreciar estos tipos de contactos. Este comportamiento apoya la idea de la pre-formación de los oolitos y su posterior acarreo y depósito (Riggs, 1976).

#### Alteraciones

**Calcificación.**- El 90% de los oolitos cementados por calcita presentan una aureola o película superficial, que con luz polarizada es anisotrópica y tiene la misma dirección óptica del cementante, mientras que con luz para-



lela no es identificable por tener el mismo color pardo del colofano (Fig. 12).

Dicha aureola ha sido identificada como los residuos de un posible cementante primario que, además, ha actuado sobre los fosfatos produciendo su fuerte calcificación. Su tamaño es más o menos inversamente proporcional al de los granos, aunque llega a ocupar la totalidad de su volúmen.

La calcificación se manifiesta en mayor grado, destruyéndose parcial o totalmente a los oolitos. Una vez formada la aureola, la calcita penetra por las fracturas alcanzando al núcleo y reemplazándolo, expandiéndose posteriormente hasta ocupar la totalidad de la masa de los granos (Fig. 13).

Los terrígenos también presentan una fuerte alteración a calcita, sobre todo las plagioclasas.

**Hematización.**- La hematita se encuentra presente en pequeñas cantidades. Rodea a los granos de francolita, aprovechando fracturillas y les proporciona una textura moteada. En el cementante se presenta diseminada o dándole un aspecto bandeado con arcillas orientadas en la misma dirección. Los núcleos de los oolitos frecuentemente se observan reemplazados por óxidos.



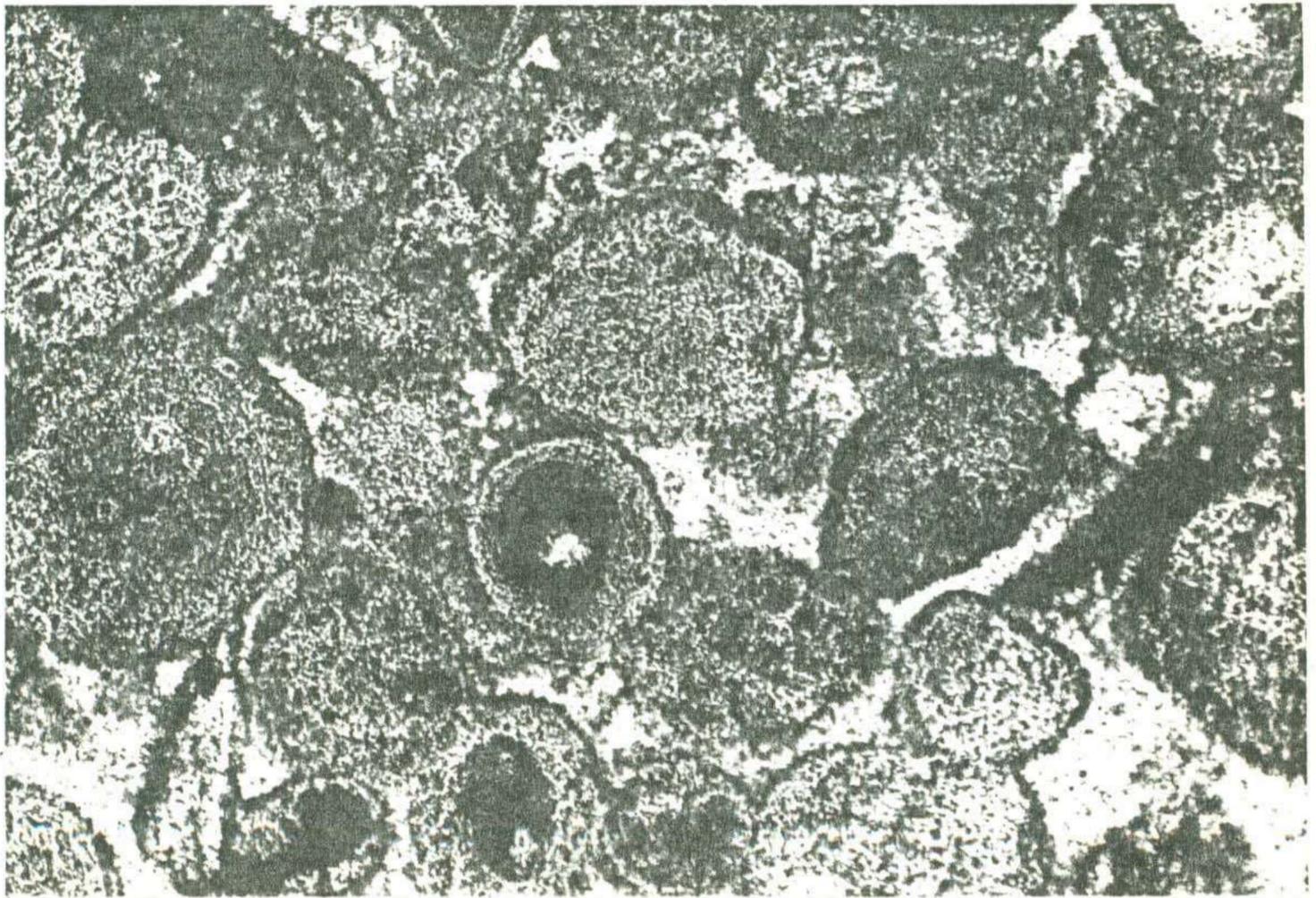
Fig.12.- Fotomicrografías presentando la calcificación de los oolitos.

a) Los oolitos se observan aparentemente sanos y cementados por calcita. Luz natural, ampliación 100 X.

b) Se observan las aureolas alrededor de los oolitos. Presentan color pardo y se extinguen en la misma dirección que la calcita. Luz polarizada, ampliación 100 X.



a

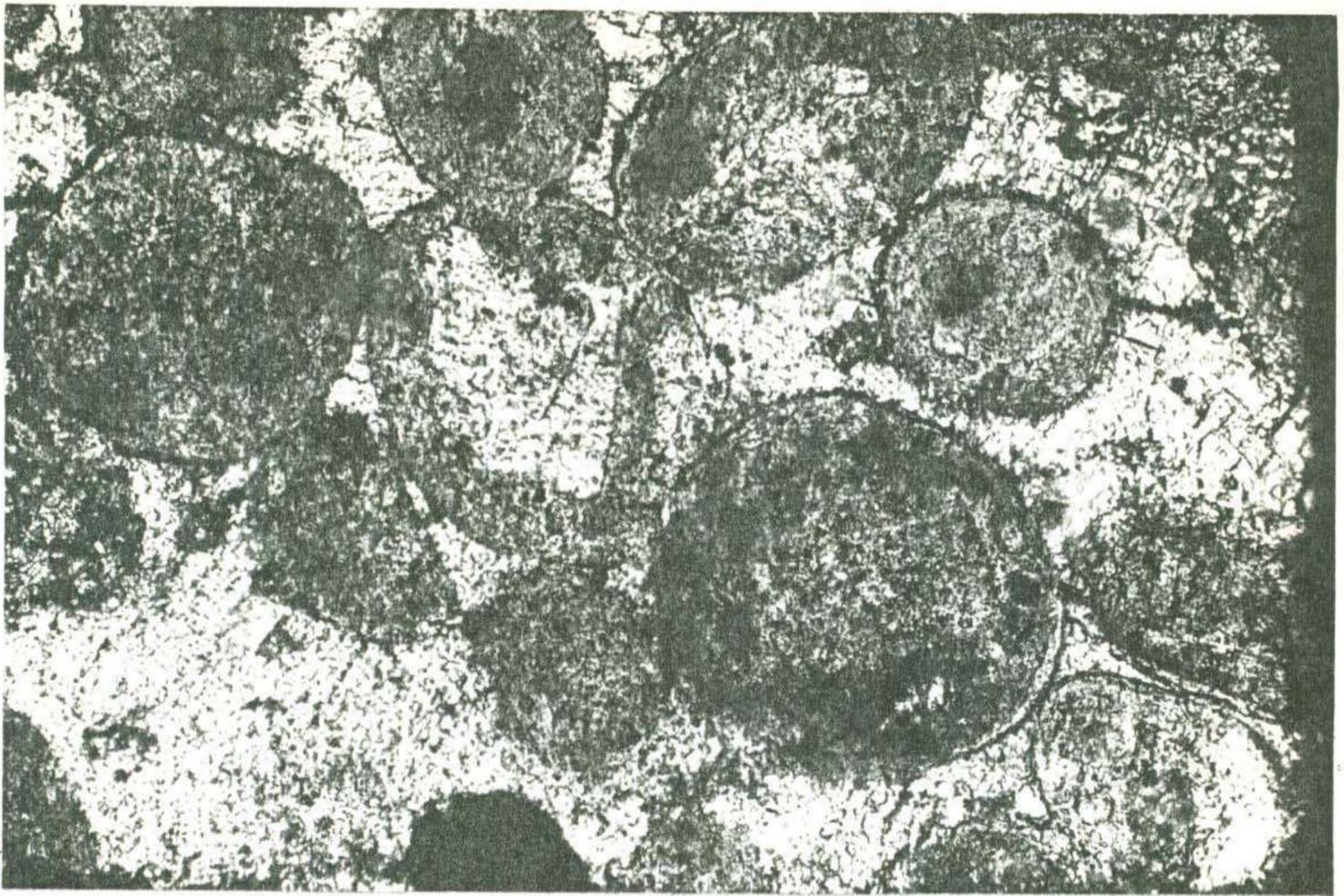


b

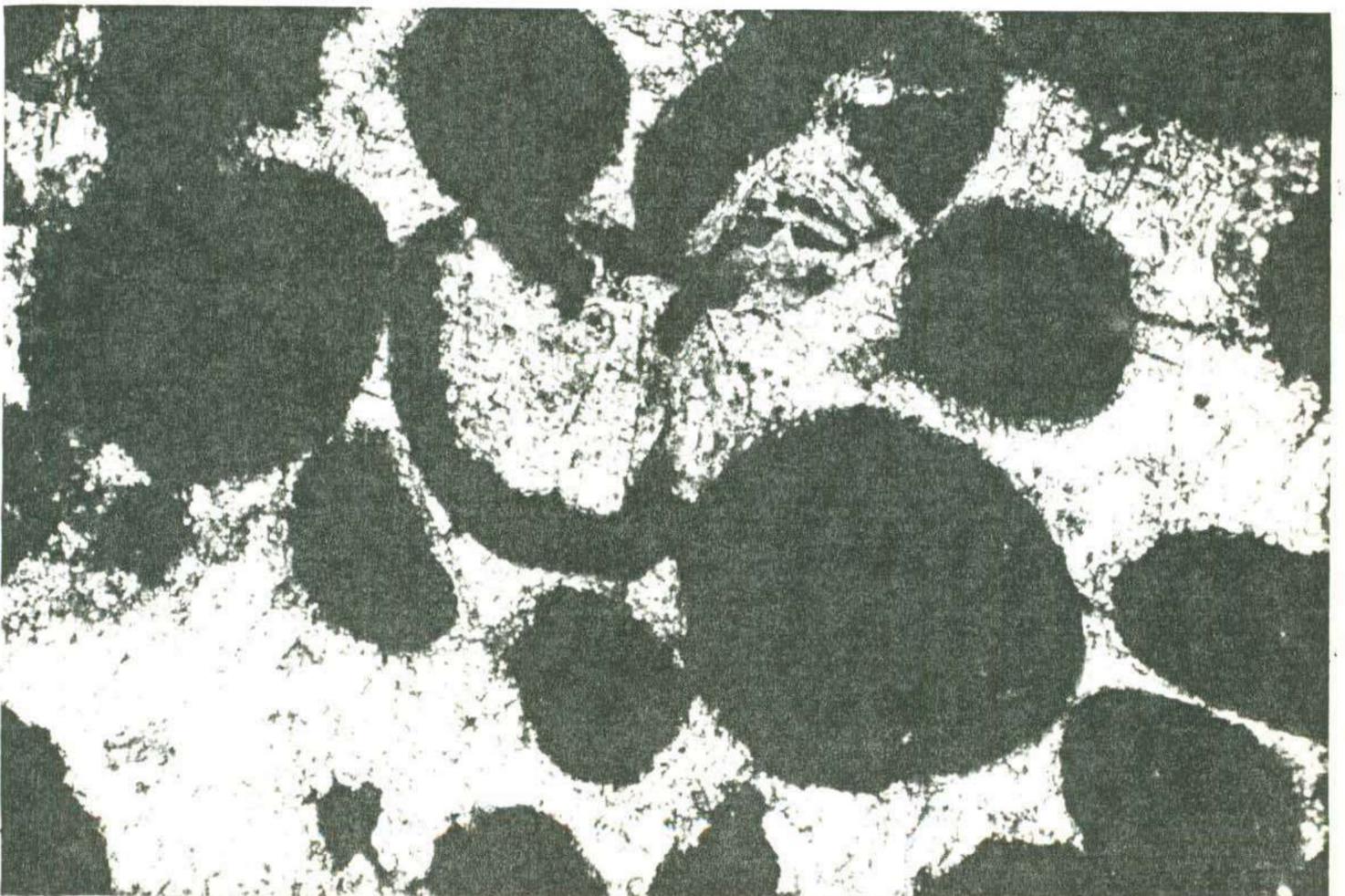
Fig. 13.- Fotomicrografías de la calcificación interna de los oolitos.

a) Algunos muestran lo que parece ser un núcleo de calcita, mientras que otros aparentan estar totalmente sanos. Luz natural, ampliación 100 X.

b) La calcita se infiltra por las fracturas e invade el interior de los oolitos para luego expanderse hasta destruirlos totalmente. Conserva la misma dirección óptica del cementante. Luz polarizada, ampliación 100 X.



a



b

## CAPITULO IV

### EL PROCESO DE CONCENTRACION Y LA PETROGRAFIA DE LOS PRODUCTOS

#### PROCESO DE CONCENTRACION

Para el beneficio de la roca fosfórica se cuenta con un proceso, denominado flotación, el cual comprende de tres etapas. Estas son: trituración, concentración y secado. A continuación se presenta una breve descripción de dicho proceso.

#### Trituración

El material proveniente de las zonas de minado mide aproximadamente 20 pulgadas de diámetro. En una quebradora primaria se reducen los fragmentos a unas 4 pulgadas, de ahí pasan a la quebradora de impacto de donde salen con un tamaño de aproximadamente 3/8". Posteriormente el material es cribado con una malla de 1/4" y con este tamaño de partícula se alimenta a la planta de beneficio.

#### Concentración

El mineral menor de 1/4" se almacena en tres silos de donde se toma lo necesario para mantener la actividad de esta área que cuenta con tres secciones: clasificación, flotación y filtrado.

**Clasificación.**- Aquí el mineral es reducido a un tamaño menor o igual que 28 mallas por medio de dos quebradoras y un molino de bolas, de donde pasa a cribado en un sistema de mallas de dicha medida.

Con la fracción menor que la malla 28 se alimenta a una serie de baterías de ciclones para eliminar la fracción menor que 150 mallas. Se ha encontrado que la concentración de la fosforita es óptima cuando las partículas se encuentran entre las mallas 28 y 150.

**Flotación.**\_ Una vez reducido y deslamado el material pasa por un clasificador helicoidal que elimina residuos de lamas y obtiene un alto porcentaje de sólidos, necesario para un buen acondicionamiento. Ya en los tanques acondicionadores se añaden los reactivos que hacen flotar a las partículas fosfatadas los cuales son *dresinate* (compuesto graso) como colector y diesel como moderador de espuma.

**Filtrado.**- El concentrado que alcanza un promedio de 30.30% de  $F_2O_5$  es enviado a esta sección en donde se lava con agua dulce para abatir el contenido de cloruros, ya que el proceso se realiza con agua de mar.

#### Secado

El concentrado se depósita en un horno de flama de diesel a 600°C en la cámara de combustión. Ya seco se almacena en lotes listo para embarque.



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

LA PETROGRAFIA DE LOS PRODUCTOS:  
SU RELACION CON EL DEPOSITO Y CON LA CONCENTRACION

Debido a la inhomogeneidad de la capa, no todo el mineral responde adecuadamente ante el proceso metalúrgico, dando como resultado variaciones en los valores recuperados.

Los aspectos megascópicos variables de la capa son: la consistencia o grado de consolidación, el color y el espesor. El grado de consolidación es consecuencia directa de las variaciones en la composición del cementante y del grado de alteración de las partículas fosfatadas. Este aspecto se considera como el de mayor influencia para el proceso de concentración. En este trabajo se discuten este y otros factores considerados de importancia para el desarrollo del proceso.

Para tal efecto se estudiaron secciones delgadas de la cabeza general, los concentrados, los medios y las colas, producidos durante el beneficio del mineral proveniente de las tres principales zonas del yacimiento: las minas subterráneas, distribuidas en las Mesas del Junco, la Crucesita, la Vaca, la Calera y el Tule; la Mesa del Saladito, que incluye varias zonas de minado; la Mesa y el arroyo Tarabillas. La Tabla 4 presenta la composición mineralógica de los concentrados y las colas, mientras que la Tabla 5 muestra su composición química.

MUESTRA		GF	C	T	FR
MINAS SUBTERRANEAS	CON	90	8	--	2
	COLAS	25	5	30	40
SALADITO	CON	95	5	Tr	--
	COLAS	5	87	5	3
TARABILLAS	CON	78	10	2	10
	COLAS	25	70	5	--

Tabla 4.- Composición mineralógica de los concentrados (CON) y colas producidos al procesar el mineral de las tres zonas principales del yacimiento. GF, granos de franco-lita; C, fragmentos de calcita; T, terrigenos; FG, fragmentos de roca.

MUESTRA		$P_2O_5$	$SiO_2$	$CaCO_3$
MINAS SUBTERRANEAS	CON	30.10	8.2	2.8
	COLAS	4.54	62.8	1.2
TARABILLAS	CON	20.75	15.0	3.2
	COLAS	2.90	40.5	3.0

Tabla 5.- Resultados del análisis químico realizado por sílice y carbonato de calcio, en una muestra representativa de las minas subterráneas y otra del Arroyo Tarabillas (Cervantes, com. escrita, 1988). Los valores de fosfato fueron proporcionados por ROFOMEX.

## Descripción Microscópica

Los productos del beneficio de la fosforita presentan componentes con características muy similares, en todas las etapas del proceso. Durante el beneficio de la roca, los oolitos son desprendidos de sus cementantes, conservándose la gran mayoría intactos (Fig. 14), lo que sucede también con los terrígenos. Los cementantes son fragmentados y desechados principalmente en las colas (Fig. 15), presentan las siguientes características:

Calcita.- Comunmente conserva oolitos muy finos y alterados, contiene las aureolas de alteración que se han desprendido de los oolitos y algunos terrígenos.

Colofano.- Se presenta formando fragmentos de tamaño medio, los cuales contienen abundantes oolitos muy finos. Estos fragmentos son recuperables y se consideran dentro de las partículas favorables del concentrado.

El sílice no ha sido identificado como tal en ninguno de los productos. Se sospecha su presencia dentro de los fragmentos fosfatados desechados sobre todo en las colas, tomando en consideración sus altos valores presentados en la tabla 5, pues es posible que, debido a su gran semejanza con la francolita, se esté confundiendo con ella.

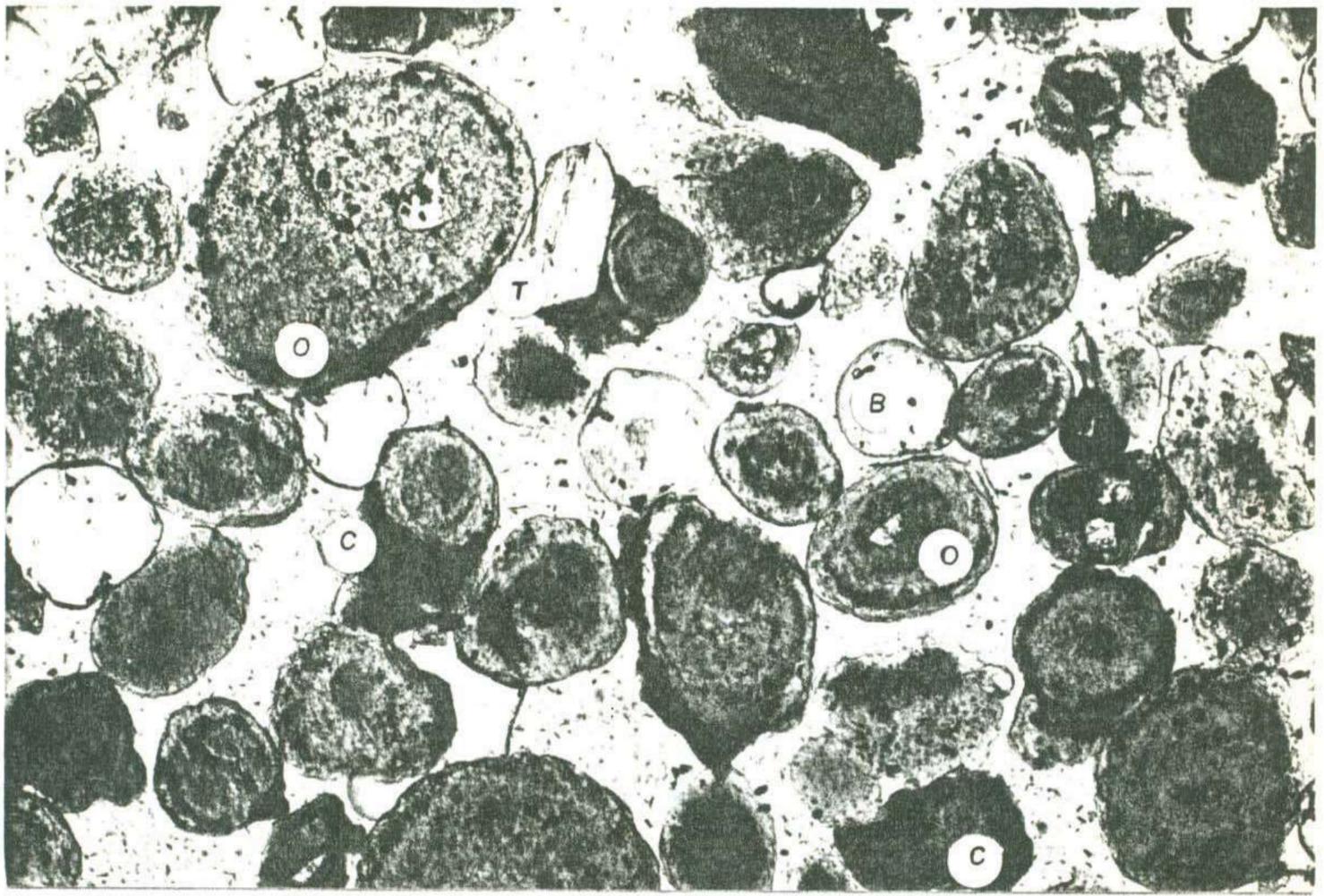
Otros componentes presentes en los productos son los fragmentos de roca, generalmente lutitas y algunas volcánicas, provenientes de la base y el techo de la capa.

Fig. 14,- Fotomicrografías de los componentes del concentrado. Se observan oolitos libres y bien conservados (O); fragmentos de cementante (C); y algunos terrígenos (T). B, burbujas, defectos de laminación.

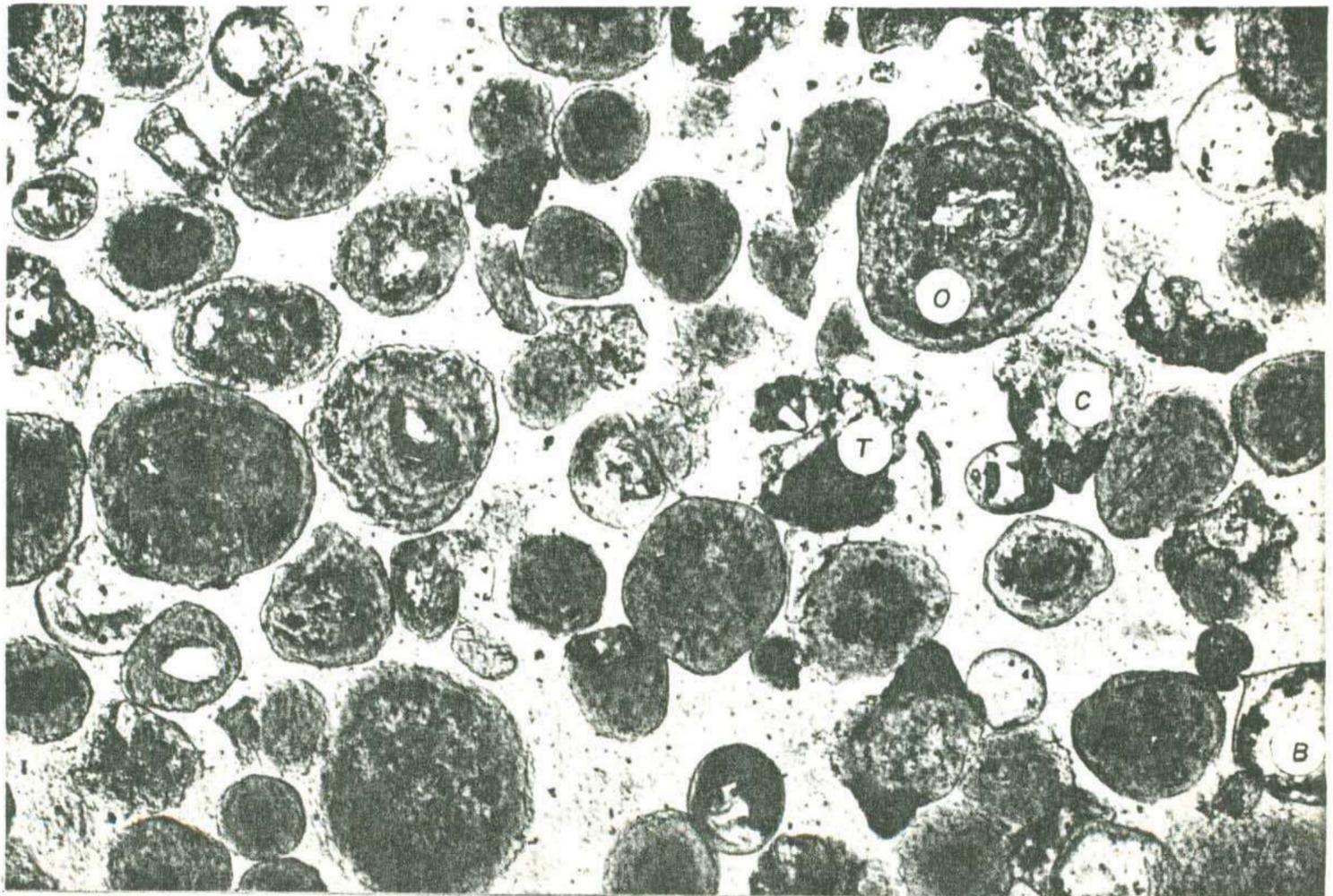
a) Concentrado del mineral proveniente de la Mesa del Saladito, con 30.31 % de  $P_2O_5$ .

b) Concentrado del mineral proveniente de las minas subterráneas, con 30.10 % de  $P_2O_5$ .

Luz natural, ampliación 80 X.



a



b



BIBLIOTECA  
DE CIENCIAS EXACTAS  
Y NATURALES

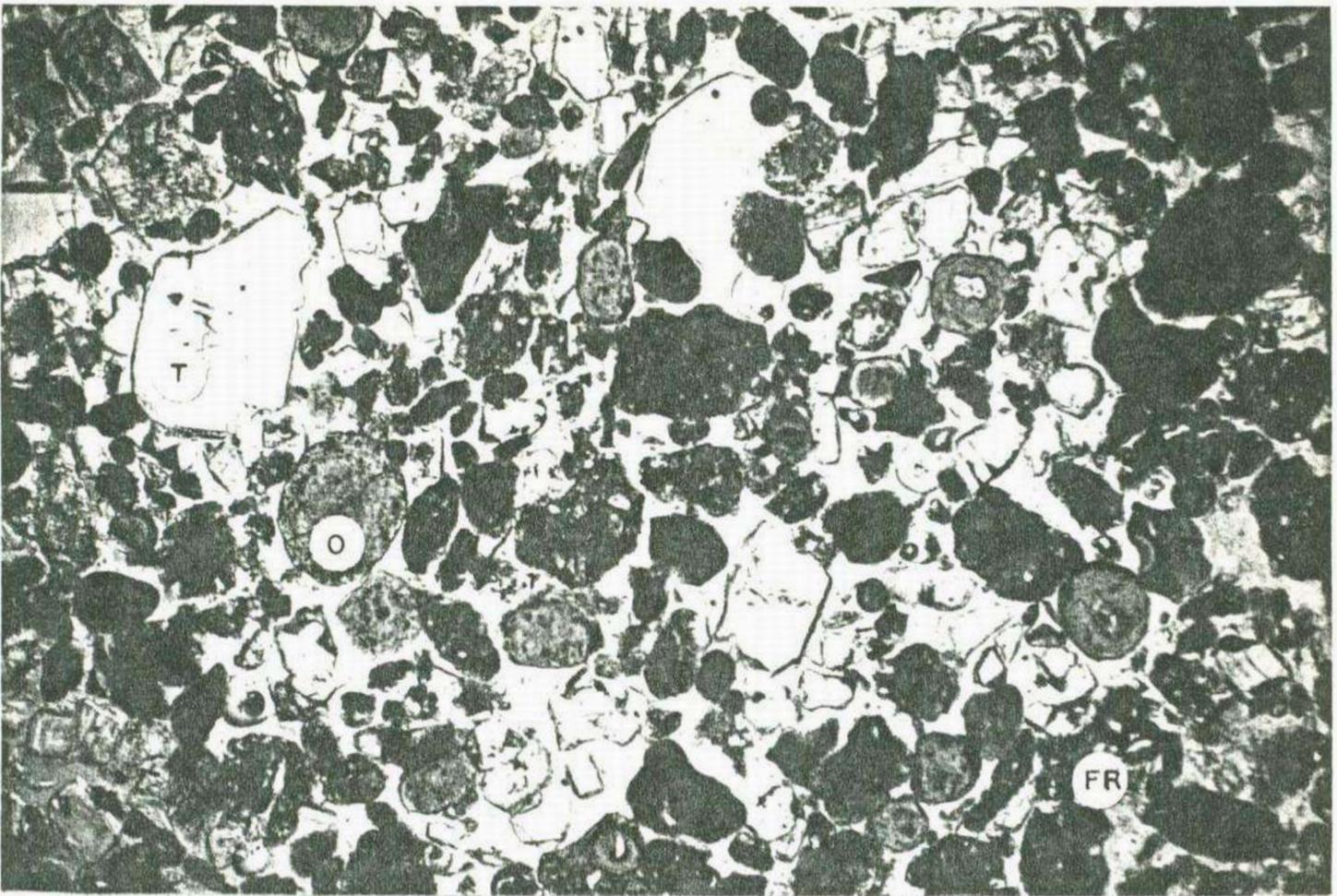
Fig. 15.- Fotomicrografías de los componentes de las colas.

Se observan oolitos sanos y fragmentados (O); oolitos aglutinados por cementante formando granos de tamaño medio y grueso (G); abundantes terrígenos (T) y fragmentos de roca (FR).

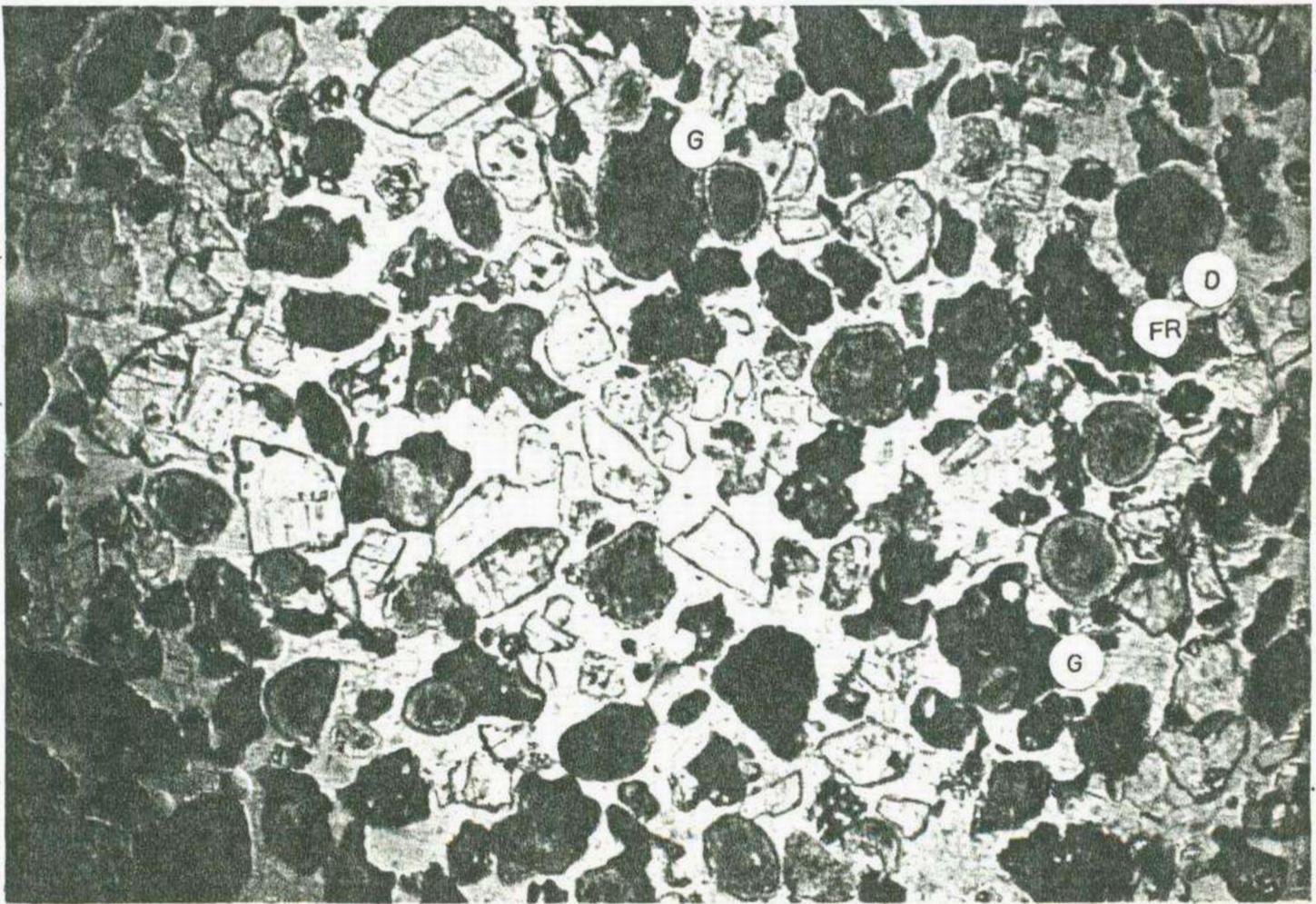
a) Colas producidas por el beneficio del mineral proveniente de las minas subterráneas.

b) Colas producidas por el beneficio del mineral proveniente de la Mesa del Saladito. Observese que la cantidad de oolitos desechados es mayor.

Luz natural, ampliación 40 X.



a



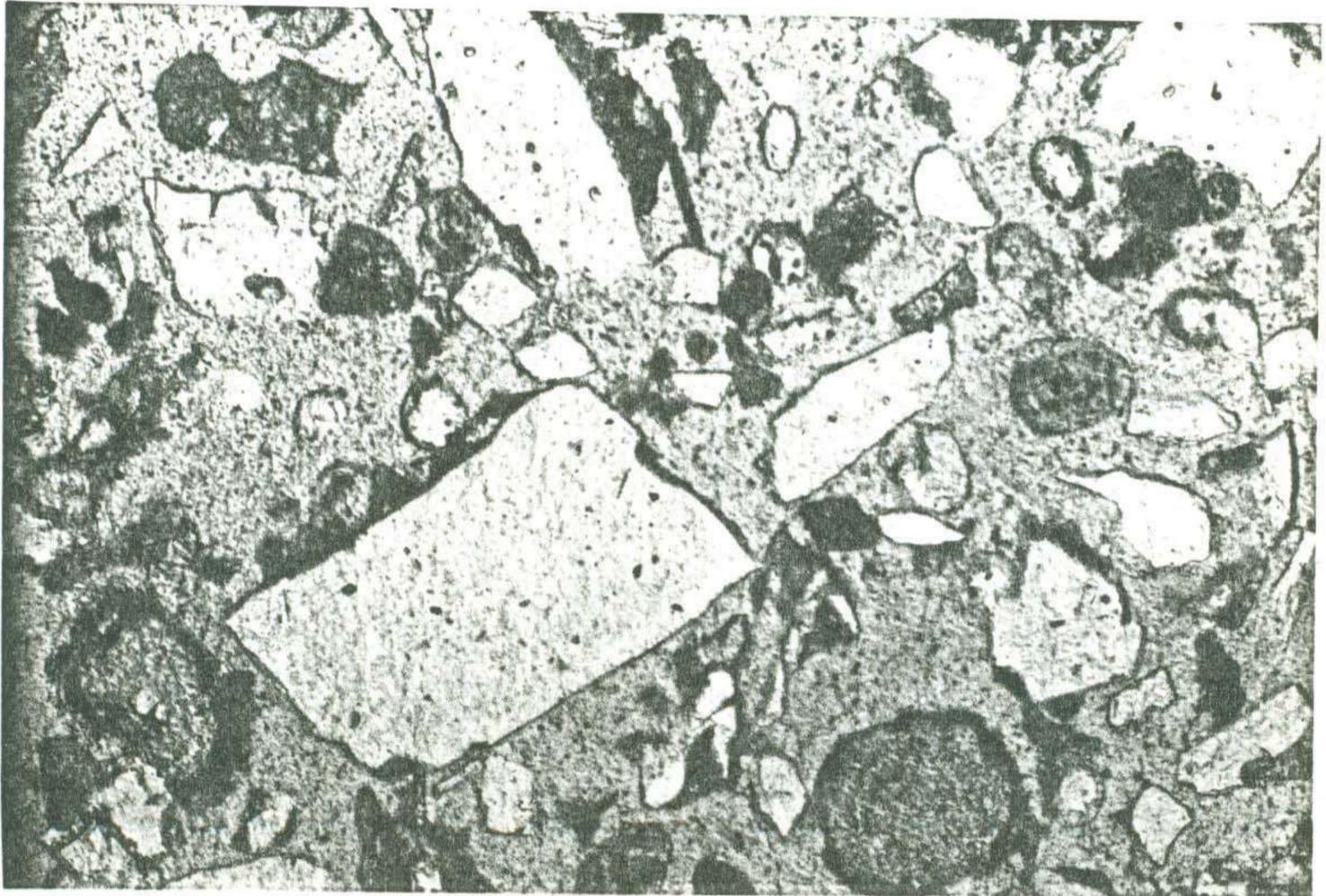
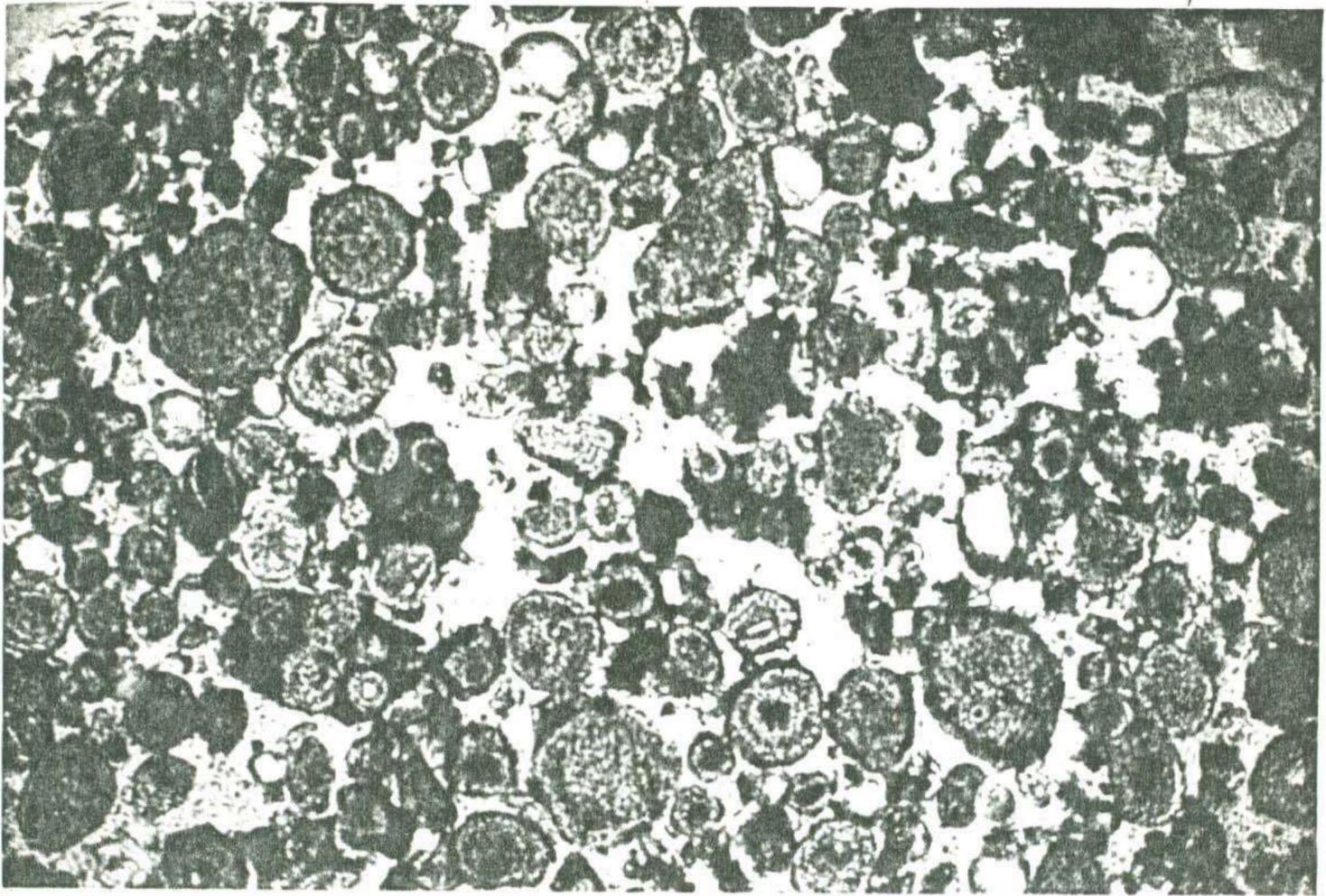
b

La cabeza general (Fig. 16) tiene la siguiente composición: granos de francolita, 80%; calcita, 7%; fragmentos de origen terrígeno, 3%; fragmentos de rocas, 10%.

Los medios (Fig. 17) están compuestos como sigue: granos de francolita, 20%; fragmentos de calcita, 5%; terrígenos, 70%; fragmentos de roca, 5%.

Fig. 16.- Fotomicrografía de la composición de la cabeza general. La mayoría de los oolitos se han liberado de su cementante durante la molienda, aunque muchos aún se conservan aglutinados. Nótese que cuando su tamaño es muy grande son fragmentados. Luz natural ampliación 40 X.

Fig. 17.- Fotomicrografía de la composición de los medios. En su mayor parte están constituidos por terrígenos (plagioclasas) y algunos oolitos sanos. Luz natural, ampliación 80 X.



## CAPITULO V

### DISCUSION:

#### LA PETROGRAFIA DEL DEPOSITO RELACIONADA CON EL PROCESO DE CONCENTRACION

#### ALGUNOS PROBLEMAS ASOCIADOS



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

La liberación de los granos de francolita.- De acuerdo con Axelrod, *et. al.* (1980), la naturaleza del cementante y su relación con los granos es el factor decisivo en la liberación de los fosfatos. A continuación se discuten las observaciones de este trabajo.

La cementación de las fosforitas no es homogénea, por lo que se pueden encontrar varios tipos de cementantes en el mismo horizonte, aun a nivel microscópico (Fig. 18), provocando que algunos granos sean fáciles de liberar y otros no.

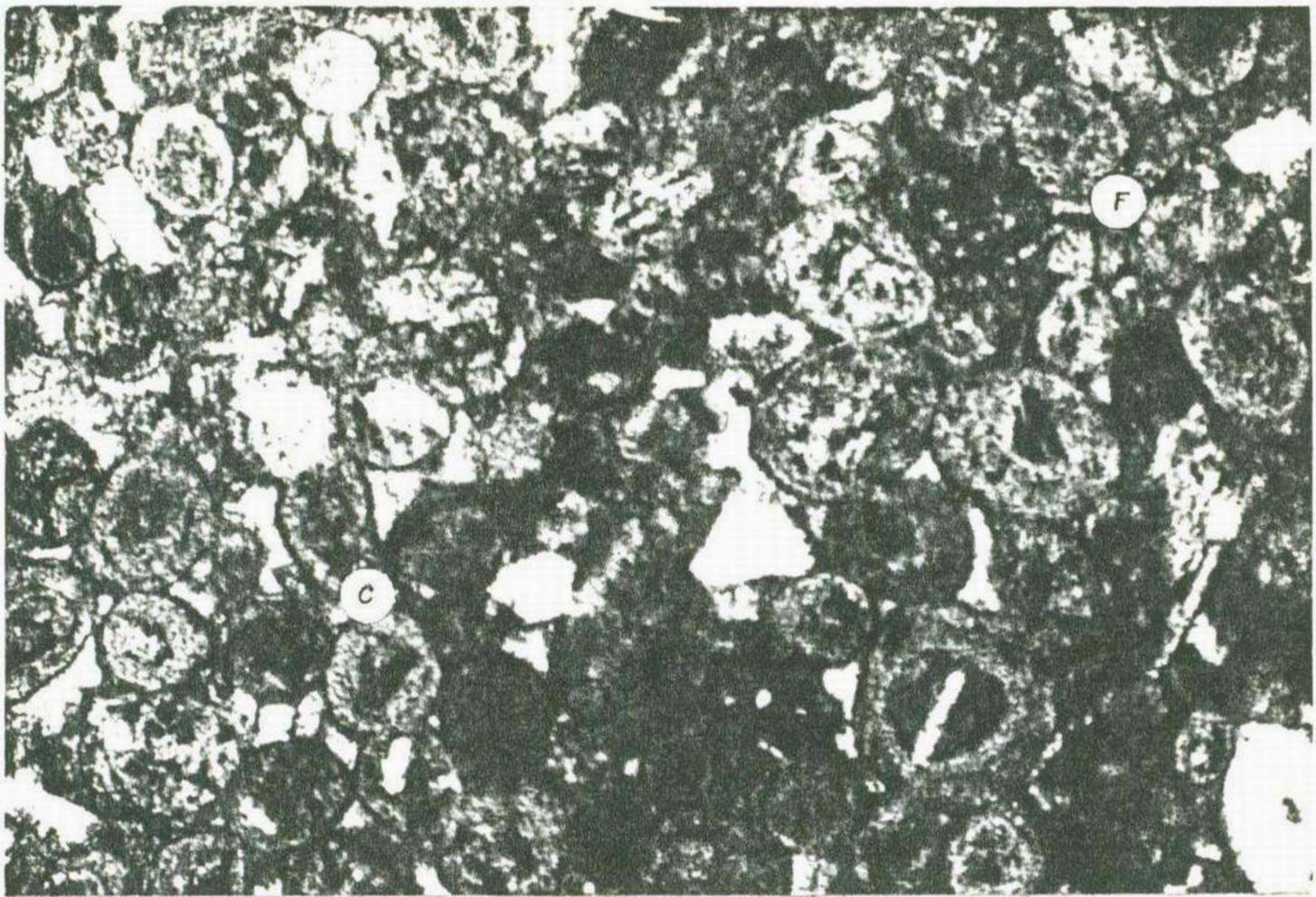
Cuando las fosforitas deleznablees se sujetan al proceso de molienda, la mayor parte de los oolitos se libera de su cementante de calcita o colofano. Sin embargo, frecuentemente se conservan fragmentos gruesos formados por oolitos muy finos, debido a que están aglutinados por cementante, principalmente aquellos que han sufrido una intensa calcificación exterior (Fig. 19).

En el caso de las fosforitas bien cementadas la liberación de los granos se dificulta. El principal problema es

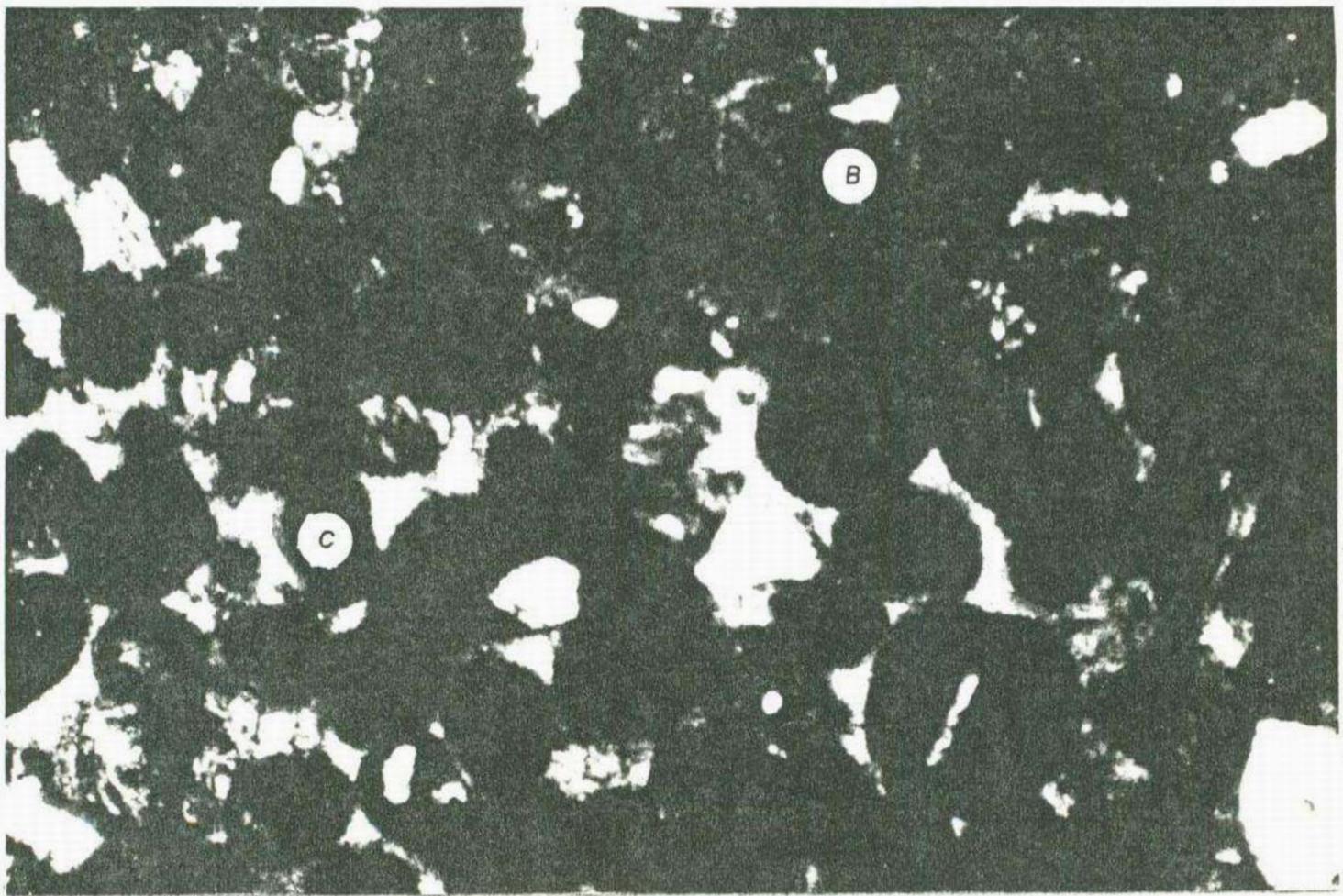
Fig. 18.- Fotomicrografías mostrando calcita y francolita como cementantes.

a) La porción cementada por francolita (F) se observa opaca y con poco espaciamiento entre granos. La calcita se define bien por su relieve (C). Luz natural, ampliación 80 X.

b) El carácter isotrópico de la francolita impide apreciar claramente a los componentes. Se observa una leve birrefringencia (B) debida a la presencia de arcillas y calcita. En la zona cementada por calcita (C) se observan algunas aureolas. Luz polarizada, ampliación 80 X.



a



b

la fuerte cohesión entre los fosfatos el cementante silíceo, lo que provoca pérdida de material al resultar granos de mayor tamaño que el especificado para el proceso.

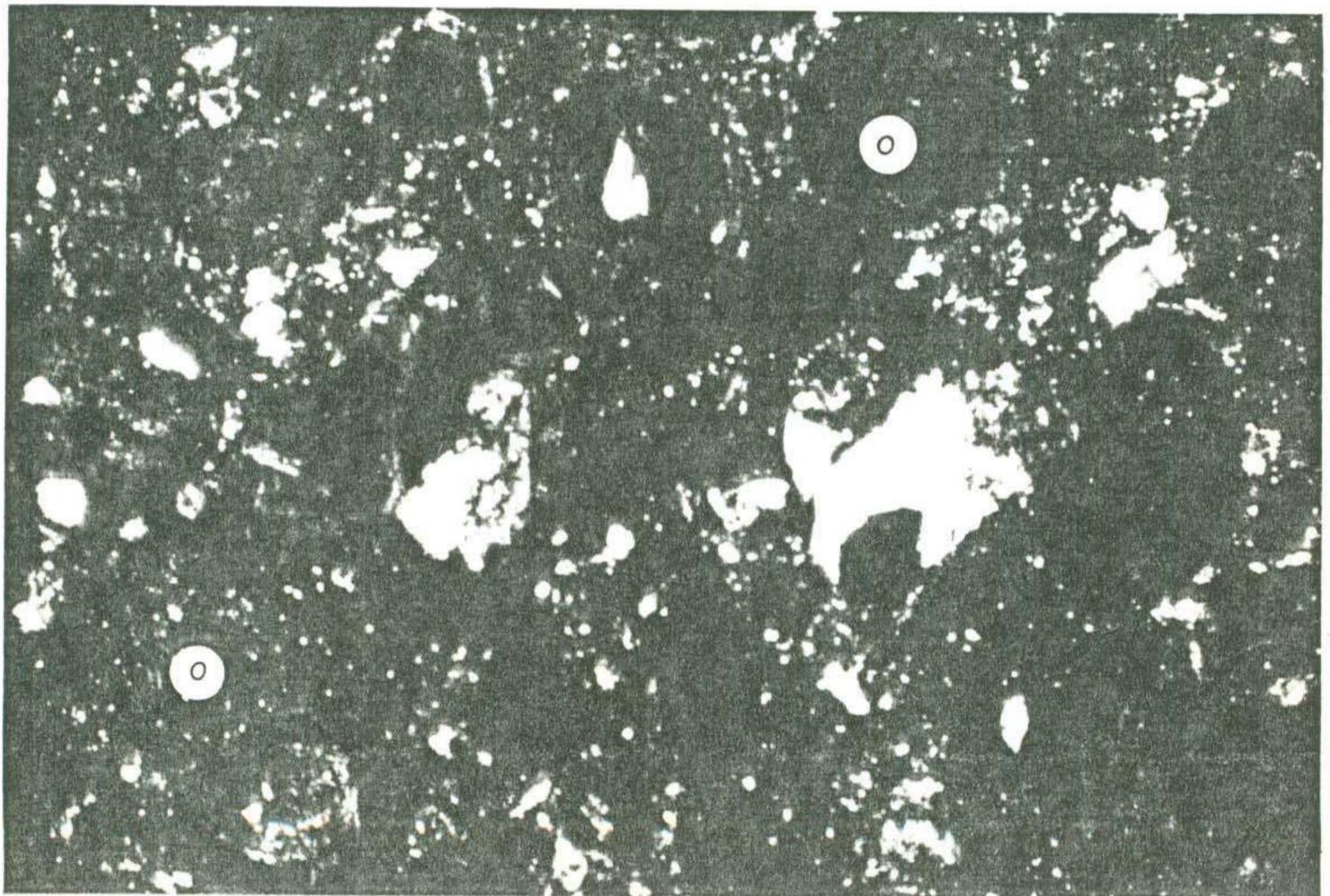
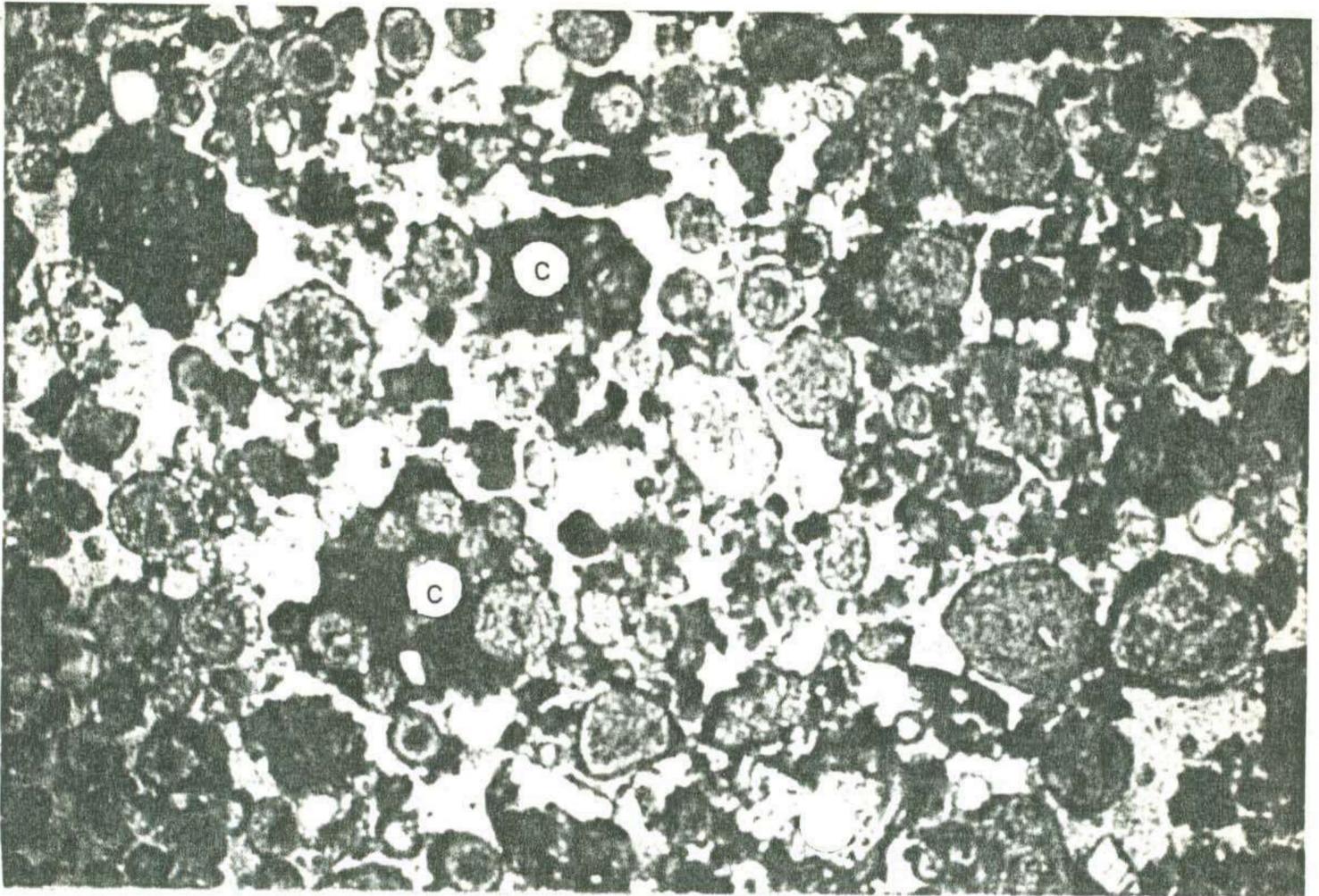
En la sección delgada de la cabeza general (Fig. 20), se observan pocas evidencias de la alteración superficial en los oolitos, y ningún grano con alteración interna, tan comunes en las secciones de la roca; en los concentrados, la mayor parte de los oolitos se presentan libres. Esto hace pensar que durante el proceso de liberación se desintegran todos aquellos oolitos que han sido alterados total o parcialmente por calcita, y también se desprenden las aureolas de alteración. Considerando que inicialmente los oolitos estaban constituidos en su totalidad por francolita, se observa que la calcificación provoca la pérdida de una buena cantidad de la masa fosfática original.

**La contaminación del mineral.**- El sistema de explotación que se utiliza en San Juan de la Costa requiere de un espesor de capa constante. Sin embargo, el estrato mineralizado no cumple con dicha especificación, por lo que es común que se extraiga roca estéril del techo y la base de la capa, contaminando el mineral.

Esta contaminación provoca que el proceso requiera de una mayor cantidad de reactivos para alcanzar la recuperación en peso ideal.

Fig. 19.- Fotomicrografía de concentrado contaminado por la presencia de cementante calcareo (C) y posiblemente síliceo (S). Corresponde al Arroyo Tarabillas. Luz natural, ampliación 40 X.

Fig. 20.- Fotomicrografía de la cabeza general, en donde se aprecia que casi todos los oolitos (O) que inician el proceso de concentración se encuentran libres de calcificación una vez que salen de la molienda. Luz polarizada, ampliación 80X.



tante, formando granos gruesos. También se observan abundantes fragmentos de roca provenientes de las capas vecinas.

4.- Metalúrgicamente se concluye que: a) la naturaleza inhomogénea del cementante es el factor principal en la liberación irregular de los granos de francolita; b) el sílice y la calcita ofrecen resistencia a la liberación de las partículas fosfatadas e inhiben a la recuperación por flotación; y c) la contaminación del mineral durante la extracción, debido al espesor variable de la capa, provoca el uso de mayor cantidad de reactivos y una recuperación de baja ley.

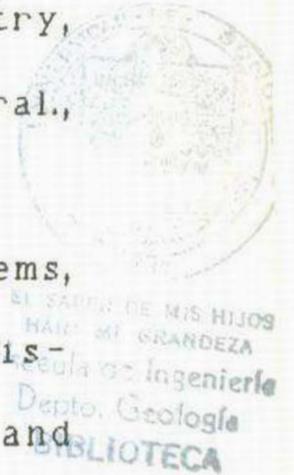


EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Facultad de Ingenieria  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA



REFERENCIAS CITADAS

- Axelrod, S., Metzger, A., Rohrllich, V., 1980, The Petrography of Phosphorites as Related to their Beneficiation, *in* Bentor, Y. K. (ed), Marine Phosphorites - Geochemistry, Occurrence, Genesis: Soc. Econ. Paleont. and Mineral., Spec. Publ. No 29, pp. 153-165.
- Bentor, Y. K., 1980, Phosphorites - The Unsolved Problems, *in* Bentor, Y. K. (ed), Marine Phosphorites - Geochemistry, Occurrence, Genesis: Soc. Econ. Paleont. and Mineral., Spec. Publ. No 29, pp. 3-18.
- Dietrich, R. V., Dutro, J. T., Foose, R. M. (compilers), 1982, A. G. I. Data Sheets, Am. Geol. Inst., Second Edition.
- Ehlers, E. G., Blatt, H., 1980, Petrology. Igneous, Sedimentary, and Metamorphic: W. H. Freeman and Company, San Francisco, 732 p.
- Escandón, F. J., 1978, Bosquejo Geológico de los Depósitos de Fosforita de San Juan de la Costa, B. C. S.: Roca Fosfórica Mexicana, Reporte Interno (Inédito).
- Espinoza de León, L., 1982, Teoría y Práctica de Flotación de Fosfatos en Agua de Mar: GEOMIMET, Jul./Agosto 1982, No 118, pp. 13-17.
- Flügel, E., 1978, Microfacies Analysis of Limestones: Springer Verlag, New York, 589 p.



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

- Garduño, G., 1987, Petrología Sedimentaria y Estratigráfica de las Litofacies de Fosforita y Arenisca Feldespática Fosfática de la Formación San Gregorio, San Juan de la Costa, B. C. S., México, Tesis de Licenciatura, La Paz, Univ. Aut. de Baja California Sur, 204 p. (inédito).
- Hausback, B. P., 1984, Cenozoic Volcanic and Tectonic Evolution of Baja California Sur, México: Soc. Econ. Paleont. and Mineral., Rev. V. 39, pp. 219-236.
- Heinrich, E. W., 1970, Identificación Microscópica de los Minerales: Mc Graw - Hill Inc., New York, 456 p.
- Huang, W. T., 1968, Petrología: ed. UTEHA, México, 546 p.
- Manheim, F. T., Pratt, R. M., Mc Farlin, P. F., 1980, Composition and Origin of Phosphorite Deposits of the Blake Plateau, *in* Bentor, Y. K. (ed), Marine Phosphorites - Geochemistry, Occurrence, Genesis: Soc. Econ. Paleont. and Mineral., Esp. Publ. No 29, pp. 153-165.
- Martínez-Vera, A., 1979, El Sistema Fosfogenético en San Juan de la Costa, B. C. S.: A.I.M.M.G.M., Mem. Tec. XIII Conv., pp. 301-325.
- Quintus-Booz, R., 1980, Petrology and Distribution of Phosphate in the Lower Salada Formation, Santa Rita, Baja California Sur, México: Colo. School of Mines. Msc Thesis, 127 p. (inédito).
- Riggs, S. R., 1976, The Origin and Occurrence of Sedimentary Phosphate Deposits in Baja California, México - A Preliminary Evaluation, 33 p. (inédito).

Roca Fosfórica Mexicana, 1986, San Juan de la Costa: Reporte Anual (inédito), 7 p.

Salas, G. F., Quintuz-Booz, R., Ojeda, R. J., 1979, Sedimentary Phosphate Deposit in Baja California Sur, México (inédito).



SECRETARÍA DE ECONOMÍA  
SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA  
DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA  
DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA  
BIBLIOTECA

## APENDICE

### DESCRIPCION MICROSCOPICA DE LA ROCA Y DE LOS PRODUCTOS DE SU BENEFICIO

En esta sección se presenta la descripción de las 51 láminas delgadas estudiadas para este trabajo. De ellas, 42 corresponden a fosforita y 9 a los productos del beneficio de la roca.

El formato utilizado para la descripción de la roca incluye la siguiente información:

Muestra.- Las marcas utilizadas para el número de muestra contienen las iniciales de la autora seguidas por la literal que indica su procedencia, a saber: M, mina subterránea; T, tajo abierto, afloramiento o sanja; B, testigo de barrenación. El numeral indica el orden en que fue tomada y el subíndice su ubicación exacta en la capa, es decir: s, porción superior (los primeros 50 cm); m, media; i, inferior; b, base de la capa; u, única muestra tomada en esa localidad.

Localización.- Zona geográfica del yacimiento en la que fue tomada la muestra.

Espesor.- Potencia que presenta la capa en la zona muestreada, incluyendo la base de la capa.



Color.- Es proporcionado por la autora en forma apreciativa.

Consistencia.- grado de consolidación que presenta la capa en la zona muestreada.

Textura.- Con este dato se indica la forma de los granos dominantes y sus tamaños.

Composición.- Comprende aloquímicos, ortoquímicos, terrígenos y minerales del tamaño de arcillas. Se enfatiza en los ortoquímicos por ser los que tienen mayor influencia en la recuperación.

En la descripción de las láminas delgadas de los productos del beneficio se incluye la siguiente información:

Muestra.- Número de muestra con marcas arbitrarias.

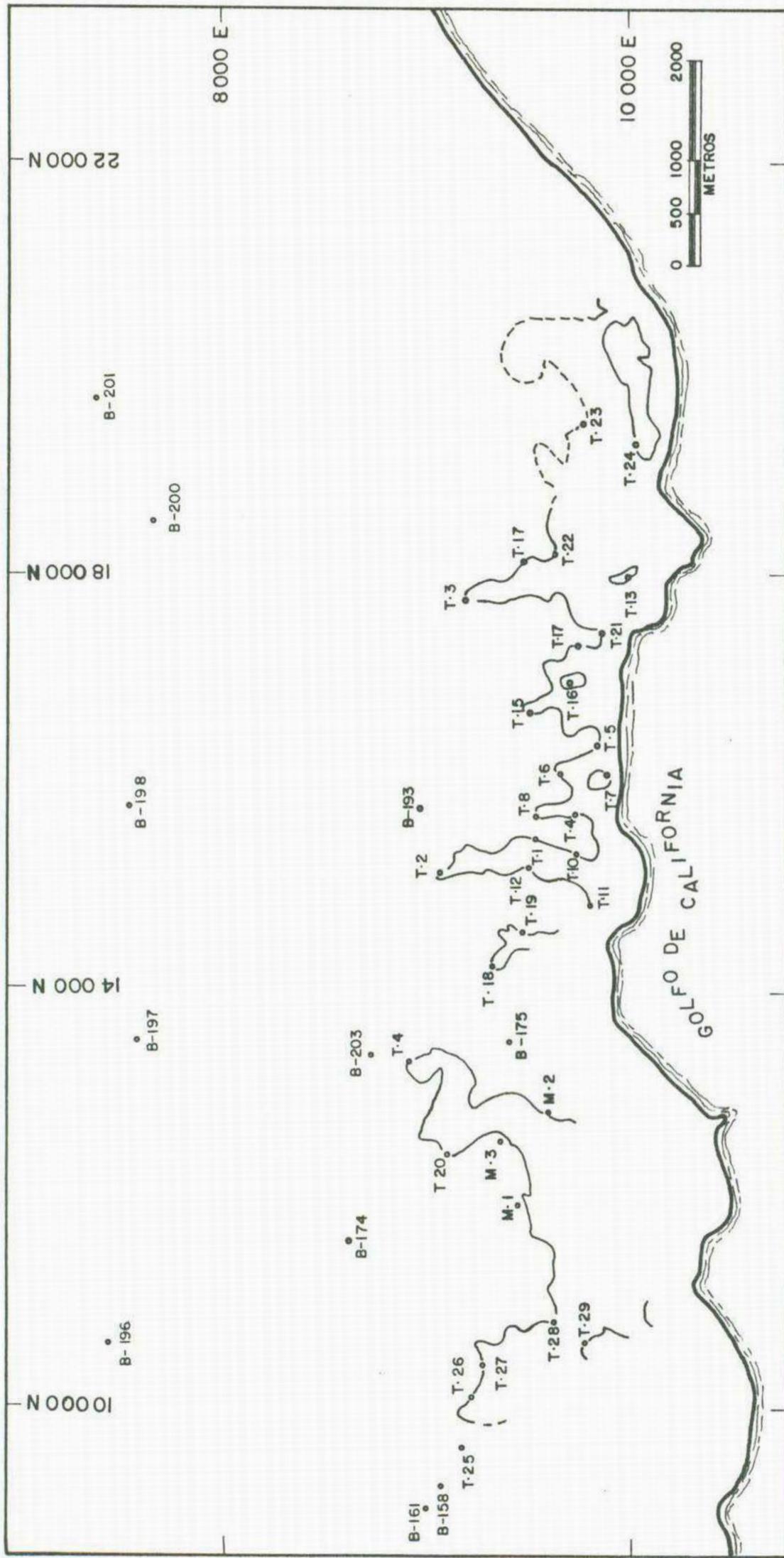
Procedencia.- Se refiere a la zona del yacimiento de donde se extrajo el mineral procesado.

Tipo de producto.- Indica la parte del proceso al que corresponde, es decir, concentrados, colas, medios o cabeza general.

Composición.- Por tratarse de material molido y procesado se clasifica en cuatro grupos, granos de francolita (mineral), fragmentos de calcita, fragmentos de origen terrígeno y fragmentos de roca.



EL SABER POR SI MISMO  
HARÁ MI INGENIERÍA  
Escuela de la Ingeniería  
Departamento de Geología  
BIBLIOTECA



MUESTRA DE MINA SUBTERRANEA

MUESTRA DE AFLORAMIENTO

AFLORAMIENTO DE CAPA

MUESTRA DE BARRENO

Figura 22.- Plano de localización de muestras de campo. Modificado de ROFOMEX (1988).  
En cada punto se tomaron entre 1 y 3 muestras.

## DESCRIPCION MICROSCOPICA DE LA FOSFORITA



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
Escuela de Ingeniería  
Depto. Geología  
BIBLIOTECA

MUESTRA : CCM-1<sub>s</sub>

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION : Mesa del Junco

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

ESPESOR : 1.80 m

TEXTURA : Oolitica arenacea

### COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 69

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 5

CALCITA : 6

% MIN. ARCILLOSOS : 1

COLOFANO : 15

SILICE : 4

MUESTRA : CCM-1<sub>m</sub>

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION : Mesa del Junco

CONSISTENCIA : Consolidada

TEXTURA : Oolitica arenacea

### COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 56

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 6

CALCITA : 37

% MIN. ARCILLOSOS : 1

COLOFANO :

SILICE :

MUESTRA : CCM-2<sub>s</sub>

COLOR : Crema pardo

LOCALIZACION: M. de la Crucesita

CONSISTENCIA: Semiconsolidada

ESPESOR : 1.60 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 72

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 7

CALCITA : 18

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

SILICE : 2

MUESTRA : CCM-2<sub>b</sub>

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION: M. de la Crucesita

CONSISTENCIA: Consolidada

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 55

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 15

CALCITA :

% MIN. ARCILLOSOS : 20

COLOFANO : 4

SILICE : 6

MUESTRA : CCM-3<sub>m</sub>

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION: Mesa del Junco

CONSISTENCIA : Consolidada

ESPESOR : 1.40 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 62

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 7

CALCITA : 30

% MIN. ARCILLOSOS : 1

COLOFANO :

SILICE :

MUESTRA : CCT-2

COLOR : Pardo grisáceo

LOCALIZACION : C. del Agua amarga

CONSISTENCIA : Consolidada

ESPESOR : 1.35 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 78

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 5

CALCITA : 15

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

YESO : 2

MUESTRA : CCT-3<sub>s</sub>

COLOR : Crema grisáceo

LOCALIZACION : M. del Saladito

CONSISTENCIA : Consolidada

ESPESOR : 1.50 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 68

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 10

CALCITA : 2

% MIN. ARCILLOSOS : 2

COLOFANO : 9

SILICE : 9

MUESTRA : CCT-3<sub>i</sub>

COLOR : Pardo grisáceo

LOCALIZACION : M. del Saladito

CONSISTENCIA : Consolidada

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 63

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 7

CALCITA : 20

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO : 6

SILICE : 4

MUESTRA : CCT-5<sub>s</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION : Mesa del Tule

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

ESPESOR : 1.70 m

TEXTURA : Oolitica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 70

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 20

CALCITA :

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

SILICE : 2

YESO : 8

MUESTRA : CCT-5<sub>i</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION : Mesa del Tule

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

TEXTURA : Oolitica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 60

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 10

CALCITA : 25

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

YESO : 5

MUESTRA : CCT-7<sub>m</sub>

COLOR : Crema amarillento

LOCALIZACION : M. de los Delfines

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

ESPESOR : 1.90 m

TEXTURA : Oolitica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 63

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 6

CALCITA : 25

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

YESO : 5

MUESTRA : CCT-8<sub>m</sub>

COLOR : Pardo

LOCALIZACION : C. de la Calera

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

ESPESOR : 1.65 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 77

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 5

CALCITA : 7\*

% MIN. ARCILLOSOS : 5\*

COLOFANO : 3\*

YESO : 3

\* Se presentan formando un agregado

MUESTRA : CCT-11<sub>s</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION : C. del Agua amarga

CONSISTENCIA : Consolidada

ESPESOR : 1.75 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 69

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 6

CALCITA : 17

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

SILICE : 8

YESO : 2

MUESTRA : CCT-13<sub>s</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION : H. del Pescador

CONSISTENCIA : Tenáz

ESPESOR : 1.80 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 72

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 10

CALCITA :

% MIN. ARCILLOSOS : 1

COLOFANO :

SILICE : 17

MUESTRA : CCT-13<sub>m</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION : H. del Pescador

CONSISTENCIA : Consolidada

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 50

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 10

CALCITA : 28

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

SILICE : 2

YESO : 10

MUESTRA : CCT-15<sub>s</sub>

COLOR : Pardo

LOCALIZACION : Cañada del Tule

CONSISTENCIA : Deleznable

ESPESOR : 1.80 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 65

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 8

CALCITA : 10

% MIN. ARCILLOSOS : 5

COLOFANO : 2

SILICE : 6

YESO : 4

MUESTRA : CCT-16<sub>s</sub>

COLOR : Pardo

LOCALIZACION : Mesa de la Vaca

CONSISTENCIA : Consolidada\*

ESPESOR : 1.70 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 75

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 5

CALCITA : 17

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

YESO : 3

\* Presenta lunares deleznales

MUESTRA : CCT-16<sub>b</sub>

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION : Mesa de la Vaca

CONSISTENCIA : Consolidada

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 70

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 15

CALCITA :

% MIN. ARCILLOSOS : 7

COLOFANO :

SILICE : 8



EL SABER DE MIS HIJOS  
 HONOR A LA VERDAD  
 BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
 EXACTAS Y NATURALES

MUESTRA : CCT-18<sub>u</sub>

COLOR : Gris crema

LOCALIZACION : C. de la Cruzcita

CONSISTENCIA : Consolidada

ESPESOR : 1.35 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 74

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 10

CALCITA : 3

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

SILICE : 13

MUESTRA : CCT-20<sub>s</sub>

COLOR : Pardo grisáceo

LOCALIZACION : Mesa del Junco

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

ESPESOR : 1.60 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 74

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 7

CALCITA : 4

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO : 15

SILICE :

MUESTRA : CCT-21<sub>s</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION: Mesa del Saladito

CONSISTENCIA: Consolidada

ESPESOR : 1.75 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 62

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 12

CALCITA : 13

% MIN. ARCILLOSOS : Tr

COLOFANO : 3

SILICE : 10

MUESTRA : CCT-21<sub>m</sub>

COLOR : Crema amarillento

LOCALIZACION: Mesa del Saladito

CONSISTENCIA: Semiconsolidada

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 65

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 9

CALCITA : 13

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO : 10

SILICE : 3

MUESTRA : CCT-21<sub>b</sub>

COLOR : Gris

LOCALIZACION: Mesa del Saladito

CONSISTENCIA: Tenaz

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 55

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 20

CALCITA :

% MIN. ARCILLOSOS : 10

COLOFANO :

SILICE : 15

MUESTRA : CCT-22<sub>s</sub>

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION: Mesa de Tarabillas

CONSISTENCIA: Consolidada

ESPESOR : 1.55 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 55

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 25

CALCITA : 10

% MIN. ARCILLOSOS : Tr\*

COLOFANO :

SILICE : 10\*

\* Se presentan como agregado

MUESTRA : CCT-22<sub>m</sub>

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION: Mesa de Tarabillas

CONSISTENCIA: Consolidada

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 65

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 5

CALCITA : 15

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

SILICE : 15\*

\* Se encuentra sumamente hematizado

MUESTRA : CCT-23<sub>m</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION: Arroyo Tarabillas

CONSISTENCIA: Tenaz

ESPESOR : 0.14 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 65

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 20

CALCITA :

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

SILICE : 15

Frecuentemente los núcleos ocupados por óxidos. Abundantes terrigenos del tamaño de gravas.

MUESTRA : CCT-24<sub>s</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION : Mesa del Tesoro

CONSISTENCIA : Tenaz

ESPESOR : 1.60 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 68

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 12

CALCITA :

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

SILICE : 20

MUESTRA : CCT-24<sub>i</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION : Mesa del Tesoro

CONSISTENCIA : Muy deleznable

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION:

Debido a su alta delezabilidad, no se elaboró una sección delgada común y, por lo tanto, el estudio petrográfico se efectuó sobre sedimento. No se determinó porcentaje de composición, solo se detectaron los minerales formadores básicos: **Abundantes terrigenos, presencia de calcita como cementante, oolitos con aureolas calcicas.**

MUESTRA : CCT-26<sub>u</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION : C. de la Gracia

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

ESPESOR : 1.75 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 65

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 10

CALCITA : 25

% MIN. ARCILLOSOS:

COLOFANO :

En esta zona la capa presenta horizontes sumamente delezables, por lo que no fue posible tomar otra muestra. Aparentemente la roca no ha sido totalmente consolidada

MUESTRA : CCT-28<sub>m</sub>

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION : Mesa del Junco

CONCISTENCIA : Tenaz

ESPESOR : 1.40 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 58

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 7

CALCITA : 35

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

SILICE:

Los rayos X reportan presencia de cristobalita

MUESTRA : CCT-29<sub>s</sub>

COLOR : Crema rojizo

LOCALIZACION : Cerro de la Caseta

CONSISTENCIA : Deleznable

ESPESOR : 1.70 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 72

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 8

CALCITA :

% MIN. ARCILLOSOS : 1

COLOFANO : 15

SILICE : 4

MUESTRA : CCT-29<sub>m</sub>

COLOR : Crema

LOCALIZACION : Cerro de la Caseta

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 70

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 8

CALCITA : 8

% MIN. ARCILLOSOS : \*

COLOFANO :

SILICE : 14\*

\*Forman un agregado indiferenciado

MUESTRA : CCB-158

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION : Arroyo San Juan

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

ESPESOR : 2.07 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 70	% ORTOQUIMICOS :
% TERRIGENOS : 10	CALCITA : 9
% MIN. ARCILLOSOS :	COLOFANO : 11
	SILICE :

MUESTRA : CCB-174

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION : Mesa del Junco

CONSISTENCIA : Consolidada

ESPESOR : 1.40 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 69	% ORTOQUIMICOS :
% TERRIGENOS : 8	CALCITA : 5*
% MIN. ARCILLOSOS :	COLOFANO : 5*
	SILICE : 13*

\* Se presentan formando un agregado

MUESTRA : CCB-175

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION : Mesa de la Cruzcita

CONSISTENCIA : Consolidada

ESPESOR : 0.90 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 67	% ORTOQUIMICOS :
% TERRIGENOS : 10	CALCITA :
% MIN. ARCILLOSOS :	COLOFANO :
	SILICE : 23

MUESTRA : CCB-193

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION: Mesa del Tule-Calera

CONSISTENCIA: Semiconsolidada

ESPESOR : 1.10 m

TEXTURA : Oolítica arenacea



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 60	% ORTOQUIMICOS :
% TERRIGENOS : 18	CALCITA : 12
% MIN. ARCILLOSOS :	COLOFANO : 5
	SILICE : 5

MUESTRA : CCB-196

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION: W del yacimiento

CONSISTENCIA: Consolidada

ESPESOR : 1.65 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 70	% ORTOQUIMICOS :
% TERRIGENOS : 12	CALCITA : 10*
% MIN. ARCILLOSOS :	COLOFANO : 4*
	SILICE : 4*

\* Se presentan formando un agregado

MUESTRA : CCB-197

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION: W del yacimiento

CONSISTENCIA : Consolidada

ESPESOR : 1.60 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 57	% ORTOQUIMICOS :
% TERRIGENOS : 8	CALCITA : 35
% MIN. ARCILLOSOS :	COLOFANO :
	SILICE :

MUESTRA : CCB-198

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION : W del yacimiento

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

ESPESOR : 1.05 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 57

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 13

CALCITA : 15

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO : 8

SILICE : 4

MUESTRA : CCB-200

COLOR : Gris

LOCALIZACION : W del yacimiento

CONSISTENCIA : Consolidada

ESPESOR : 1.00 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 58

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 18

CALCITA : 20

% MIN. ARCILLOSOS : 4

COLOFANO :

SILICE :

MUESTRA : CCB-201

COLOR : Gris

LOCALIZACION : W del yacimiento

CONSISTENCIA : Tenáz

ESPESOR : 1.07 m

TEXTURA : Oolítica arenacea

## COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 67

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 10

CALCITA :

% MIN. ARCILLOSOS :

COLOFANO :

SILICE : 23

MUESTRA : CCB-203

COLOR : Gris pardo

LOCALIZACION : W de yacimiento

CONSISTENCIA : Semiconsolidada

ESPEJOR : 1.00

TEXTURA : Oolítica arenacea

COMPOSICION :

% ALOQUIMICOS : 65

% ORTOQUIMICOS :

% TERRIGENOS : 10

CALCITA : 5

% MIN. ARCILLOSOS : 2

COLOFANO : 8

SILICE : 10

DESCRIPCION MICROSCOPICA DE LOS PRODUCTOS  
DEL PROCESO DE BENEFICIO

MUESTRA : C -CG

TIPO DE PRODUCTO : Cabeza general

PROCEDENCIA : Minas subterranas Crucesita, Calera y Zona III

COMPOSICION :

‡ GRANOS DE FRANCOLITA : 80

‡ FRAGMENTOS DE CALCITA : 7

‡ TERRIGENOS : 3

‡ FRAGMENTOS DE ROCA : 10

---

MUESTRA : C -C2

TIPO DE PRODUCTO : Concentrado

PROCEDENCIA : Minas subterranas Crucesita, Calera, Vaca y Zona III

COMPOSICION :

‡ GRANOS DE FRANCOLITA : 90

‡ FRAGMENTOS DE CALCITA : 8

‡ TERRIGENOS :

‡ FRAGMENTOS DE ROCA : 2

MUESTRA : C<sub>1</sub>

TIFO DE PRODUCTO : Colas

PROCEDENCIA : Minas subterráneas Crucesita, Calera, la Vaca y Zona III

COMPOSICION :

‡ GRANOS DE FRANCOLITA : 25

‡ FRAGMENTOS DE CALCITA : 5

‡ TERRIGENOS : 30

‡ FRAGMENTOS DE ROCA : 40



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

---

MUESTRA : C-M

TIFO DE PRODUCTO : Medios

PROCEDENCIA : Tajo Saladito

COMPOSICION :

‡ GRANOS DE FRANCOLITA : 20

‡ FRAGMENTOS DE CALCITA : 5

‡ TERRIGENOS : 70

‡ FRAGMENTOS DE ROCA : 5

---

MUESTRA : C-C1

TIFO DE PRODUCTO : Concentrado

PROCEDENCIA : Tajo Saladito

COMPOSICION :

‡ GRANOS DE FRANCOLITA : 95

‡ FRAGMENTOS DE CALCITA : 5

‡ TERRIGENOS : Tr

‡ FRAGMENTOS DE ROCA :

MUESTRA : C<sub>4</sub>

TIPO DE PRODUCTO : Colas

PROCEDENCIA : Tajo Saladito

COMPOSICION :

‡ GRANOS DE FRANCOLITA : 5\*

‡ FRAGMENTOS DE CALCITA : 87

‡ TERRIGENOS : 5

‡ FRAGMENTOS DE ROCA :

\*Este valor no incluye a los oolitos atrapados por calcita

---

---

MUESTRA : C-C3

TIPO DE PRODUCTO : Concentrado

PROCEDENCIA : Tajo Arroyo Tarabillas

COMPOSICION :

‡ GRANOS DE FRANCOLITA : 78

‡ FRAGMENTOS DE CALCITA : 10

‡ TERRIGENOS : 2

‡ FRAGMENTOS DE ROCA : 10

---

---

MUESTRA : C<sub>2</sub>

TIPO DE PRODUCTO : Colas

PROCEDENCIA : Tajo Arroyo Tarabillas

COMPOSICION :

‡ GRANOS DE FRANCOLITA : 5\*

‡ FRAGMENTOS DE CALCITA : 70\*

‡ TERRIGENOS : 5

\*Los oolitos atrapados en calcita constituyen el restante 20% de la roca

MUESTRA : C-3

TIPO DE PRODUCTO : Colas

PROCEDENCIA : Saladito Zona III

COMPOSICION :

% GRANOS DE FRANCOLITA : 25

% FRAGMENTOS DE CALCITA : 20

% TERRIGENOS : 35

% FRAGMENTOS DE ROCA : 20