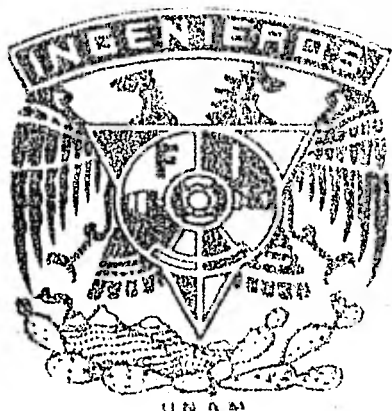




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

**Geología y Yacimientos Minerales de Fosforita
del Area San Juan de la Costa, Mpio. de la
Paz, B. C. S.**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO GEOLOGO

p r e s e n t a :

LUIS MAYORAL MARTINEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

C O N T E N I D O

RESUMEN	<u>Pag.</u>
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	
GENERALIDADES	7
II.1. Antecedentes	7
II.2. Objeto de Trabajo	9
II.2. Método de Trabajo	9
CAPITULO III	
GEOGRAFIA	12
III.1. Localización, Extensión y Vías de Acceso	12
III.2. Fisiografía	14
III.2.1. Geomorfología	14
III.2.2. Hidrografía	16
III.3. Clima y Vegetación	17
III.4. Economía y Población	18
CAPITULO IV	
GEOLOGIA GENERAL	27
IV.1. Geología Local	27
IV.2. Estratigrafía	28
A) Eoceno	28
B) Oligoceno	29
C) Mioceno	29
C-1) Mioceno Inferior	29
C-2) Mioceno Medio	35
C-3) Mioceno Superior	38

	<u>Pag.</u>
D) Pleistoceno	42
E) Cuaternario	42
IV.3. Geología Estructural	42
IV.4. Tectónica	46
IV.5. Historia Geológica	51
CAPITULO V	
GENERALIDADES SOBRE EL FOSFORO	55
V.1. Geoquímica del Fósforo	56
V.2. Clasificación de los yacimientos de fos- fato	59
V.3. Técnicas de exploración	68
V.4. Recursos y Reservas	70
V.5. Oferta y Demanda	72
CAPITULO VI	
YACIMIENTOS MINERALES	74
VI.1. Geología, forma y dimensiones	74
VI.2. Mineralogía y composición química	78
VI.3. Alteraciones	80
VI.4. Hipótesis genética y clasificación	81
CAPITULO VII	
CALCULO DE RESERVAS	87
VII.1. Estudio Geoestadístico	87
VII.2. Clasificación de Reservas	95
VII.3. Configuraciones	97
CAPITULO VIII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFIA	
PLANOS E ILUSTRACIONES	

INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y MAPAS

	<u>Página</u>
Tabla 1.- Oferta histórica de roca fosfórica en México	5
2.- Tendencia de la oferta de roca fosfórica en México	6
Figura 1.- Localización del área de estudio .	26A
2.- Tabla de correlación estratigráfica de B.C.S.	43
3.- Paleogeografía del Mioceno Inferior	54
4.- Abundancia de depósitos de fosfatos	70A
5.- Oferta y demanda mundial de roca fosfórica 1975-1985	73A
6.- Distribución de la Ley de P_2O_5 en la Capa Humboldt en la Zona del Tajo No. 1	111
7.- Distribución de la materia Insoluble en la Capa Humboldt en la Zona del Tajo No. 1	112
8.- Distribución del CaO de la Capa Humboldt en la Zona del Tajo No. 1	113
9.- Relación CaO-Yeso/ P_2O_5 de la Capa Humboldt en la Zona del Tajo No. 1	114
10.- Isohipsas de la cima de la Capa Humboldt en la Zona del Tajo No. 1	115
11.- Isopacas de la Capa Humboldt en la Zona del Tajo No. 1	116
12.- Relación M^3 /Ton en la Capa Humboldt en la Zona del Tajo No. 1	117

Página

	13.- Isoencapes de la Capa Humboldt en la Zona del Tajo No. 1	118
	14.- Sección de correlación geológica y radiométrica entre barrenos .	al final
Mapa	1.- Mapa Geológico de San Juan de la Costa, B.C.S.	al final
	2.- Mapa de reservas de San Juan de la Costa, B. C. S.	al final

R E S U M E N

El fuerte crecimiento demográfico mundial, y la aspiración del hombre a lograr mejores niveles de vida, han hecho necesario que la alimentación a partir de productos agrícolas vaya en aumento.

La producción de las cosechas es notablemente mejorada con la aplicación de fertilizantes, en especial aquellos de tipo fosforado. La fuente principal para su elaboración proviene de roca fosfórica, particularmente de fosforitas. En - - nuestro país, con una producción de roca fosfórica que no alcanza a satisfacer la demanda nacional, ha sido tradicionalmente - importador, con la consecuente fuga de divisas tan negativa para la economía del país.

En 1974 el gobierno federal decidió levantar el inventario nacional de roca fosfórica, a través del Consejo de Recursos Minerales (CRM), lo que dió como resultado que se descubrieran en 1976 entre otros el yacimiento de San Juan de la Cogta en Mpio. de la Paz, B. C. Sur.

El yacimiento se encuentra alojado dentro de la Formación Monterey del Mioceno Inferior, entre 35 y 60 m abajo del contacto con la Formación San Isidro y consiste de varias capas de fosforita en alternancia con lutitas y areniscas tobáceas, algunas capas de tobas y una caliza coquinoide que gradúa a un conglomerado el cual constituye la cima de la formación.

La capa más importante económicamente, es la capa - Humboldt, tanto por su espesor y su ley como por su continuidad lateral en toda el área estudiada, pues llega a tener hasta 23% de P_2O_5 y 2.30 m de espesor. La Formación Monterey, - presente un ligero buzamiento entre 1° y 3° al NW, que puede considerarse horizontal, con excepción de las zonas cercanas a fallas; esta es la actitud que tienen también las capas de fosforita.

La Formación Monterey subyace a la Formación San Isidro del Mioceno Medio y le infrayace la Formación Tepetate del Eoceno.

Según los estudios realizados el fosfato está presente en forma de oolitos cuyo mineral es francolita, $Ca_5 (PO_4, - CO_3)_3 (F, OH)$, llamada también carbonato fluorapatita, los otros constituyentes son cuarzo, feldespatos, goethita, halita, fragmentos orgánicos y yeso en una matriz montmorillonítica.

Las investigaciones geológicas, químicas, mineras y - metalúrgicas efectuadas, además de constituir la base para el cálculo de reservas del área estudiada, permite clasificar al yacimiento como de origen sedimentario de origen químico.

El tonelaje de fosforita de cada capa y bloque, se clasificó por su disponibilidad minera, por el sistema de explotación y por la confiabilidad del cálculo.

I. INTRODUCCION

El fuerte crecimiento demográfico mundial, y la aspiración del hombre a lograr mejores niveles de vida, han hecho necesario que la alimentación a partir de productos agrícolas vaya en aumento. Para satisfacer esta demanda se han abierto nuevas tierras al cultivo, y en las ya existentes se ha logrado mejorar notablemente la productividad en base a la aplicación de fertilizantes de diversos tipos; aunque básicamente los elementos empleados en su elaboración son, el fósforo, el nitrógeno y el potasio, los que generalmente se ven disminuídos en los suelos debido a que son nutrimentos esenciales en los procesos de la vida vegetal. Particularmente el fósforo es atacado y lixiado por aguas ácidas en los suelos, y es necesario agregarlo en forma de fertilizantes para elevar la producción en las cosechas.

De los depósitos de roca fosfórica, (ya sea de origen sedimentario, ígneo u orgánico constituyen la mena del fósforo presente en forma de P_2O_5) el 80% de la producción mundial de fósforo se emplea en la elaboración de fertilizantes, el 14% - se emplea para producción de alimentos balanceados pra ganado y el 6% restante se destina para producción de detergentes, insecticidas y en la industria metalúrgica y bélica.

El 75% de la producción mundial se obtiene de fosforitas de origen marino; 17% de apatitas ígneas y el resto de acumulación de guano y depósitos derivados.

La producción mundial de roca fosfórica en los años 1976, 1977 y 1978 fué de 107,304, 115,847 y 124,917 millones de toneladas de los cuales EUA, URSS y Marruecos aportaron - el 79.25, 76.4 y 74.85% respectivamente; mientras que producciones conjuntas de China, Tunisia, Togo y Sudáfrica aportaron para los mismos años el 10.10, 11.20 y 10.97%. De lo anterior, se deduce que la producción mundial de este producto, está controlado por los países mayormente productores, los cuales tienen la facultad de controlar las condiciones del mercado mundial de roca fosfórica, como sucedió en 1974 cuando estos tres países decidieron unilateralmente elevar los precios hasta en 600% con el correspondiente impacto económico negativo para los países netamente agricultores.

Se ha estimado que la demanda mundial de fosfatos, experimentará un incremento alrededor del 5% anual durante la - década de 1975-1985, un poco menos del 6% anual que tuvo durante la década de 1965-1975.

En México durante la primera mitad de este siglo, se - explotaron en forma esporádica yacimientos fosfáticos en los - estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas; más recientemente la producción nacional ha procedido principalmente de las empresas fosforitas Mexicanas y Fosfatos Tricálcicos, S. A. en el distrito de Saltillo-Concepción del Oro; y Minerales Industriales, S.A., en Pacula, cerca de Zimapán, Hgo.

La producción nacional ha sido siempre raquítica (me-

nos de 200,000 tons/año) y ha sido necesario cubrir parcialmente la demanda con importación (actualmente se compra de Marruecos y EUA); solamente para 1979 el déficit cubierto con importación ocupó el 75.84% de un total de 1,498 900 tons. que se consumieron (Tablas 1 y 2).

Teóricamente se han estimado los precios por tonelada de roca fosfórica para 1981 y 1986 en 30 y 35 dólares respectivamente, lo cual ocasionaría erogaciones por aproximadamente - 1,725 millones de pesos en el primer caso, y 3,620 millones de pesos para 1986, tan fuerte gasto para la economía del país no necesita comentarios.

Para dar solución adecuada a largo plazo a este problema, el Gobierno Federal inició un importante programa de exploración por roca fosfórica a nivel nacional por medio del Consejo de Recursos Minerales.

En 1974, el CRM descubrió el yacimiento de San Hilario, en el Edo. de Baja California Sur. En ese mismo año se constituyó la empresa Roca Fosfórica Mexicana, S.A. (ROFOMEX) para la exploración, evaluación y de ser posible la explotación, el beneficio y la comercialización de la roca fosfórica.

Durante 1975 y 1976 el CRM y ROFOMEX exploraron en detalle los depósitos de San Hilario, cubicándose 600 millones de toneladas de roca fosfórica con ley promedio de 13% de P_2O_5 . De este tonelaje se calculó que un 10% podía ser explotado a

los costos y precios de 1976. Las pruebas metalúrgicas corridas durante la etapa de exploración no fueron favorables, ya que en ningún caso los concentrados llegaron a tener de 30 a 33% de P_2O_5 , requisito para que la roca sea comercial.

Estos resultados, aunados a la cuantiosa inversión que se contemplaba para abrir una mina en San Hilario, motivaron - que ROFOMEX y el CRM exploraron regionalmente otras zonas.

En julio de 1976 ROFOMEX, reporta capas de fosforita de interés económico en San Juan de la Costa, escogiéndose éste de otros sitios para explorarlo más a fondo, sobre todo por la ley y espesor de las capas de fosforita, así como por su situación geográfica.

TABLA 1.- OFERTA HISTORICA DE ROCA FOSFORICA EN MEXICO (miles de toneladas)

AÑO	Producción Nacional					Importaciones		Total	
	Minerales Industriales	Fosforitas Mex.	ROFOMEX	Subtotal	% de Part.	Volumen	% de Part.	Volumen	%
1970	1.8	10.5	-	12.3	1.47	825.0	98.53	837.3	100
1971	-	18.0	-	18.0	1.65	1,075.0	98.35	1,093.0	100
1972	-	12.0	-	12.0	1.44	822.3	98.56	834.3	100
1973	-	20.0	-	20.0	1.91	1,025.0	98.09	1,045.0	100
1974	147.3	13.7	-	161.0	9.67	1,503.5	90.33	1,664.5	100
1975	235.5	15.5	-	251.0	17.01	1,225.0	82.99	1,476.0	100
1976	189.0	25.4	-	214.4	13.79	1,340.0	86.21	1,554.4	100
1977	241.0	24.8	-	265.8	15.76	1,420.0	84.24	1,685.8	100
1978	298.8	10.5	-	309.3	18.66	1,349.0	81.34	1,658.3	100
1979	347.0	15.0	-	362.01	24.16	1,136.9	75.84	1,498.9	100
Total	1,460.4	165.4	-	1,625.8	12.2	11,721.7	87.8	13,347.5	100

NOTA:

1/ Estimado por la Dirección General de Minas

FUENTE: Dirección General de Minas
Dirección General de Aduanas

TABLA 2.- TENDENCIA DE LA OFERTA DE ROCA FOSFORICA EN MEXICO (Miles de toneladas)

AÑO	Fosforitas Mexicanas	Minerales Industriales	Subtotal	R O F O M E X		Subtotal	Total
				San Juan de La Costa	Santo Domingo		
1980	15	150	165	200	-	200	365
1981	15	150	165	730	-	730	895
1982	15	150	165	730	1,500	2,230	2,395
1983	15	150	165	730	1,500	2,230	2,395
1984	15	150	165	730	1,500	2,230	2,395
1985	15	150	165	730	4,500	5,230	5,395
1986	15	150	165	730	4,500	5,230	5,395
1987	15	150	165	730	4,500	5,230	5,395
1988	15	150	165	730	4,500	5,230	5,395
1989	15	150	165	730	4,500	5,230	5,395
1990	15	150	165	730	4,500	5,230	5,395
Total	165	1,650	1,815	7,500	31,500	39,000	40,815

FUENTE: ROFOMEX; Dirección General de Minas

FECHA: Marzo, 1980.

II. GENERALIDADES

II. 1. Antecedentes

La bibliografía de carácter geológico que existe sobre el estado de Baja California Sur, es numerosa, sin embargo, la mayor parte de los trabajos realizados han sido con enfoque principalmente de tipo cartográfico petrolero. Destacan entre otros más antiguos de tipo minero, los realizados por la Compañía Minera Fornos, S. A. filial de Hanna Mining Company, quienes entre los años de 1954 a 1958 exploraron y realizaron numerosas pruebas de beneficio en las arenas de las playas de Bahía Magdalena, con leyes hasta de 5% de P_2O_5 y resultados satisfactorios, en 1957 el Consejo de Recursos Naturales no Renovables (hoy Consejo de Recursos Minerales), realizó trabajos de evaluación en esa misma zona y efectuó además un muestreo a lo largo de la carretera Transpeninsular con resultados de 1 a 3% de P_2O_5 ; en 1957 Mina publica el "Bosquejo Geológico del Territorio Sur de B.C.", en 1965 D'Angeljan en su trabajo "Sobre la presencia de Fosforitas marinas frente a Baja California, Méx." reporta la existencia de enormes volúmenes de arenas fosfáticas entre los paralelos 24° y 27° de latitud norte.

En 1974 el Consejo de Recursos Minerales, inició sus trabajos de exploración en la región costera del Océano Pacífico, perforando algunos barrenos con equipo "Auger" (Minute Man) y obtuvo muestras hasta el nivel del mar, logrando leyes entre

3 y 5% de P_2O_5 , que no fueron consideradas de interés suficiente para continuar la exploración.

En ese mismo año, Salas postuló que "las arenas y gravas con muy baja ley de P_2O_5 a lo largo de la costa no se derivan necesariamente de afloramientos submarinos del Mioceno como dice el Dr. Bruno D'Anglejan, sino que pueden haberse erosionado del Mioceno que está en las terrazas topográficamente más - - arriba que las playas." Esta hipótesis cambió la política de exploración del CRM en la zona, lo que poco después condujo al descubrimiento del yacimiento de San Hilario y posteriormente mientras se realizaba la exploración detallada de éste, ROFOMEX programó una campaña de exploración regional, señalando como áreas de interés las de San Juan de la Costa - Punta Coyote, Punta Dolores-Punta San Cosme, Santa Rita-San Luis Gonzaga, San Gregorio-La Purísima, San Juan-San Ignacio y las arenas de Bahía Magdalena. Como resultado de esta exploración se encontraron yacimientos de interés económico en San Juan de la Costa, Santa Rita y Tembabiche.

El área San Juan de la Costa, se exploró de 1977 a 1979; en su etapa inicial González (1978) presenta un bosquejo geológico y poco después Martínez y Soto (1978) tratan a mayor detalle la estratigrafía y algunos aspectos mineros de esta etapa.- El presente estudio comprende la evaluación y clasificación de las reservas de fosforita en el área.

II. 2. Objeto del Trabajo

El presente trabajo es parte de las actividades desempeñadas por el autor en la empresa Roca Fosfórica Mexicana, S. A., durante más de cuatro años dentro de su programa de exploración de roca fosfórica, en el estado de Baja California Sur. La exploración del Proyecto se dividió en dos fases. La primera tuvo como objetivos determinar la estratigrafía del área y la posición, extensión, espesor y ley de las capas de fosforita. La segunda fase tuvo como objetivos efectuar el cálculo de reservas y su clasificación. La información se integró y se presenta como tema de tesis.

II. 3. Método de Trabajo

La exploración de la zona, comprendió las siguientes etapas:

Toma de fotografías aéreas: octubre de 1976

Fotogeología Regional: noviembre de 1976 a -
febrero de 1977

Mapeo geológico detallado (1:2000): marzo a -
agosto de 1977.

Barrenación con recuperación de núcleos: marzo a
agosto de 1978

Pruebas metalúrgicas: enero a agosto de 1977

Estimación de reservas: julio de 1977 a agosto de 1979.

El trabajo se dividió en actividades realizadas tanto en campo como gabinete; a continuación se hace una descripción somera de éstas:

El mapeo geológico regional se hizo interpretando en el campo las fotografías aéreas verticales a esc. 1:10,000 - para luego pasar al plano fotogramétrico los datos, para ello se utilizó el pantógrafo óptico (Mapograph), amplificador, - reductor de proyección y reflexión (Artograph), el cual resulta adecuado cuando no se tienen grandes contrastes de elevaciones como es el caso.

En este aspecto se dedicó especial atención a los rasgos estratigráficos y estructurales.

Paralelamente a la fotogeología, se midieron secciones que cubrieran toda el área, tomando muestras para estudios petrográficos de macro y microfauna. Los primeros fueron realizados en el Instituto Mexicano del Petróleo, y los de macrofauna en el Instituto de Geología (UNAM).

El mapeo geológico detallado, comprendió el levantamiento a brújula y cinta (Esc. 1:2000) de las capas de fosforita apoyándolo en puntos de la poligonal base de Gymsa, y en poligonales auxiliares. Este mapeo se enfocó a detallar la posición de la capa principal de fosforita y se combinó con un muestreo con marro y cuña en trincheras abiertas cada 500 m - aproximadamente. De estas mismas localidades se colectó mineral para pruebas metalúrgicas realizadas en la Comisión de Fomento Minero.

Con base en el trabajo anterior, se programó una malla

regular de barrenación con lados de 300 m en la mesa del Junco y en el Tajo No. 1, para ubicar sus reservas y diseñar su explotación minera en poco tiempo. En el resto del área (del Arroyo del Junco al de Tarabillas), la barrenación se efectuó sobre una malla irregular, con objeto de precisar la continuidad de las capas de fosforita y estimar sus reservas al cerrar la malla posteriormente; aunque el primer cálculo geoestadístico estableció la confiabilidad de separación entre distancias menores de 300 m entre barreno y barreno.

Los barrenos fueron perforados con recuperación de núcleo a un diámetro NQ (4.76 cm), salvo los primeros 5 ó 6 m que se perforaron con broca tricónica. La recuperación de núcleo varió de 88% a 97% y fué constante en toda la longitud de cada barreno, por lo que la información obtenida es bastante confiable.

Las coordenadas y cotas de cada barreno, fueron determinadas por métodos topográficos, con precisión de 1:40,000 y de 0.05 m/km respectivamente.

III. G E O G R A F I A

III. 1.- Localización, extensión y Vías de Acceso

El yacimiento de roca fosfórica de San Juan de la Costa, se encuentra ubicado en la costa oriental del Estado de Baja California Sur, sobre la porción media de la Bahía de la Paz, al NW de la ciudad de la Paz, capital del Estado. Geográficamente se localiza entre las coordenadas $24^{\circ}23'$ y $24^{\circ}28'$ latitud norte y entre los meridianos $110^{\circ}42'$ y $110^{\circ}44'$ longitud oeste, su altitud varía entre 55 y 75 m sobre el nivel del mar.

Hacia el norte se limita poco adelante del Arroyo de Tarabillas y al sur poco antes del Rancho San Juan; al este - queda limitado por el mar del Golfo de California y hacia el Oeste por la Sierra de La Giganta.

El afloramiento de las capas de fosforita tiene un rumbo noroeste, en general paralelo a la línea de costa sobre una extensión de poco más de 10 km de longitud, con una anchura - promedio de 2.5 km que hace una superficie de 2.5 km^2 aproximadamente.

Por vía terrestre el acceso al depósito se logra a través de dos brechas, ambas construídas por Rofomex. La primera y más antigua se inicia a la altura del Km 99 de la carretera - transpeninsular Benito Juárez, de la que parte un camino hacia el oriente, pasando por la zona de San Hilario, atravieza la -

sierra de La Giganta hasta llegar al extremo sur del área, -
cruza toda la zona explorada hasta llegar a San Juan de la -
Costa (Fig. 1).

El desarrollo de este camino es de aproximadamente 160 km y el recorrido varía de 2 a 3 horas desde la ciudad de La Paz. Actualmente se encuentra en malas condiciones caracterizándose por lo accidentado del terreno. Como este camino se abrió para dar acceso al inicio de la exploración en aquella zona y con los resultados positivos que se obtuvieron en la primera etapa, fué necesario abrir un camino de más fácil acceso y menor recorrido a la ciudad de La Paz. Este camino empieza a la altura del km 26+500 de la mencionada carretera; se aparta al NE un camino con una longitud de 25 km sobre un tramo revestido construido con anterioridad, hasta Punta Cajete. De ahí sobre 17 km se bordea la costa de la Bahía de La Paz para llegar finalmente a la zona de estudio. La distancia de La Paz al área de estudio es de 68 km y el tiempo de recorrido de una hora.

Por mar, el acceso se logra desde cualquier punto de la Bahía, embarcaciones pequeñas con motor fuera de borda efectúan el recorrido en dos horas desde La Paz. Para el acceso por aire, en el extremo sur, cuenta la zona con una pista de aterrizaje de 900 m de longitud y 17 m de anchura, en buenas condiciones, en la que pueden descender aviones mono o bimoto-

res. El tiempo de vuelo desde el aeropuerto de La Paz es de 15 minutos en condiciones normales.

III. 2.- Fisiografía

El área de estudio se localiza en la vertiente oriental de la provincia fisiográfica de Baja California (Raiz 1964). Ocupa un amplio corredor entre el mar y la sierra de La Giganta situada al poniente, ésta constituye las mayores prominencias - sobrepasando los 600 m sobre el nivel del mar. Está constituida por rocas volcánicas y volcanosedimentarias como areniscas - tobáceas, aglomerados y en la cima una colada basáltica corona la secuencia. Este conjunto de rocas constituye el parteaguas del extremo sur de la península, situado muy próximo a la costa del Golfo de California, forma pendientes cortas y abruptas que generalmente terminan en acantilados sobre el mar; mientras que hacia el Océano Pacífico las pendientes son suaves y de -- grandes distancias.

Continuando hacia el oriente el relieve es menos accidentado, contrastando con las prominencias menores a que dan lugar las rocas sedimentarias de menor dureza, para dar paso luego a amplias mesetas, de relieve ondulado muy característico, - que descienden directamente al mar.

III. 2.1.- Geomorfología

La acción de los procesos geológicos endógenos y exó-

genos que han afectado a la región, han jugado el papel más importante en la evolución del modelado de la misma. Entre los endógenos se encuentran aquellos que se relacionan con movimientos de levantamiento regional, basculamiento, fallamiento y fracturamiento que ha sufrido la península. Los procesos exógenos - incluyen la erosión diferencial, que es fuertemente favorecida por las condiciones de aridez del clima y la reducida vegetación. Aunque el número y permanencia de precipitaciones sea mínimo, generalmente son de carácter torrencial y manifiestan gran poder erosivo.

La parte occidental, dominada por rocas volcánicas presenta las mayores elevaciones en las que tobas y aglomerados - forman a menudo escarpes de abruptas pendientes, ocasionadas por desprendimiento de bloques, al erosionarse las rocas inferiores a consecuencia de su menor resistencia a los procesos erosivos.

Geomorfológicamente destacan al oriente las mesetas - erosionadas formadas en el contacto entre las formaciones Monterey y San Isidro, con elevaciones entre los 90 y 110 m sobre el nivel del mar, alcanzando hasta 140 m formando un relieve - ondulado, debido a la poca o nula resistencia de estas rocas.- Estas mesetas son resultado de una capa de coquina arenosa, densa y compacta, parcialmente silicificada, que funciona como una cubierta resistente a la erosión, protegiendo a otro grupo de - rocas de menor resistencia al intemperismo.

Entre los rasgos de tercer orden se encuentran los - producidos por las corrientes, en los valles y los que están representados por los deltas. En conclusión el área se encuentra en una etapa de juventud tardía.

III. 2.2.- Hidrografía.

La región se encuentra disectada por numerosos arroyos y cañadas que han cortado profundamente los sedimentos, - originando por consiguiente que las mesetas se encuentren limitadas por cauces encañonados, algunas veces labrados siguiendo trazas de fallas y fracturas y en otras formando meandros, - para finalmente en su desembocadura formar pequeños deltas. Generalmente los cauces se encuentran alineados Este-oeste.

Los arroyos más importantes de sur a norte son el de San Juan, El Junco, El Saladito y Tarabillas. La mayoría son de régimen intermitente, sólo corren durante los grandes aguaceros irregulares que se presentan en los meses de agosto a febrero presentándose en el de San Juan y Tarabillas pequeños escurrideros que fluyen durante todo el año. Sus corrientes se - clasifican como obsecuentes, aunque algunos tributarios son con secuentes y otros insecuentes, sobre todo en las zonas de fallamiento. El drenaje que se ha desarrollado ha formado un patrón de tipo dendrítico al entrar a las rocas suaves, provocado por la posición casi horizontal de las capas y la débil resistencia al intemperismo y erosión de los sedimentos. Del contraste ob-

servado entre las abruptas paredes que limitan los valles y las planicies de inundación, se interpreta que en la región ha prevalecido un movimiento de emersión que continúa hasta la actualidad.

La mayoría de los arroyos se encuentran en la etapa - de Juventud, en aquellos de mayor cauce.

III. 3.- Clima y Vegetación

En todo el Estado de Baja California Sur, predomina - el clima semidesértico, generalmente extremoso de caliente a - seco, cuya temperatura anual promedio varía de 16°C , en la parte sur, hasta los 24°C en la parte noroeste en la región de Loreto. Las temperaturas máximas absolutas varían entre 50°C en Mulegé hasta 34°C en la Sierra de Laguna; las mínimas varían de -2°C en el noroeste del Estado, hasta 7°C en la región sur. Los factores climáticos han tenido irregular intervención en la formación del conjunto de elementos geográficos que actualmente integran la península. Consecuentemente los climas son afectados por la ausencia de lluvias, de las que se tienen definidos dos regímenes; uno que comprende a los meses de julio, - agosto, septiembre y octubre y en él se encuentra el 75% de la precipitación total anual, mientras que el 25% restante se concentra en los meses de diciembre, enero y febrero.

Las precipitaciones oscilan entre los 10 mm hasta los 100 mm en la parte norte, 50 mm a 150 mm en la parte central y

150 a 450 mm en la parte sur, presentándose un máximo de 750mm en la Sierra de La Laguna. De lo escaso de la precipitación, - gran parte es inmediatamente evaporada y la otra parte se vacía directamente al mar. (La evaporación anual promedio es superior a los 2,000 mm).

Todos estos factores influyen notablemente para que - la vegetación esté compuesta en su mayor parte de vegetación - desértica muy variada, en la que destacan los arbustos y matorrales espinosos, cactáceas y chaparral. Solamente en partes aisladas se observa vegetación de litoral como manglares y únicamente en la parte alta de la Sierra de La Victoria en el extremo sur, prosperan escasos bosques de oyameles, región que - es mayormente favorecida por ser el clima más frío y con mayor precipitación pluvial que en el resto del Estado. En el área de estudio, las lluvias son aún más escasas que en el resto de la región, las más frecuentes se presentan en los meses de septiembre a enero, una o dos veces por año y en la temporada de - ciclones agosto a diciembre. En general, el clima es seco, con temperaturas contrastantes durante el día y la noche.

III. 4.- Población y Economía

En el área de estudio, hasta antes de los trabajos de exploración que inició Rofomex, no existía ninguna otra fuente de trabajo. Los pobladores del Rancho San Juan, una familia - constituida por 13 miembros se dedicaban a la pesca en condicio-

nes limitadas. Existen otros pequeños asentamientos humanos a lo largo de la costa, en calidad de transitorios que se dedican a la misma actividad, así como algunas ranherías aisladas que se dedican a cría de ganado a nivel doméstico. El único centro de población, con poco más de 200 habitantes más cercano, es la comunidad ejidal Alfredo V. Bonfil situado a 20 km al sur del área y las actividades a que se dedican son la agricultura, pesca y cría de ganado. En esas condiciones el centro de importancia lo constituye la ciudad de La Paz, capital del Estado con una población aproximada de 76,722 habitantes (1979) que presenta el 34.33% de la población total del Estado. Esta situación respecto a la distribución de la población puede verse más claro si se expone a nivel estatal.

El estado de Baja California Sur, tiene una superficie de 73,677 km², y una población de 195,319 habitantes (población urbana 66%, rural 34%) distribuidos en tres municipios que son de norte a sur, el de Mulegé, Comondú y la Paz, este último con mayor densidad de población (4.6), mientras que el promedio es 2.7, sin embargo, las ciudades de rango inferior a la ciudad de La Paz, de 10,000 a 25,000 habitantes, en conjunto suman el equivalente al 16.87% de la población total del estado; en el rango de 2,500 a 5,000 habitantes estas poblaciones forman el 9.75%; los rangos de 1,000 a 2,500; de 500 a 1000 suman el 8.15 y 6.58% respectivamente; el 24.32% restante se encuentra dispersa en localidades menores de 500 habitantes.

El fenómeno de concentración y dispersión, que se ha presentado, han provocado un déficit en la prestación de servicios; en la dotación de infraestructura y equipamiento; y - con ello, ineficiencia en las actividades productivas y elevados costos sociales.

La población económicamente activa para 1979, representó el 27%, de la cual el 34.5% correspondió a las actividades de agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca; los sectores de servicios y comercio participaron con el 28% y - - 10.6% respectivamente.

La agricultura representa actualmente uno de los factores fundamentales de la economía, participando con el primer lugar al producto interno bruto de la entidad. La zona agrícola de más importancia es el valle de Sto. Domingo, con el 81% - en la superficie total. El valor de la producción agrícola para 1979 fué de 1,346 millones de pesos de los cuales la superficie cosechada corresponde a 57,866 has; y los cultivos a los - que mayor superficie se dedican son el algodón, trigo y alfalfa, igualmente el valor de la producción corresponde a estos - cultivos. (S.A.R.H. en Edo. de B.C.S. 1979). Por lo que respecta a la población ganadera, en el Estado, ésta no alcanza - a satisfacer la demanda local de carne y leche, por lo que tiene que importarse. El valor de la producción para 1979 fué de 409,000.00 pesos en este renglón.

El estado cuenta con un litoral de 2,200 km (23% del litoral nacional), en donde las costas son ricas en especies marinas industrializables. Las zonas de explotación pesquera son la del Océano Pacífico y la del Golfo de California. La participación de la entidad en el campo productivo para esta actividad alcanzó en 1975, un equivalente al 17.42% de la población global del país, y significó para el producto nacional bruto el 7.59%. El valor de la producción para 1979 fué de - \$45,021,070.00 pesos (5,221,594 kgs) (Fuente: Fed. de Soc. - Cooperativas de la Ind. Pesquera, 1979).

La producción de langosta y abulón en 1979, fué de - 587,382 y 1,591,598 kgs respectivamente.

De lo anterior se observa que el potencial del Estado en este renglón, es muy importante y que con una buena infraestructura pesquera y un adecuado sistema de comercialización llegaría a ser la principal fuente de ingreso de la entidad. - Ultimamente el gobierno federal impulsa notablemente la pesca, incrementando las plantas industriales, bodegas de refrigeración, fábricas de hielo y remodelando y modernizando las características sobre las embarcaciones.

Por otra parte el sector turismo es básico para la economía del Estado, ya que cuenta con un sin número de atractivos naturales, además se observa que ha sido dotado de la infraestructura básica, misma que deberá ser ampliada conforme se

presenten las necesidades.

Dentro de la infraestructura turística se cuenta con la carretera transpeninsular, transbordadores, rutas aéreas - comerciales, teléfonos y demás servicios públicos, lo que ha permitido que la media península se encuentre comunicada con el resto del país. Por otra parte se cuenta con personal capacitado que ha egresado de las escuelas, con especialidades en este ramo. La derrama económica para 1979 fué de - - - - \$4,143,069.00 millones de pesos en este sector.

Por lo que se refiere al sector industrial del estado, se puede decir que registra una reducida participación en el desenvolvimiento económico, debido a la poca significación en su producción y al escaso número de plantas industriales, en la actualidad se registran 277 establecimientos industriales que emplean al 17.9% de la población económicamente activa - (4,337 personas), las cuales generan una producción, por un valor que representa el 32% del producto interno bruto.

Las Salinas de Guerrero Negro, el yeso de Isla San Marcos y el cobre de Sta. Rosalía, representan el 61% de lo - aportado por la actividad industrial en el producto interno - bruto.

Las poblaciones con mayor número de establecimientos industriales son: La Paz, ciudad Constitución, Puerto San Car-

los, Sta. Rosalía y Guerrero Negro (Fuente: plan estatal de desarrollo del Estado, 1978).

En lo que respecta al renglón minero, el estado - dispone de un potencial que no ha sido evaluado en todos los casos. En la actualidad, la producción minera proviene en - la mayor parte de minerales no metálicos.

Así se tiene que la producción de Sal (NaCl) proveniente de Guerrero Negro asciende a cinco millones de toneladas anuales, la cual es totalmente exportada. Existen otras producciones salineras ubicadas en Punta Arenas, El Faro, Pichilingue e Isla San José, en el Golfo de California, cuya - producción es destinada al consumo local y nacional.

En lo que respecta al yeso (CaSO_4), en Isla San Marcos se explotan los mayores yacimientos de la península, la producción promedio es de un millón de toneladas anuales y es realizada por capital extranjero, la producción se destina a la exportación. Existen otros yacimientos en el área de Sta. Rosalía, que son explotados en pequeña escala.

La producción de sal en 1979 fué de 5,404,426 toneladas y la de yeso de 1,654,948 toneladas. (Fuente: CRM y Cía. Exportadora de Sal, 1979). Los depósitos de fosforita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4\text{CO}_3)_6(\text{F},\text{OH},\text{Cl}_2)$) están distribuidos ampliamente en todo - el estado. Dentro de los conocidos y evaluados se tienen en

San Hilario, Sta. Rita, San Juan de la Costa, Sto. Domingo y Tembabiche. De ellos en San Juan de la Costa, está por finalizar la fase de infraestructura para producción de concentrados en este año, en Sto. Domingo se encuentra en la fase de - proyecto de obra aún, para iniciar operaciones en 1985.

Otros minerales no metálicos que se sabe de su existencia son la magnesita ($MgCO_3$) en Isla Sta. Margarita y en la porción noroeste del estado; el asbesto, también en la porción noroeste del estado, en el área de Sebastián Vizcaíno.

Como se mencionaba al principio, estos últimos es absolutamente necesario, estudiarlos exhaustiva y prioritariamente, para poder hablar en términos de posibilidades de explotación.

Dentro de los minerales metálicos, se observa que la producción está presentada por el cobre de Sta. Rosalía, cuya producción en 1979 fué de 1,011 toneladas (1); el oro y la plata que se producen en las plantas de El Triunfo y San Antonio en el sur. La producción de oro y plata para 1979 fué de 11.21 kg y 126.20 kg respectivamente (2) (Fuente: (1) Cía. Minera - Sta. Rosalía, (2) Depto. de Promoción y Comercialización de la Dirección de Desarrollo del Edo., 1979). El valor de la producción de oro y plata para 1979 fué de 2,479,900 y 1,133,500 millones de pesos respectivamente.

Otros minerales metálicos que se explotaron en el pasado son el Manganeseo (MnO), en el Distrito de Sta. Rosalía; - la cromita ($FeCrO_4$) del área de Sebastián Vizcaino fué explotada por el CRM en 1975, cuantificando 12,615 toneladas con - 48% de óxido de cromo, sin que hasta la fecha alguien se haya decidido para su explotación o una investigación más formal con el fin de aumentar los recursos.

Otros minerales existentes asociados a las arenas - fosfatadas de la costa del Océano Pacífico en proporciones subordinadas, son, magnetita (Fe_3O_4), el contenido es del orden de 5%, ilmenita titanífera ($FeTiO_3$) en un 5%, el zircón ($ZrSiO_4$) constituye menos del 1%.

El panorama minero del Estado, es sumamente atractivo para lo cual es necesario que se levante el inventario minero estatal, aclarando cual de todos los depósitos pueden tener rendimiento económico a corto y mediano plazo.

El comercio en los últimos años ha sido un factor determinante en el desarrollo merced al régimen de zona libre - por los estímulos que con él se obtienen, aunque éste deberá restringirse conforme a la concurrencia de otras actividades en el proceso de desarrollo.

Una de las grandes limitaciones para los planos industriales en Baja California Sur, lo constituyen sus escasos

recursos hidrológicos (debido en parte a su constitución geológica y geográfica), tanto superficiales como subterráneas. Estos últimos se encuentran sobre explotados ya que el volumen que se extrae es de magnitud superior a sus recargas. La cantidad de agua proveniente de las lluvias, aún siendo escasa, se desperdicia en el mar, debido a que no existen suficientes obras de retención, para aumentar los volúmenes de los acuíferos. En el futuro deberá imperar una mentalidad de economía del agua, combinándose con sistemas de riego más económicos y cultivos que no necesiten de grandes volúmenes de agua.

EXPLICACION

CARRETERA PAVIMENTADA	—
CAMINO	- - -
CAPITAL DEL ESTADO	⊙
POBLACION	•
LIMITE DE ESTADO	- · - · -
AREA EN ESTUDIO	□



Fig. 1

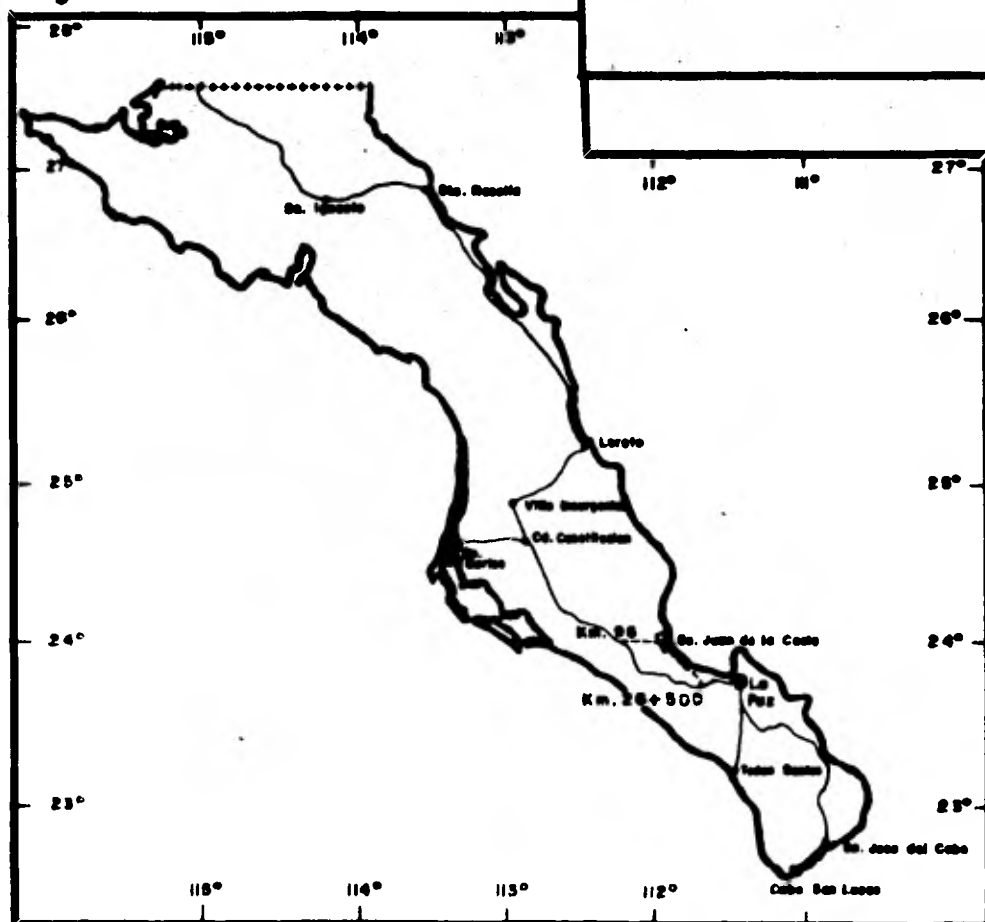


FIG. 1 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO
TESIS PROFESIONAL

L. MAYORAL M. 1979

IV. GEOLOGIA GENERAL

IV. 1.- GEOLOGIA LOCAL

Constituyendo el rasgo más sobresaliente del noroeste de México, la península de Baja California, forma una unidad - angosta y alargada con una orientación NW-SE, la cual ha sido separada del macizo continental mediante un complejo sistema - de fallas que ha dado lugar a la formación del Golfo de California.

Las rocas más antiguas que se conocen en la mitad sur de la península, son rocas metamórficas y sedimentarias como esquistos de glaucofano, gneises pelíticos y serpentina, así - como rocas sedimentarias cuya edad varía del mesozoico al cenozoico, a las cuales se les encuentra como remanentes sobre el complejo cristalino peninsular o batolito de Baja California, (Cretácico Superior-Terciario Inferior). Esta unidad es responsable en sí de las características morfológicas actuales de la península y ha jugado un papel importantísimo a través de - la historia tectónica de la misma (Mina 1957). Se extiende - desde el Canadá en el norte, hasta el extremo sur de Baja California, quedando interrumpido al sur de la sierra de San Pedro Mártir y apareciendo de nuevo al sur de La Paz.

En la margen occidental de este elemento se formó una gran depresión de forma alargada y de topografía irregular que

es conocido como "Sinclinal Californiano". En él se depositaron rocas mesozoicas y cenozoicas marinas en las subcuencas - de Vizcaíno y Purísima Iray en una franja de unos 50 km aproximadamente.

En la porción media oriental, rocas efusivas del Cenozoico Superior, forman las mayores elevaciones y escarpes - pronunciados y cubren a los sedimentos marinos del Terciario.

El área de estudio se localiza en el extremo sureste de la subcuenca de Purísima Iray, donde afloran dos grupos - bien definidos de rocas, (Mapa 1). El inferior está constituido por sedimentos marinos marginales de las formaciones - Monterey y San Isidro y el Superior por clastos volcánicos y continentales de la Formación Comondú (Fig. 2).

IV. 2.- Estratigrafía

A) Paleoceno Superior

Formación Tepetate.- Esta unidad no aflora en el área pero el barreno 11,400-8,600 cortó a una profundidad de 145.00m (45.0 m bajo el nivel del mar) una caliza coquinoide con matriz arcillosa, que probablemente represente el contacto inferior de la Formación Monterey; continúa una secuencia de 21 m constituida por areniscas arcillosas de cuarzo de grano fino a medio con algunas alternancias de lutitas; color gris oscuro. En la región de San Hilario (25 km al NW) se encuentra ampliamente distribuida, aunque no se conoce su base en esta área se le ha me-

dido un espesor de 1,300 m dividida en tres miembros, inferior, medio y superior.

Montoya (1976) reporta los siguientes microfósiles; - Mertinottiella Paleocénica (Cushman), Globoratoria Velazcoensis (Cushman), para la parte inferior que indican una edad Paleoceno Superior-Eoceno. Los argumentos que se sostienen para considerar como Formación Tepetate la secuencia cortada en San Juan son los siguientes:

-En el área de San Hilario el espesor de la Formación Monterey varía entre 68 y 110 m, al igual que en el barreno - 11,400-8,600.

-La respuesta radiométrica de la Formación Tepetate, fué prácticamente nula en los barrenos sondeados en el área de San Hilario, lo que también ocurrió en San Juan, por lo que su identificación se tomará con cierta reserva.

B. Oligoceno

En Baja California Sur, no se han identificado rocas que pertenezcan a este período, la razón de algunos autores es que en este período la región permaneció en condiciones sub-aéreas.

C. Mioceno

C-1).- Formación Monterey. (Mioceno Inferior)

Fue reconocida por Darton en 1921, en el Arroyo de la Purísima, quien la denominó "Capas Monterey", por su semejanza litológica con la formación de la misma edad en California, EUA.

Heim en 1922, la denominó Formación Monterey por las mismas razones anteriores.

Distribución y espesor.- Presenta una amplia distribución circunscrita a la subcuenca de Purísima Iray, sus afloramientos son pequeños en áreas cercanas al Arroyo de La Purísima pero en el sur aflora del km 65 al km 135 de la carretera transpeninsular.

Se calcula su espesor de 68 a 127 m. En el área de estudio aflora en las cercanías de la costa por una distancia de 12 km aproximadamente.

Litología. En general está constituida de areniscas de grano medio, areniscas conglomeráticas y coquinoides, alternancias de lutitas y lutitas tobáceas de estratificación delgada, algunas capas de fosforita, conglomerados, calizas coquinoides, limolitas, calizas y porcelanitas; con amplio predominio de areniscas y lutitas. Contiene además, fragmentos de vertebrados marinos, formaciones coralinas y madera silicificada (silexita), la coloración del conjunto es un pardo amarillento en el afloramiento, en roca fresca las coloraciones varían del gris a verde oscuro.

Las areniscas microscópicamente identificadas son - del tipo de grauvacas líticas, de madurez en general mediana, teniendo como constituyentes cuarzo subanguloso, (ocasionalmente fragmentos metamorfoseados) plagioclasas sódicas subredondeadas, los fragmentos líticos consisten de andesitas, piroclásticos y fragmentos de fosforita, que varían de subredondeados a redondeados; como accesorios se encuentran biotita, pirita y otros ferromagnesianos.

Dentro de las areniscas, se han descrito las areniscas fosfóricas o fosforitas, en las que se ha identificado un porcentaje mayor del 20% de oolitos fosfáticos. Se llegaron a identificar hasta 19 capas de arenisca fosfórica con espesores y porcentajes variables. Microscópicamente se identifican con concentraciones de oolitos entre 80 y 90%, éstos tienen generalmente estructura acrecional a partir de un núcleo que puede ser un fragmento de cuarzo, feldespatos, líticos o fragmento orgánico, algunos no presentan núcleo. La matriz está constituida por una arcilla montmorillonítica, y el cementante es calcáreo.

Contiene yeso, en general rellenando fracturas, muy notorio sobre todo en los afloramientos.

Megascópicamente tienen características que varían - un poco en la descripción si se trata de un núcleo, recuperado con barreno o bien de afloramiento, en general consiste de una

arenisca fosfórica (20% de oolitos) de dureza, cohesión y tenacidad media a baja. Abundantes oolitos, distribuidos uniformemente o irregularmente. Contiene fragmentos o restos de huesos, dientes de tiburón, fragmentos arredondados tobáceos, fracturas rellenas por yeso fibroso. La coloración es pardo amarillenta en afloramiento a gris oscuro en los núcleos.

Las areniscas conglomeráticas y coquinoides, se encuentran cerca del contacto superior, y en general los líticos tienen diámetros desde 1 mm a 3 cm y provienen de rocas andesíticas. Presentan una coloración pardo oscura y se localizan en la parte sur del área.

Las lutitas se presentan en estratos delgados, formando bancos de 5 a 10 m de espesor, alternando con bancos de arenisca. Las lutitas son de naturaleza híbrida, en las que en ocasiones predomina el material tobáceo hasta formar capas delgadas de 20 a 40 cms de espesor de tobas, bentoníticas la mayor parte.

La coloración de las lutitas varía del gris, en afloramiento, al gris verdoso en muestras frescas, suele contener impresiones de bivalvos y fauna de ambiente bentónico. El paquete predominante se localiza entre los 40 y 55 m del contacto superior y tiene la característica de contener algunos niveles de concreciones calcáreas con diámetros variables hasta de - - 1.50 m.

Las limolitas tienen una representatividad restringida, se presentan en algunos barrenos y los espesores son de - 20 a 30 cm de espesor.

En la parte sur del área, en la cañada de La Ballena, (zona del Tajo No. 1), se observa una delgada capa de caliza - poco arcillosa, aproximadamente a 75 m abajo del contacto superior. Color gris claro intemperizada y gris oscuro en fractura fresca.

Entre las cañadas de la Calera hacia el norte y la - Agua Amarga, sobre la porción de la costa, aflora un espesor - entre 5 y 7 m de porcelanitas, está constituido por estratos - laminares a delgados y color gris claro.

Relaciones estratigráficas.- El contacto inferior, - está representado por una coquina arcillosa, formando una discordancia erosional con la Formación Tepetate. El contacto superior está representado por una capa de coquina y un conglomerado que se localizan al sur y al norte del área de estudio - respectivamente.

Edad y Correlación.- Se le atribuye una edad que puede considerarse del Mioceno Inferior a el Mioceno Medio. Su - litología, nos indica actividad volcánica contemporánea a la - depositación, lo cual sucede en todo el Mioceno. Montoya (1976) asigna a estas rocas en el área de San Hilario, una edad Mioce-

no Inferior a principios del Mioceno Medio.

Beal (1948) aún cuando no encontró fauna, cita una colección hecha por Darton (1921), que fué determinada por Gardner quien la considera como probable Formación Vaqueros, equivalente a la Monterey Inferior de California USA.

Reyes y Rodríguez (1955) en Lozano (1975), en la - parte noroeste del área de estudio dividen a la Formación Monterey en dos miembros superior e inferior. Alatorre Campos - (1977), reporta la siguiente fauna de la porción media de la - columna, estudiada en el IMP por Sansores.

Buliminella subfusiformis Cushman

Buliminella Cuita Cushman

Guttulina Irregularis J'Orbigny

Florilus Costiferos Cushman

Hanzawaia Americana Cushman

Valvulineria Califórnica Cushman

Cibicorbis Herricke Hadley

que son fósiles índices del Mioceno Inferior de California.

De acuerdo con Mina (1956) es correlacionable con - las formaciones Zacarías y Santa Clara del Mioceno Inferior para el área de San Joaquín en el Norte, y con la Formación San Ignacio Tortugas del Mioceno Medio, en la cuenca de viscaíno. - El mismo autor la correlaciona con la Formación San Raymundo -

del Mioceno Medio, en la subcuenca de Purísima-Iray.

Ambiente de depósito.- Por la litología que se ha descrito, se puede considerar que el ambiente durante el depósito, fué variable en profundidad, ya que en algunos casos por la presencia de pirita los sedimentos finos y la coloración oscura de las lutitas, confirman un ambiente reductor además de la presencia de intercalaciones carbonáceas. La presencia de una caliza entre una alternancia de coquinas, con areniscas conglomeráticas y lutitas indica oscilaciones en la línea de costa, con los consiguientes cambios en el aporte de sedimentos, pero persistiendo una actividad ígnea en áreas próximas, por la abundancia de material tobáceo asociado a la formación. Todo lo anterior da idea de una extensión de la cuenca durante el depósito, con poca circulación de agua, acompañada de frecuentes cambios del nivel del mar y de poca duración.

C-2).- Formación San Isidro (Mioceno Medio)

Fué descrita por A. Heim (1922), en el Arroyo Gadegomo, o de la Purísima, en la cuenca de Purísima Iray, nombrándola Formación Isidro. Anteriormente Darton (1921) la había referido como "Yelow Beds"; Beal (1948) la refiere como Areniscas Isidro; Mina (1956) la describe como Formación San Raymundo, - (en el arroyo de San Raymundo 50 km al norte del Arroyo Cade-gomo), comparándola con la Formación San Isidro, descrita en E.U.A., por presentar las mismas características.

Distribución y Espesor.- Se encuentra aflorando al N del área y en una proporción reducida en el W, por estar cubierta por los depósitos de la formación Comondú. Al N ocupa una extensión de 30 km aproximadamente. A partir del Arroyo Tarabillas la Formación San Isidro se ensancha por unos 10 km aproximadamente, comprende desde la orilla del mar a las estribaciones de la sierra de La Giganta. Regionalmente, está expuesta en el área de San Hilario, región de La Purísima (al NW del área de estudio) y en el área de Tembabiche al N del área de estudio en la costa del golfo de California.

Litología.- Está constituida por un conglomerado basal poco consolidado, de 2 a 5 m de espesor, compuesto por cantos rodados hasta de 5 cm de rocas ígneas hipabisales de composición intermedia, volcánicas y algunas de cuarzo. En la parte sur este conglomerado varía a una arenisca conglomerática. Arriba del conglomerado la secuencia está formada por areniscas glauconíticas en estratos delgados a gruesos (10 cm a 12.00 m) y capas de lutitas, en alternancia con algunas capas de arenisca fosfórica, (proporción de oolitos 20%) tobas y algunos conglomerados en espesores delgados completan la sección de 235 m aproximadamente.

La composición de las areniscas es cuarzo subanguloso, fragmentos líticos, (pedernal, dioritas y basaltos, productos piroclásticos) plagioclasas y oolitos (en proporción variable - pero menor del 20%), fragmentos de fósiles y glauconita. La -

matriz es calcárea, vítrica o cuarzo feldespática con glauconita incluida, la cual da una coloración verdosa a todo el paquete.

Las tobas son de composición riolítica y presentan un color rosado. Se presentan en espesores variables pero aumentan hacia la cima.

Los conglomerados son de espesores delgados, y los constituyentes son cantos rodados de rocas volcánicas, de diámetro hasta de 5 cm, dentro de una matriz areno-arcillosa o tobácea de color verde grisácea.

Relaciones Estratigráficas.-- Subyace a la Formación Comondú y descansa sobre la Formación Monterey en discordancia erosional en ambos casos.

Edad y correlación.-- Beal (1948), de acuerdo con la fauna encontrada que consiste de Turritella n.s.p., Codakia s.p., relacionada con la formación Vaqueros y Temblor de California, U.S.A., le asigna una edad Mioceno Medio-Superior, F. Mina (1956), en la subcuenca de Furísima Iray la llama Formación San Ignacio.

Ambiente de Depósito.-- De acuerdo con la litología mencionada y la asociación faunística, se deduce que esta formación se depositó en un ambiente nerítico, con aportaciones -

de material volcánico.

C-3).- Formación Comondú (Mioceno Superior)

Fué nombrada por A. Heim (1922), en el Arroyo Comondú, localizado entre las poblaciones de Loreto y La Purísima al N del área de estudio.

Distribución y Espesor.- La formación Comondú regionalmente tiene una distribución muy amplia, pues cubre prácticamente las dos terceras partes del Estado. Es una formación compuesta en su mayor parte de rocas efusivas. Se extiende en dirección NW-SE formando las sierras de La Giganta y de San - Borja al sur del paralelo 28, hasta terminar al sur de La Paz, en contacto afallado con el batolito de la región del cabo. Al oeste limita con las formaciones sedimentarias, marcando un - contacto un tanto irregular, al este su límite generalmente es el Golfo de California, aunque muchas islas que se encuentran en el Golfo, están formadas en parte de la misma formación. Su espesor total se calcula mayor de 1000 m.

En el área de estudio se encuentra concentrada en la parte sur, suroeste y continúa hacia el N.

Litología y Espesor.- Consiste en una amplia gama de rocas efusivas continentales y otra que incluye depósitos marinos. En el primer grupo se tienen corrientes andesíticas y ba-

sálticas, tobas riolíticas, brechas y aglomerados; el segundo grupo incluye areniscas tobáceas.

En el área de estudio se le ha dividido en tres miembros, que no se depositaron uniformemente en toda el área y son los siguientes: Aglomerado El Junco; Arenisca San Juan y Toba Salmón. En el presente trabajo se le considera únicamente como Formación Comondú incluyendo los tres miembros.

El Aglomerado El Junco aflora principalmente al sur del Arroyo San Juan y al poniente del área y consiste de clastos angulosos de composición andesítica en una matriz de arenas y guijarros con poca o ninguna clasificación. Color gris oscuro a rojizo.

La Arenisca San Juan, descansa en ocasiones sobre el aglomerado y en otras, directamente sobre la Formación San Isidro.

La Formación Comondú está formada por areniscas tobáceas, inmaduras en estratos medianos a delgados, intercalados con lutitas tobáceas de color gris. Las areniscas están constituidas por cuarzo transparente, feldespatos y líticos volcánicos angulosos en una matriz arcillo tobácea; de mediana a suave consolidación, color gris a gris oscuro.

Presenta estratificación cruzada y gradada, con predominio de la última.

La Toba Salmón, constituye un miembro de tobas cristalinas de composición riolítica, en espesores variables entre 1 y 10 m, que da una coloración rosa a blanco. Está constituida por fenocristales de sanidina, cuarzo y plagioclasa dentro de una matriz de vidrio félsico.

Este miembro tiene mayor distribución en el área y es fácil distinguirse por kilómetros porque forma una franja casi horizontal de color rosado, muy carcano a la cima de todo el paquete. Localmente el paquete aunque irregular como ya se mencionó llega a medir cerca de los 500 m.

Relaciones Estratigráficas.- Descansa en discordancia erosional sobre la Formación San Isidro, pudiendo ser su contacto inferior, la Arenisca San Juan o el Aglomerado El Junco. Subyace discordantemente a los basaltos de meseta.

Edad y Correlación.- Por su posición estratigráfica, se le ha considerado Mioceno Superior, incluyendo rocas del - plioceno.

Ambiente de Depósito.- Por la litología descrita, localmente el ambiente de depósito corresponde a aguas someras - a poco profundas, con presencia de corrientes de turbidez (arenisca San Juan). Ocasionalmente, asociación con actividad volcánica muy explosiva (Toba Salmón y Aglomerado El Junco).

La Toba Salmón constituye un depósito eminentemente continental, cuya fuente de materiales se localiza hacia el - Noroeste.

D.- Pleistoceno

D-1). Terrazas Marinas. Se les encuentra en afloramientos de reducidas dimensiones, al norte del área entre la cañada de - la Agua Amarga y la cañada de La Vaca, sobre la porción que - bordea la costa, está un afloramiento constituido por rodados hasta de 15 cm de diámetro de rocas de la Formación Comondú, entremezclados con fragmentos y restos de conchas. Su elevación sobre el nivel del mar es entre 10 y 15 m, descansando - sobre la Formación Monterey.

Poco más hacia el norte, sobre la falda oriente de - la mesa del Cielito, margen derecha del Arroyo de Tarabillas se tiene otro afloramiento con similares características.

Al sureste del área se le encuentra en exposición más amplia descansando sobre el miembro arenoso de la Formación Comondú.

Se le puede encontrar descansando discordantemente - sobre las Formaciones Monterey o Comondú, cuando tienen elevaciones entre 5 y 15 m sobre el nivel del mar.

Se le considera del pleistoceno al reciente por su posición estratigráfica. El ambiente de depósito corresponde a -

nerítico costero.

D-2). Basaltos de Meseta

Representan la época de vulcanismo más joven del área, se localizan coronando a la Formación Comondú, dando lugar a una superficie más o menos plana. Se les ha asignado una edad Pleistoceno-Reciente (Demant 1975, Escandón 1976).

En el área de estudio se encuentra expuesta en el sur, como remanentes de erosión, sobre la formación Comondú, al poniente tiene una distribución más amplia y con un espesor variable entre 10 y 20 m.

E). Cuaternario.

Depósitos de aluvión y arenas de playa.- Constituyen las unidades más jóvenes y consisten de gravas y arenas en forma de terrazas aluviales y rellenos de valle. Se localizan ocupando los lechos de los arroyos, sobre todo en los de mayor cauce y en las deltas. Las arenas de playas están distribuidas a lo largo de toda la línea de costa actual. En la desembocadura del arroyo El Junco, un barreno cortó cerca de 40 m de estas arenas.

IV. 3.- Geología Estructural

Estructuralmente el área de estudio se localiza en el flanco oriental de un gran sinclinal de flancos muy suaves y -

FIG. TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA DE BAJA CALIFORNIA SUR
L. MAYORAL (1979)

ERA	SISTEMA	SERIE	SAN JUAN DE LA COSTA L. MAYORAL (1979)	SAN HILARIO R. MONTOYA (1976)	CUENCA DE PURISIMA-IRAY F. MINA (1957)	CUENCA DE PURISIMA A. WEIM (1922)	H. DARTON (1921)	C. BEAL (1948)	CUENCA DE VIZCAINO F. MINA (1957)
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	ALUVION	ALUVION					
		PLEISTOCENO	BASALTOS DE MESETA TERRAZAS MARINAS	TERRAZAS MARINAS Y CONTINENTALES	PLEISTOCENO				PLEISTOCENO
	TERCIARIO	PLIOCENO		F. SALADA	F. SALADA	F. SALADA F. CUESTA		F. SALADA	F. ALMEJAS
		MIOCENO	F. COMONDU	F. COMONDU	F. COMONDU	F. COMONDU	MESA	F. COMONDU	F. ATAJO COMONDU
		MEDIO	F. SAN ISIDRO	F. SAN ISIDRO F. SAN RAYMUNDO	F. SAN IGNACIO F. SAN RAYMUNDO	F. SAN ISIDRO	YELLOW BEDS	ARENISCAS ISIDRO	F. TORTUGAS F. SAN IGNACIO
		INFERIOR	F. MONTEREY	F. MONTERREY	F. MONTERREY	F. MONTERREY	F. MONTEREY	LUTITAS ISIDRO	F. SAN IGNACIO F. SAN RAYMUNDO F. LA ZORRA F. ZACARIAS
		OLIGOCENO						F. SAN GREGORIO	
		EOCENO			F. TEPETATE				F. BATEQUE
					F. TEPETATE	F. TEPETATE		F. TEPETATE	F. BATEQUE
			F. TEPETATE	F. TEPETATE	F. TEPETATE				F. BATEQUE
		PALEOCENO							F. MALARRIJO
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	F. VALLE	F. VALLE	F. CHICO		F. CHICO	F. ROSARIO	F. VALLE SALITRAL
		INFERIOR						F. SAN FERNANDO (METAMORFICA)	F. EUGENIA
	JURASICO	SUPERIOR							F. SAN HIPOLITO
		MEDIO							
		INFERIOR							

CONTACTO CONCORDANTE ———
CONTACTO DISCORDANTE - - -
PERIODO EROSIVO 

cuyo eje quedaría situado bajo los materiales de la Formación Comondú, que forman a la sierra de La Giganta.

Localmente la posición de las formaciones Monterey y San Isidro tienen echados entre 1° y 5° hacia el Noreste en la costa y hacia el suroeste al alejarse de ella. En el norte del área, al norte del Arroyo Tarabillas, la Formación Monterey se oculta totalmente bajo la Formación San Isidro, como se observa en el mapa geológico. Lo cual indica que por lo menos, después del Mioceno Medio no ha habido fuerzas compresionales.

Fallamiento.- Las fallas que se localizan en el área - son normales o de tensión y se les ha podido clasificar en tres sistemas: el primero es el más importante por la magnitud de - sus saltos, se manifiesta principalmente en la porción suroeste del área; la de mayor magnitud es la Potosí, con rumbo NE-SW, - un tanto irregular y echado al SE, el salto se ha calculado en más de 200 m. Esta falla constituye el límite sur del depósito ya que a partir de ella sólo aflora la Formación Comondú. Otras fallas son las del Barco y Salvatierra que dan lugar a un graben en el Arroyo del Junco, con hundimiento de 17 m máximo en - un extremo y de 28 m en el otro, resultado de fallas de tijera. Este sistema afecta en gran parte a las capas de fosforita, sobre todo en la zona llamada del Tajo No. 1.

El segundo sistema tiene rumbo sensiblemente al NW y -

se manifiesta principalmente en las estribaciones de la Sierra de la Giganta. No se han localizado fallas de este tipo que afecten a las capas de fosforita, en la zona explorada. - El tercer sistema tiene un rumbo muy irregular, pero con tendencia hacia el norte, que puede ser una variante del anterior, y se manifiesta sobre todo en áreas cercanas a la costa entre el Arroyo del Junco y la cañada de La Crucesita. En la desembocadura del Arroyo del Junco, hay dos grandes bloques de la Formación Comondú, desplazados hacia la costa, con echados de 30° al NE aproximadamente. Este fallamiento tuvo lugar en el plioceno ya que afecta toda la columna estratigráfica. No se han localizado fallamientos anteriores al Mioceno Superior.

Para el área de San Hilario, Montoya (1976), considera que las rocas miocénicas presentan las características del Terciario, las fallas y pequeños pliegues son consecuencia de una etapa de acomodo o Tafrogenia (Cascadiana) del Período Terciario.

IV.4.- TECTONICA

Las investigaciones realizadas en la Península de Baja California en el pasado, consideraban su evolución tectónica, como una entidad independiente del contexto geológico del Noroeste de México. Recientes trabajos geofísicos y geológicos realizados en el Golfo de California y en la porción marginal y peninsular, han suministrado evidencias de la relación - que existe entre los mecanismos tectónicos y la actividad ígnea que ha dado, así como la asociación con la separación de la península del Macizo continental. Estos modelos e hipótesis, son del dominio de la teoría de la tectónica de placas.

En el área a la que este trabajo se refiere, se tiene una reducida exposición de rocas sedimentarias, comparada con - la amplia distribución que tienen las rocas volcánicas, que cubren casi en su totalidad a aquellas. Como se mencionó en el - subcapítulo de geología estructural, la tectónica de tipo compresional en el área es casi nula, aunque la etapa distensiva es considerable, por la relativa abundancia de fallas normales observadas y las que necesariamente estén involucradas hacia la porción del Golfo. De acuerdo a lo anterior, se pretende exponer de una forma general la tectónica regional del Sur de Baja California, para ubicar el área de estudio.

Según estudios realizados sobre la deriva de los continentes en placas y el magmatismo asociado, (Atwater, 1970; -

Lipman, 1972) coinciden en que la península de Baja California, formaba parte del continente, y su separación se produjo cuando en la cordillera Central del Pacífico Este, la Dorsal Pacífica Este (placa pacífica), fue moviéndose paulatinamente hasta chocar con la placa Norte Americana. Una parte de la dorsal fue - sustraída bajo la trinchera del Pacífico a partir del Oligoceno, desde la región comprendida entre las zonas de fracturas de Mendocino y Pionner, lo que originó un cambio en el patrón tectónico del Continente. En esa zona se presente una incorporación de una parte de la dorsal bajo el continente hasta la boca del Golfo de California. El nuevo ajuste provoca la formación de una - junta triple, formada por la Dorsal Pacífica Este, el sistema de fallas de San Andrés y con la península de Baja California y la trinchera mesoamericana.

La expansión del fondo marino, detectado por anomalías magnéticas de la península, indican que ha sufrido un movimiento de 2° al Noroeste los últimos cuatro millones de años.

Las rocas que se conocen en la Isla Margarita son principalmente esquistos actinolíticos, esquistos azules o de glaucofano, anfibolitas, gabros, piroxenitas, etc., y son representativos de ambientes tectónicos de grandes presiones y bajas - temperaturas cuyo origen posiblemente se encuentre en las zonas de subducción. La edad de estas rocas es Jurásico Tardío o Cretácico.

Las evidencias más antiguas sobre emplazamientos de cuerpos intrusivos corresponden al Cretácico Superior (Gastil, 1976) y se localizan en la porción Norte y Sur del Estado, - - donde se encuentran bordeados por rocas metamórficas. Existen otras rocas intrusivas más jóvenes, posiblemente PostMioceno - ya que intrusionan al Mioceno Medio, en el Sur de Tembabiche - en el área de Dolores y es posible que de sólo parte de lo que constituye a la Isla San José, en la misma latitud en el Golfo California, 100 km al Norte del área de estudio.

Las rocas sedimentaria de edad mesozoica y cenozoica, tienen una amplia distribución a lo largo de toda la porción - Sur de la península a excepción de una franja de materiales - volcánicos en la parte oriental, que cubre parcialmente a estos sedimentos.

Las rocas de edad Cretácico Superior, se localizan - en la Península de Vizcaíno y se encuentran fuertemente plegados formando estructuras anticlinales y sinclinales, cuyos ejes están en dirección NW-SE, además están acompañados de fallas - normales e inversas, formando sistemas con una orientación predominante NW-SE. Hacia el Sur del área mencionada, las rocas - sedimentarias cretácicas no afloran y las del Cenozoico Inferior, se les encuentra con buzamientos suaves hacia el NE, así horizontales, formando algunos pliegues locales muy pequeños, así - también fallas muy locales, por lo que se observa que la intensidad de la formación disminuye considerablemente conforme se - avanza hacia el Sur.

En la porción oriental de la península, se tiene representado el vulcanismo Miocénico y Plio-cuaternario (A. Demant, 1975) de Baja California Sur, y se caracteriza por formar una sucesión de sierras, que desde al Norte de Sta. Rosalía hasta poco antes de la ciudad de La Paz, bordean al Golfo de California.

Clasicamente se puede dividir el vulcanismo de Baja California Sur en dos fases:

La primera fase que corresponde a la Formación Comondú (descrita en el capítulo IV), muestra una evolución química característica de series calcoalcalinas (andesitas, andesitas basálticas) y se asemejan a otras series de márgenes continentales.

Distribuída hacia el poniente de las sierras mencionadas, tiene lugar la segunda fase volcánica manifestada en el Plio-Cuaternario, con una distribución irregular, presente en el área de estudio hacia el poniente principalmente. La evolución química de estas lavas, presenta características de ausencia de términos básicos de tipo basálticos o basanítico, y en general siguen una línea alcalina.

Estas rocas magmáticas se relacionan en función de la evolución de la margen continental Pacífico de México. El vulcanismo calco-alcalino puede ser relacionado con la subducción activa de la placa pacífica, derivado de magmas primarios, con

algo de fusión parcial. El vulcanismo alcalino bimodal, riolita, basalto y la tectónica, se asocia con la interacción de las placas, a través de fallas de transformación, durante la apertura del Golfo de California.

IV. 5.- Historia Geológica

Las rocas más antiguas que afloran en la porción Sur de la Península de Baja California, están representadas por - los clastos de caliza con fauna del Pérmico, que se localizan en un conglomerado basal del miembro superior de la Formación San Hipólito del Triásico Superior. La asociación vulcanosedimentaria con basaltos espilitizados con estructura de almohada en la parte basal, representan manifestaciones de vulcanismo o vulcanismo ofiolítico (Carrillo, 1976). Esta manifestación de actividad ígnea continúa durante el Jurásico y Cretácico Inferior, en la Formación Alisitos, en el Norte de la Península de Vizcaíno. El mar del Cretácico cubría prácticamente a la porción occidental del continente, la sedimentación se llevaba a cabo en una fosa geosinclinal, con subsidencia continua y desarrollo de formaciones carbonatadas de plataforma y algunos bancos arrecifales.

A fines del Cretácico Superior, tiene lugar la intrusión de cuerpos ígneos de composición ácida, que constituye el batolito peninsular. Los movimientos verticales, ocasionan la ausencia del Cretácico Superior (Maestrichtiano) y del Paleoceno Inferior, lo cual da una nueva configuración para la cuenca Terciaria.

Es importante señalar que el ambiente y depósito del - Paleoceno Eoceno fué muy desigual, tanto en la porción Norte, -

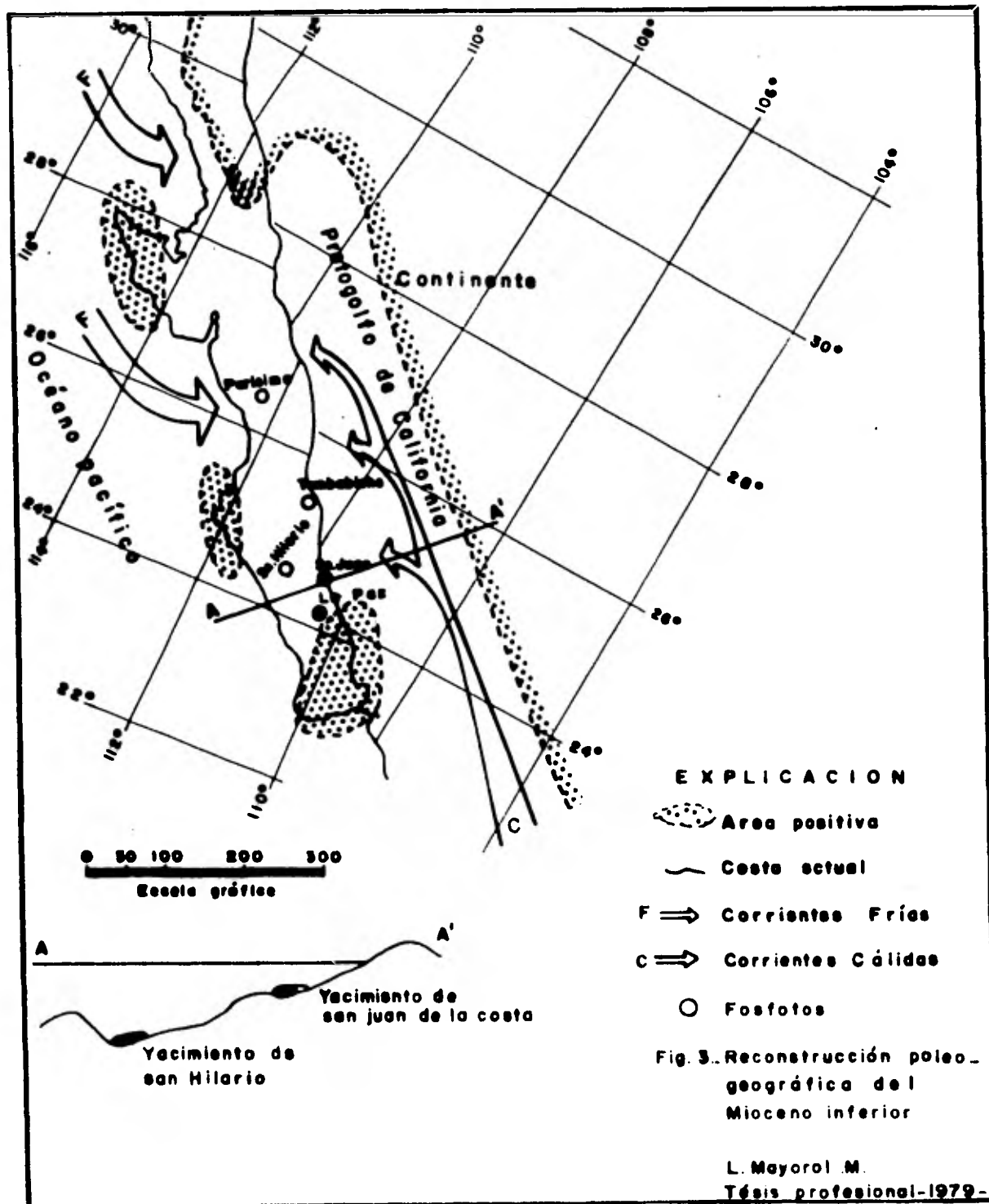
el Paleoceno es de muy poco espesor y en algunas áreas está ausente, pero en cambio durante el Eoceno aumentaron de espesor. Lo contrario aconteció en la parte Sur donde los primeros fueron gruesos y los segundos de espesor mucho menor. Ello es consecuencia de continuos movimientos regionales verticales, con emersiones locales, difíciles de estudiar por estar grandes áreas cubiertas por rocas volcánicas. Las características litológicas y sedimentológicas del Paleoceno Eoceno, indican pérdida de profundidad y litología provenientes de la erosión de rocas de la familia del granito. Durante el Oligoceno, aparentemente toda la península permanece emergida, registrándose un período erosivo. Hasta la fecha no se han reportado en toda la península, rocas de esta edad.

Durante el Mioceno Temprano y Tardío, ocurrieron grandes transgresiones marinas, que fueron gobernadas por un marco tectónico diferente al anterior (Fig. 3). En esta época los mares cubrieron prácticamente toda la porción Sur de Baja California (Pemex, 1956-1980), aunque permanecieron emergidas parte de la plataforma occidental marina, incluyendo la porción norte de la actual Península de Vizcaíno, ya que los pozos de Pemex Guerrero Negro y Totoaba No. 1 (Marino) no han encontrado sedimentos marinos del Mioceno. Todas las rocas sedimentarias muestran evidencia de vulcanismo contemporáneo, que fue en aumento hasta finalizar el Mioceno, aunado a transgresiones y regresiones (Formaciones Monterey y San Isidro). Hacia el -

Mioceno Temprano y Tardío nuevamente se desarrolla una intensa actividad volcánica, posiblemente producto de la separación de la península y el continente. La actividad volcánica es reactiva en el Plioceno a consecuencia del fallamiento de tipo - - transforme, y que producen una serie de bloques que durante - los últimos millones de años se han ido separando de la porción continental por medio de segmentos, para dar lugar al - - Golfo de California y a la Península, debido a la acción de choque de la placa pacífica contra la placa de Norteamérica y el - sistema de fallas San Andrés, lo cual tiene lugar dentro del - Plioceno (4 m.a.) y que continúa hasta nuestros días.

Para el Plioceno, los mares se encuentran en la porción occidental del área en un ambiente de alta energía, depositándose la Formación Salada. Después de un período de depósito que - dura aproximadamente de 2 a 4 millones de años, las aguas se retiran por un breve lapso y regresan depositándose las terrazas - marinas del Pleistoceno.

Desde esta última época, la península sufre un período de emersión que continúa hasta la actualidad.



V.- GENERALIDADES SOBRE EL FOSFORO

El uso de materiales fosfáticos como fertilizantes se inició bastante antes del descubrimiento del fósforo elemental por el alquimista alemán Henning Brandt en 1669. Ya por el año 2000 a.c., los cartagineses recomendaban y empleaban excrementos de aves para incrementar sus cosechas y, durante el primer milenio de la era actual, varios grupos de indios americanos usaban huesos y pescados molidos en sus campos (Van Wazer, 1958).

La utilización moderna de los fosfatos como fertilizantes fué sugerida en 1840 por Justus Von Liebig en su estudio - "Organic Chemistry and its Application to Agriculture and Physiology" en el que recomendó pulverizar los huesos y tratarlos con ácido sulfúrico y clorhídrico para que fueran asimilables por las plantas (Jaffe, 1961). En 1824, Jhon B. Lawers obtuvo una patente inglesa para industrializar este proceso, dando origen a la gran industria del ácido fosfórico y de los fertilizantes. En 1847 se explotaron unas pocas toneladas de nódulos de capas pliocénicas cercanas a Suffor, Inglaterra, utilizando sus minerales directamente en los campos.

En Estados Unidos (actualmente el principal productor), la roca fosfórica se comenzó a minar en 1867 en Carolina del Sur, alcanzando 68,000 toneladas por año en 1870 en todo el país. Posteriormente se explotó en Florida (1888), Tennessee (1894) -

Idaho, Montana, Utah, Wyoming (1906), y California. (Cathcard and Gulbranden, 1971).

El primer reconocimiento de un yacimiento de fosfatos en México fué hecho por Burckhardt en 1970 (Rogers et al, 1961) en las cercanías de Concepción del Oro, Zac. En 1915, Ira Joralemon recorrió el área de La Purísima, B.C.S. en busca de un depósito de fosfato que alguien le había reportado, pero la vaguedad de los datos que recibió y la situación política del país le impidieron encontrarlo.

V. 1.- Geoquímica del fósforo

El fósforo es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre, en la que constituye entre el 0.22% de P_2O_5 (Clark and Washington, 1924) y el 0.30%, 1954). Se conocen alrededor de 200 minerales que tienen más de 1% de P_2O_5 , la mayoría de los cuales y los más abundantes son del grupo de la apatita, mineral del sistema hexagonal-tripiramidal cuya fórmula es $Ca_{10} (PO_4 CO_3)_6 (F, OH, Cl)_2$. La estructura interna de la apatita permite numerosas substituciones, en especial las del Ca, por Mg, Na, Pb, Sr, Th, U y tierras raras; las del PO_4 por SO_4 , CO_3 , AsO_4 y VO_4 y las del F por Cl y OH (McKelvey, 1967). Los principales minerales de fósforo son:

Apatita: $Ca_{10} (PO_4 CO_3)_6 (F, OH, Cl)_2$

Hidroxilapatita: $Ca_{10} (OH)_2 (PO_4)_6$

Fluorapatita: $\text{Ca}_{10} \text{F}_2 (\text{PO}_4)_6$

Francolita: Variedad de la apatita con mayor contenido de Co_3

Colófano: $9\text{CaO } 3\text{P}_2\text{O}_5 \text{ CaCO}_3 \text{ H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$

Bruschita: $\text{HCaPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Grandallita: $\text{CaO } 2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ P}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Millisita: $(\text{Na}, \text{K}) \text{ Ca Al}_6 (\text{PO}_4)_4 (\text{OH})_2$

Monetita: HCa PO_4

Strengita: $\text{Fe PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Taranakita: $\text{K}_2 \text{ Al}_6 (\text{PO}_4)_6 (\text{OH})_2 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O}$

Variscita: $\text{Al PO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$

Wavellita: $4 \text{ AlPO}_4 \cdot 2 \text{ Al } (\text{OH})_3 (\text{H}_2\text{O})$

Whitlockita: $\text{B } -\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2$

De ellas, la apatita y la francolita pueden ser primarios o secundarios, mientras que los restantes, se forman por el intemperismo de los yacimientos de fosfatos.

El Colófano es considerado como una forma amorfa de la apatita, puesto que en los rayos X produce el mismo patrón de ésta (Rogers, 1922). Para Kerr (1965) el colófano debe ser clasificado como un mineraloide. Para Pettijhon (1975) más que un mineraloide, es el nombre bajo el cual se agrupan ciertas variedades de la apatita, particularmentelos fosfatos de calcio.

Continuamente parte del fósforo de la corteza terres-

tre es absorbido por los seres vivos, que a la vez, lo regresen en los excrementos, desechos y cadáveres. Este movimiento del fósforo se efectúa en dos ciclos, uno terrestre y otro marino estrechamente relacionados. El fósforo de las rocas cristalinas (principalmente en forma de apatita) es liberado por el intemperismo y la erosión y depositado en suelos o transportado al mar por corrientes, en solución (alrededor de un sexto del total), como granos de arena o absorbido en minerales arcillosos o en componentes orgánicos.

El océano está casi saturado de fósforo, lo que hace que siempre se esté depositando una cantidad equivalente a la transportada por los ríos (0.01 a 0.5 ppm). Sin embargo, su distribución no es uniforme, ya que las aguas tibias superficiales tienen 0.01 ppm de P_2O_5 contra 0.3 ppm de las aguas frías profundas (Carthart y Gulbrandsen, 1971), el fósforo es insoluble en aguas alcalinas o neutras y su solubilidad aumenta al incrementarse la acidez y disminuir la dureza y la temperatura. Cuando las aguas frías ascienden, sufren un calentamiento y una disminución en su PH, lo que provoca una menor solubilidad del fósforo, el cual es precipitado por procesos orgánicos, dando origen a los fosfatos sedimentarios marinos (McKelvey, 1967).

Los seres vivos (especialmente las plantas y animales marinos) toman el fósforo de las aguas o de los suelos y lo devuelven a ellos completando así el ciclo.

V. 2.- Clasificación de los yacimientos de fosfato

El objeto no es hacer una descripción detallada de cada uno de ellos, sino dar una idea muy general, con sus ejemplos más importantes. Los yacimientos en los que el fósforo tiene importancia económica se pueden agrupar en los siguientes tipos: La Fig. 4 muestra la abundancia mundial de yacimientos de fosfatos expresada en toneladas de P_2O_5 .

- 1.- Yacimientos asociados a rocas ígneas
- 2.- Fosforitas de origen sedimentario marino
- 3.- Reemplazamientos de calizas por soluciones fosfatadas.
- 4.- Yacimientos residuales o de placer
- 5.- Acumulaciones de guano.

1.- YACIMIENTOS ASOCIADOS A ROCAS IGNEAS

Los mayores depósitos de este tipo están relacionados con rocas ígneas alcalinas u ultralcalinas como carbonatitas, dunitas, idolitas, sienitas de nefelina y piroxenitas. La apatita se presente diseminada, generalmente asociado a magnetita e ilmenita; como segregaciones de alta ley y en la superficie del magma, también asociadas a magnetitas y en vetas concéntricas a los núcleos intrusivos.

Las intrusiones también tienen una estructura concéntrica, en la que las carbonatitas ocupan el núcleo y están ro-

deadas sucesivamente por un complejo de piroxenitas y por sienitas; con frecuencia están relacionadas a fosas tectónicas o a zonas de debilidad que conectan varios centros de instrusión en la corteza terrestre (de Jager y Fourie, 1978). Estos intrusivos tienen forma elíptica con un eje de 1 a 5 km y el menor de 500 a 2000 m. Su edad varía desde el Precámbrico hasta el Terciario.

La ley de estos yacimientos varía de 2 a 10% de P_2O_5 aunque en algunos casos como en las fosforitas de Palabora alcanza un 20%. El intemperismo y la lixiviación de las carbonatitas y piroxenitas hacen subir la ley a 14% (Uganda), 23% (Jacupiranga, Brasil) y hasta el 36% (Glenover, Africa del Sur) - (The British Sulphur Co. Ltd., 1973). La mineralización tiene mayor continuidad vertical que horizontalmente, lo cual se explica por el tronco intrusivo del complejo. El mineral es fluorapatita con pequeñas cantidades de clorapatita.

Las vetas están estrechamente relacionadas a los núcleos intrusivos; su espesor es del orden de varias decenas de metros y llegan a alcanzar algunos kilómetros de longitud, aunque su mineralización (apatita y magnetita) es muy irregular (McKelvey, 1967). La concentración de P_2O_5 en las zonas ricas, y se presente generalmente en forma de fluorapatita. Hay también yacimientos de segregación magmática y de metamorfismo de contacto en las periferias de los intrusivos, en los que la apatita se encuentra con magnetita y otros minerales de fierro. Los

yacimientos asociados a complejos ígneos alcalinos aportan el 17% de la producción mundial de roca fosfórica y las reservas de algunos de ellos son del orden de cientos de millones de toneladas. Los más importantes del mundo son:

a) Complejo de Khibiny, península de Kola, U.R.S.S., que su producción fué de 22.9 millones de toneladas en 1974, - procedente de un complejo de sienita nefelínica que constituye el centro de un área de 200 km de radio en donde hay numerosos intrusivos ultra alcalinos. (The British Sulphur Co. Ltd., 1973); Manderson, 1976). Recientemente, se han descubierto otros depósitos de interés económico en plutón de Kovdor, dentro de la misma área.

b) Palabora, Africa del Sur. Alrededor de 2.5 millones de toneladas de concentrado con 36.5% de P_2O_5 , se producen anualmente en un complejo de carbonatita, piroxenita y sienita de nefelina.

El mineral más rico en P_2O_5 se encuentra en la foskerita, que es una mezcla de olivino serpentizado (22%), apatita (25%), magnetita (35%), carbonatos y otros constituyentes (18%) que promedia 10% de P_2O_5 . (De Jager y Fourie, 1978).

c). Otros yacimientos de apatitas ígneas que están produciendo en la actualidad son los de Jacupiranga, Cerrote y - Arexa en Brasil, Sukulu en Uganda y Borowa en Rodesia.

2. FOSFORITAS DE ORIGEN SEDIMENTARIO MARINO

Estos depósitos son los más importantes desde un punto de vista económico porque aportan más del 70% de la producción mundial y tienen alrededor del 95% de las reservas de fosfatos del mundo. Además sus reservas son enormes, aunque gran parte de ellos no son económicos debido a una alta relación de roca estéril a mineral (normalmente estos yacimientos comprenden varias capas de fosforita separadas por estratos estériles o de muy baja ley) o a disturbios tectónicos postminerales, como plegamiento, fallamientos, subsidencias, etc., que hacen difícil su explotación.

Se forma en latitudes cálidas entre los paralelos - 40°N y 40°S, pero como la posición actual de los continentes no es la misma, que en los períodos geológicos pasados, se les puede encontrar en cualquier latitud, dependiendo de su edad - la cual va desde el Precámbrico hasta el Reciente. Los yacimientos de esta última época están aún en formación.

Los depósitos de fosfatos sedimentarios marinos más grandes del mundo son:

a).- La meseta de Oullad Abdoun, Marruecos. Una sucesión de - marga, calizas, calizas silicificadas y areniscas fosfóricas de 50 m de espesor y de edad cretácica, sobreyace a calizas del - cretácico inferior y subyace concordantemente a areniscas del -

Eoceno. La secuencia tiene 10 capas de fosforita con leyes entre 32 y 37% de P_2O_5 y espesores de 1 a 25 m. Se estima que tiene alrededor de 20,000 millones de toneladas de reservas. Las principales minas (Rar Tajer, Sidi el Maati, Hatane Nord y Beni Idir) están cerca de Khoribga. (The British Sulphur, - Col. 1973).

b).- La meseta de Ganntour, Marruecos. Está situada de 200 km al SE de la anterior y su geología es similar, aunque sus leyes son ligeramente menores. Se estima que tiene entre 13,000 y 15,000 millones de toneladas de reservas. Su principal mina es Youssofia.

c).- La Meseta de Merkala, Marruecos. Al norte de la cadena del Atlas, esta meseta tiene entre 4,000 y 6,000 millones de toneladas de reservas en capas del Cretácico Superior, que están plegadas y afalladas, por lo que no se prevee su explotación en un futuro próximo.

d).- Bu-Craa, Sahara. Una secuencia de lutitas margas del Cretácico Superior y del Paleoceno contiene 4 horizontes de fosfatos con espesores de 1 a 1.7 m cada uno y leyes de 20 a 25% de P_2O_5 . Sus reservas 501,652 millones de toneladas de rocas fosfóricas.

e).- Florida, U.S.A. Los principales yacimientos están en las formaciones Hazuthorn y Bone Valley del Mioceno y del Plioceno

las cuales fueron retrabajadas y redepositadas durante el Plioceno y el Pleistoceno. El fosfato ocurre como pebbles (más de 1 mm de diámetro) y como arenas y arcillas (menos de 1 mm), - Su ley varía de 32% (pebbles) a 5% (finos con un promedio de 12.8% de P_2O_5 en las cabezas de la planta de beneficio (Gurr, 1977)). Sus reservas son del orden de 2,000 millones de toneladas y sus recursos de 23,000 millones.

f) Lee Creek, Carolina del Norte, USA. El fosfato yace en las arenas de la Formación Pungo River del Mioceno Inferior. Tiene un espesor de 17 m y está cubierta por 25 m de arenas del - Mioceno Superior y del Pleistoceno. Su ley es del orden de 10% de P_2O_5 y sus reservas son alrededor de 2,000 millones de toneladas.

g) Idaho, Utah, Wyoming y Montana, USA. Estos yacimientos, se alojan dentro de la Formación phosphoria, la cual se extiende en estos estados. Alrededor de 7,000 millones de toneladas de fosfatos con leyes de 18 a 31% han sido cubiertos en esta formación de edad Pérmico. Esta formación se encuentra plegada y afallada (Jaffe, 1961).

h) Kara Tau, R.S.S. de Kazakstan. Una secuencia de areniscas lutitas y calizas del Cámbrico Inferior tiene varias capas de fosforitas de 5 a 12 m de espesor de 23 a 29% de P_2O_5 , algunas de las cuales sufrieron metamorfismo de contacto. Aunque se -

ignoran sus reservas, el hecho de que haya planes para producir 20 millones de toneladas de roca fosfórica al año, indica que sus reservas deben ser de más de 500 millones de toneladas, comparando con los ritmos de explotación de los depósitos conocidos.

i) Sechura, Perú. Las rocas del Mioceno de Sechura tienen una zona de 200 m de espesor con varias capas de fosforita de 1 a 1.5 m de espesor y leyes de 5 a 9% de P_2O_5 . La presencia de diatomita y la ausencia de flúor son rasgos característicos de este yacimiento.

En México, los depósitos de Baja California Sur, son de este tipo. Los mayores son los de San Juan de la Costa - (100 millones de toneladas con 18% de P_2O_5). San Hilario (60 millones de toneladas con 13% de P_2O_5) y Tembabiche (se estima 80 millones de toneladas con 15% de P_2O_5) de edad Miocénica y los de Santa Rita y Santo Domingo, de mayor tonelaje y menor ley, del Plioceno y Reciente, respectivamente. (Salas, 1978, - Escandón, 1976).

3. YACIMIENTOS DE REEMPLAZAMIENTO

Se forman por el reemplazamiento de rocas carbonatadas por soluciones ricas en fosfatos, procedentes de rocas que lo contenían en pequeña cantidad. Este tipo de depósitos son de tamaño pequeño (no más de un millón de toneladas), pero, con

frecuencia, hay varios próximos, de tal manera que pueden explotarse en conjunto. Su ley llega a 35% de P_2O_5 .

Los mayores depósitos de este tipo son los del Ordovícico de Tennessee, Estados Unidos, que se encuentran en calizas en una depresión oval de la provincia fisiográfica de la Central Basin. La intensa explotación que sufrieron desde 1893, los ha agotado casi por completo. (Gurr, 1977).

En México hay depósitos de este tipo en la Formación la Caja del Jurásico Superior, especialmente en las cercanías de Concepción del Oro, Zacatecas (Rogers et al, 1957 y 1961; Péres y Wiggin, 1953) y en la formación el Doctor, Facies Cerro Ladrón, del Cretácico Inferior en el Municipio de Pacula, Hgo. (Quintus Bosz, 1974).

4. YACIMIENTOS RESIDUALES Y DE PLACER

Muchos de los yacimientos de fosfatos han sido concentrados o enriquecidos por procesos secundarios. Los principales agentes son el intemperismo, las corrientes pluviales y el oleaje.

El intemperismo ha producido cubiertas enriquecidas, en los yacimientos asociados a rocas ígneas, en las que hay grandes afloramientos de las rocas alcalinas que contienen apatita, como en el caso de Palabora y Glanover, Africa del Sur.

Las corrientes arrastran a las partículas finas y livianas, dejando las partículas de fosfatos por ser más pesadas y las que son de mayor tamaño. En ocasiones, las aguas de las corrientes son ácidas y, por lixiviación, contrarrestan al enriquecimiento producido por las corrientes. (Cathcart y Gulbrandsen, 1971).

El oleaje tiene un efecto similar al de las corrientes pero el transporte que produce es menor.

El mejor ejemplo de yacimiento enriquecido es el que se encuentra en la Formación Bone Valley de Florida, USA, la cual sufrió primero un retrabajamiento submarino que arrastró las partículas finas; posteriormente, la lixiviación por el intemperismo del Pleistoceno y del Reciente, eliminó gran parte de los carbonatos mejorando más el contenido de P_2O_5 .

El intemperismo químico puede actuar de dos maneras una, lixivando a la roca encajonante y dejando un residuo de fosfatos y otra, al contrario, lixivando al fosfato y redepositándolo en otras rocas, depósito que se hace por reemplazamiento o por relleno de cavidades. En rocas calcáreas se forman minerales del grupo de la apatita, en rocas arcillosas wavelita y crandallita y en rocas ígneas variscita y estrengita.

5. ACUMULACION DE GUANO

Los mayores depósitos de guano son formados en la Su-

perficie por aves marinas y hay otros pequeños en cavernas formadas por murciélagos. Su mineralogía es compleja y consiste - de oxalatos alcalinos y de amonio, sulfatos, nitratos y fosfatos de calcio, magnesio y amonio. Su ley de P_2O_5 del guano moderno es de 10 a 12%, pero el guano lixiviado tiene 20 a 32%. - Estos depósitos rara vez alcanzan un millón de toneladas, aunque los principales son mucho mayores. Entre ellos destacan:

ISLA Nauru (Pacífico Occidental). Una meseta de calizas con guano lixiviado tuvo 90 millones de toneladas de reservas con 39% de P_2O_5 . A la fecha, se calcula que quedan 34 - millones.

ISLA Gilbert y Ellice (Pacífico Occidental). Se estima que hay 2 millones de toneladas de reservas con 15 a 20% de P_2O_5 en una meseta de rocas calcáreas.

Chile, (Pacífico Occidental). En la costa de Chile - entre los paralelos $18^{\circ} 30'$ y $30^{\circ} 30'$ Sur tiene numerosos depósitos de guano con un total de 1 millón de toneladas de reservas con 9 a 22% de P_2O_5 . Sin embargo, las aves depositan continuamente grandes cantidades, las reservas no cambian mucho con la - explotación.

V. 3.- Técnicas de Exploración

La exploración difiere si se buscan áreas nuevas con -

depósitos de fosfatos o se pretende encontrar nuevos depósitos en una zona en la que ya se conocen algunos. En el primer caso, es necesario definir primero las zonas que en determinado período geológico reunieron los factores geográficos, físicos, químicos y biológicos necesarios para la formación de un yacimiento sedimentario o las condiciones tectónicas y petrológicas para el control de uno de afinidad ígnea.

Los métodos geológicos más usuales para su localización son:

- 1) Los petrográficos, para encontrar los conjuntos de rocas típicas que asocian a las fosforitas.
- 2) Los paleogeográficos, para determinar las zonas de antiguas costas y plataformas continentales y
- 3) Los paleomagnéticos, para definir las latitudes de los continentes en una época dada, y en consecuencia, los sitios en donde pudo haber aguas ascendentes provocadas por corrientes marinas, como los yacimientos de fosforita sedimentaria por lo general contienen uranio (normalmente menos de 100 ppm de U_3O_8) la radiometría aérea es de gran utilidad.

Para los yacimientos asociados a rocas alcalinas el estudio de imágenes de satélite revela las grandes fosas tectónicas a las que dichas rocas se asocian.

En el caso de áreas en donde ya se conocen depósitos, se aplican los mismos métodos pero con mayor detalle y además de los reconocimientos geológicos que juegan el papel más importante, especialmente si se acompaña del pensamiento analítico deductivo. En este caso, la radiometría se aplica al sondeo de barrenos ciegos, lo cual da una gráfica con el número y espesor aproximado de las capas de fosforita. Como esta roca es difícil de distinguir en el campo, para reconocerla se utiliza un poco de molibdato de amonio al que se agrega -- ácido clorhídrico diluido, (1 mol) formando así un precipitado amarillo de fosfomolibdato de amonio.

V. 4.- Reservas y Recursos

Las cifras sobre reservas de fosfatos tanto a nivel mundial como nacional, varían mucho de una publicación a otra por dos razones principales. En primer lugar no existe un acuerdo unánime sobre las definiciones de esos dos términos y, en segundo, a que algunos países no reportan sus inventarios -- y, en otros, los informes son poco confiables y aún completamente erróneos.

Las definiciones más aceptadas son las siguientes:

"Un recurso mineral es una concentración de material sólido, líquido o gaseoso, dentro o sobre la corteza terrestre, cuya extracción y beneficio puede ser realizable actualmente o en futuro" y "reservas Minerales son la porción de un recurso identificado que puede ser explotado con rendimiento

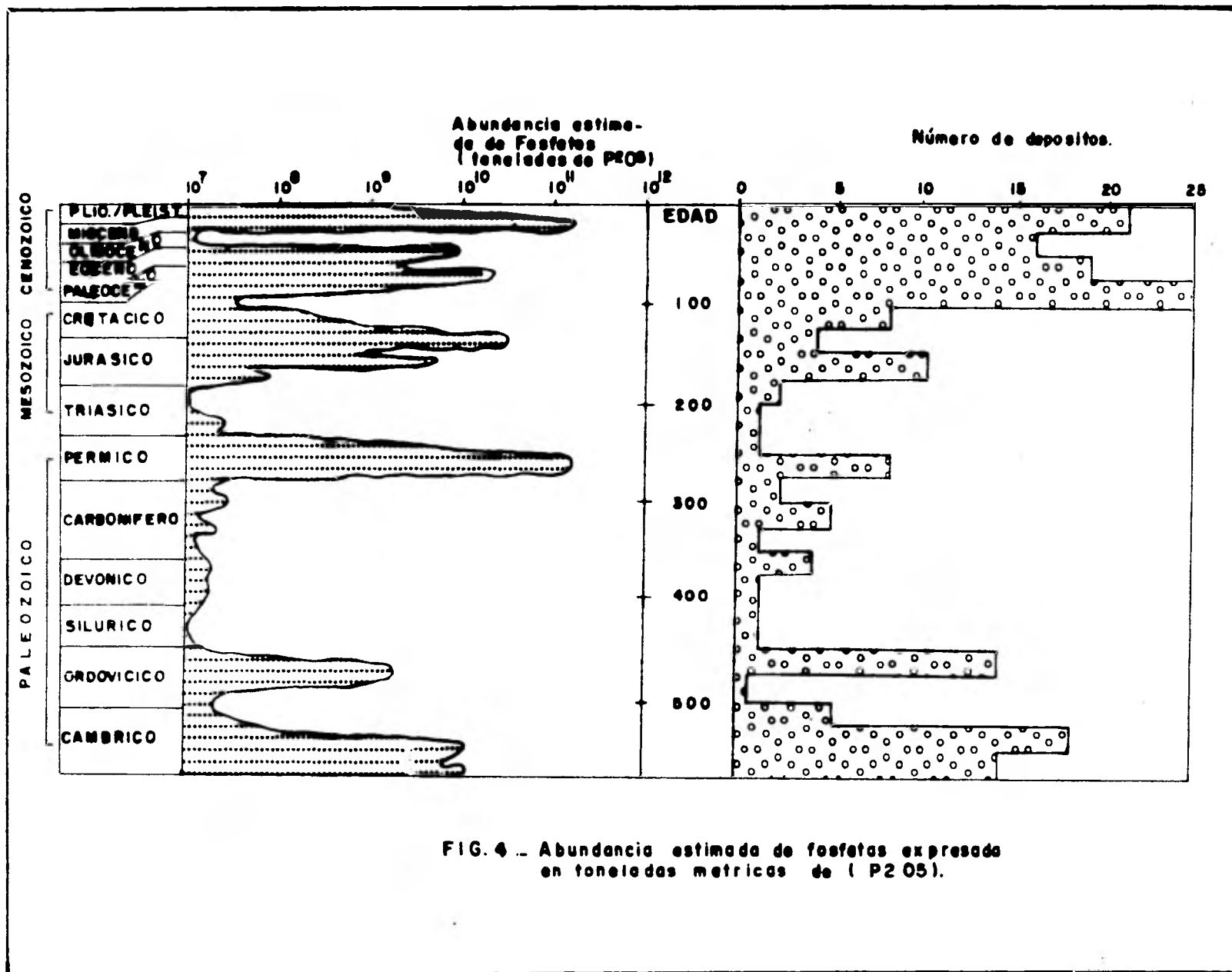


FIG. 4 - Abundancia estimada de fosfatos expresada en toneladas metricas de (P_2O_5).

económico al tiempo de su clasificación".

Estas definiciones enfatizan que la diferencia entre un recurso y una reserva mineral, es en última instancia, la relación costos-precios, esto es, la relación entre los costos de producción de un mineral y su precio en el mercado. Sin embargo, esto que parece muy sencillo, no lo es, si se considera que un país de economía dirigida, el factor "costo de producción" tiene una importancia subordinada a los planes de desarrollo, mientras que es de importancia fundamental en los países en que impera la libre empresa. En consecuencia, las tablas de recursos y reservas mundiales deben considerarse como relativas y están sujetas a cambios considerables de un año a otro.

Un segundo problema es el límite inferior de un recurso. Normalmente, se acepta que hay un límite en la ley de un yacimiento, abajo de la cual las técnicas de extracción y beneficio actuales o de un futuro cercano y los costos de producción harían imposible operar una industria. Pero ¿Cuál es el límite?. The Institute of Ecology (1971) sugirió que dicho límite era 8% de P_2O_5 , pero ya hay depósitos con leyes menores que están siendo minadas (Silver City, Florida).

Los datos que se publican sobre las reservas y los recursos económicos del mundo, varían de una publicación a otra así también de autor a otro, por lo que deben tomarse como -

una aproximación a la realidad, además, los criterios para clasificar los recursos son diferentes en algunos autores. Actualmente Marruecos (que incluye a la antigua colonia del Sahara Español) tiene el 63% de las reservas y el 78% de los recursos de fosfatos del mundo; otro 30% de las reservas y 11% de los recursos lo poseen Estados Unidos, la U.R.S.S., Sudáfrica y Australia, lo que facilita los cambios de precios por convenios entre estos países.

V. 5.- Oferta y demanda

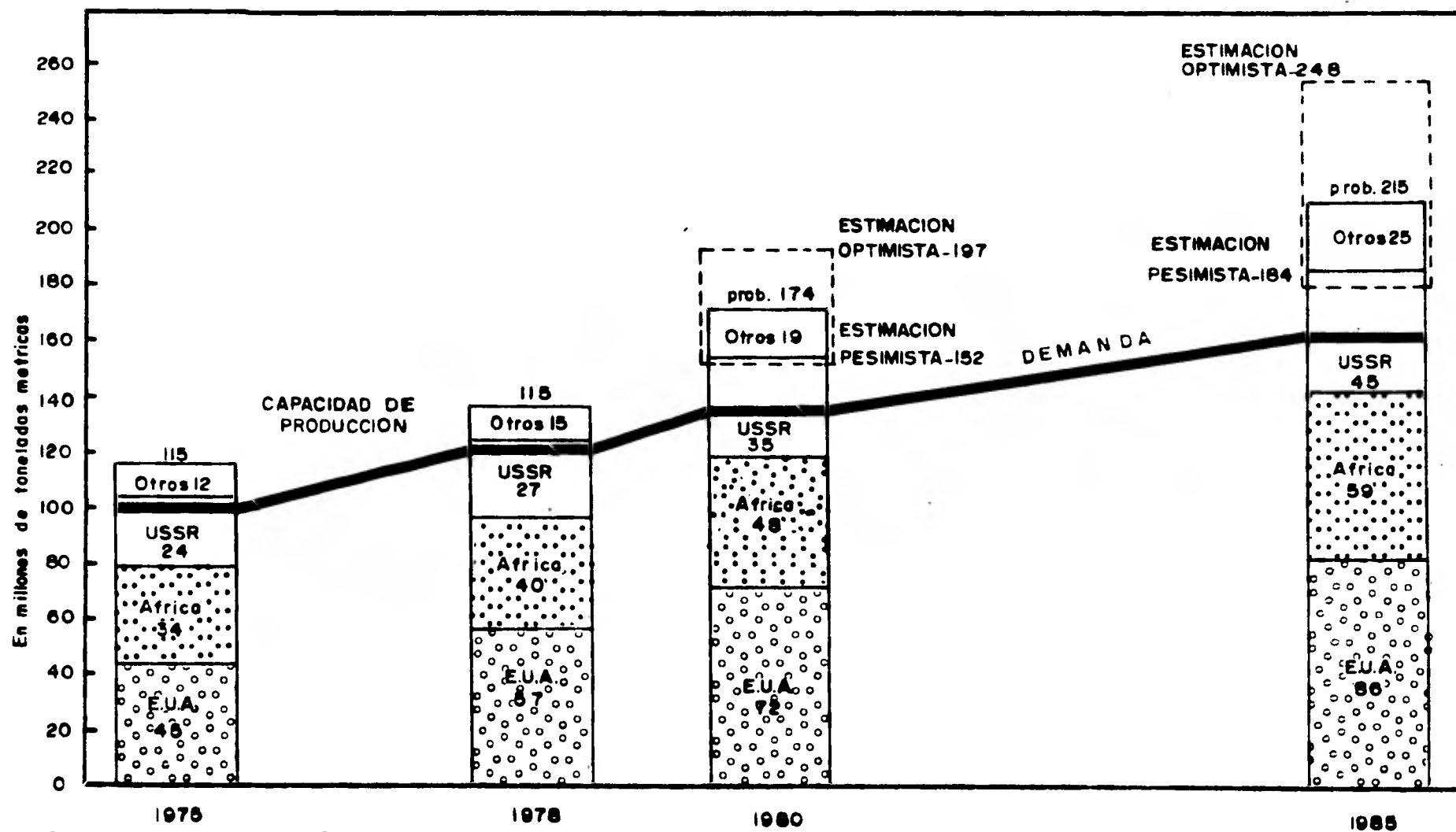
La mayor demanda por roca fosfórica en el mundo se localiza en la industria de los fertilizantes.

La producción mundial de roca fosfórica ha sido realizada por tres países: Estados Unidos, con alrededor del 40% la Unión Soviética, con algo más del 22% y Marruecos que produce cerca del 18%. Existen otros países que han venido incrementando su producción, entre ellos destaca el Sahara, Español, República China, Túnez, Jordania, Argelia y Senegal, cuya producción anual va de los 600 mil a los 3.5 millones de toneladas.

En 1978, la producción mundial de roca fosfórica fue de 124,917 millones de toneladas de las cuales los Estados Unidos, la Unión Soviética y Marruecos aportaron más del 75%. (Fuente: Phosphate Rock Statistics 1978). Los países que más

consumen son Estados Unidos, Unión Soviética, Japón y otros países industrializados de Europa.

La producción mundial de roca fosfórica ha experimentado un alza creciente en el último lustro aumentando en un 40%, por lo que considerando la demanda mundial, se estima que excederá a la oferta a una tasa promedio anual del orden de - 5% en los próximos 10 años; considerando sólo la tasa de crecimiento del consumo actual y no el crecimiento demográfico.- (Fig. 5).



Con un crecimiento anual de 5%
Fuente: Mendenhall Associates Inc.

Fig. 5 OFERTA Y DEMANDA MUNDIAL DE ROCA FOSFORICA - 1975 - 1985
En millones de toneladas métricas.

VI YACIMIENTOS MINERALES

VI. 1. Geología, Forma y Dimensiones

Los yacimientos de fosforita de San Juan de la Costa, se localizan en tres horizontes bien determinados dentro de las formaciones Monterey y San Isidro del Mioceno.

El más importante se localiza en la parte superior de la Formación Monterey entre 30 y 65 m abajo de su contacto con la San Isidro, formando un banco de capas de 13 m aproximadamente alternando con capas de lutitas tobáceas de espesores variables. Las capas ordenadas de arriba hacia abajo son la Capa Superior, Dos, del Río, Humboldt Superior, Humboldt y Base que son muy constantes tanto en espesor como en composición, a lo largo de las cuencas en que se divide el distrito (Fig. 6). Existen además algunas capas delgadas (10 a 30 cm) de fosforita, pero no son de interés económico. La capa más importante desde el punto de vista económico, es la Capa Humboldt (Foto 1), tanto por su espesor y su ley, como por su continuidad lateral, en el área estudiada.

El segundo horizonte está en la parte inferior del contacto entre ambas formaciones asociado a las calizas coquínoides, inclusive graduado a ellas, lo que hace, que su contenido de Ca CO_3 sea elevado. Su espesor y su ley son irregulares, pero se ha notado que aumenta su espesor a partir de la Cañada de La Gracia hacia el Norte.



Foto 1.- Se observa las Capas Humboldt y Humboldt Superior.

El tercer horizonte está en la formación San Isidro -- 30 m arriba de su contacto con la Monterey. Sólo ha sido identificado entre las Cañadas de la Gracia y del Agua Amarga, pero ha sido explorado, ya que la barrenación se ha efectuado -- tratando de cortar las capas de fosforita de la Formación Monterey topográfica y estratigráficamente más abajo que ésta, de tal forma que estas capas han sido cortadas por barrenos ocasionalmente. Una característica muy especial de este horizonte es el tamaño fino de los oolitos.

El mineral de fósforo de los vacimientos de San Juan de la Costa está presente en forma de mantos o capas horizontales cuyo afloramiento tiene dirección NW-SE con buzamiento

entre 1° y 3° al NW, que pueden considerarse horizontales, - salvo en las zonas cercanas a fallas en las que todo el paquete ha sufrido el efecto del desplazamiento.

Los espesores de las capas de fosforita varían dentro de rangos estrechos:

Capa Superior	2.0 a 3.0 m
Capa Dos	0.35 a 0.60 m
Capa del Río	0.40 a 1.40 m
Capa Humboldt	1.00 a 2.30 m
Capa Inferior	0.40 a 1.50 m
Capa Base	0.30 a 0.50 m

En general el paquete de capas llega a medir 14.0 m incluyendo los espesores de material estéril que en general son lutitas y lutitas tobáceas con algunas delgadas capas - de tobas. El intervalo mayor entre capa y capa son 6.00 m - entre del Río y Humboldt.

La mayoría de las capas de fosforita, presentan su contacto inferior transicional al pasar de lutitas y areniscas tobáceas, a capas de fosforita, en ocasiones este cambio gradual se manifiesta a partir de cuevas o galerías de organismos de forma tubular y rellenas de oolitos.

En su cima pasan en forma abrupta a lutitas tobáceas

o a horizontes delgados de tobas. En algunos casos sobre todo en la capa Humboldt en la Zona Norte aparecen concreciones calcáreas de forma ovoide dentro del cuerpo de la capa de fosforita conservando cierto nivel. Estas concreciones son muy frecuentes en la zona sur dentro de las capas de lutitas tobáceas localizadas en el paquete de capas de fosforita.

Al parecer el depósito de sedimentos finos se estaba llevando a cabo normalmente, con aporte de material tobáceo - simultáneamente, continuando un ligero levantamiento del fondo de la cuenca, dando lugar a un cese en la sedimentación - provocado por la ausencia de flúor de las tobas, para iniciar entonces la precipitación del fosfato en un ambiente tranquilo, y empezando a generarse los oolitos por la acción del - - oleaje, ya que la granulometría de las capas es muy uniforme.

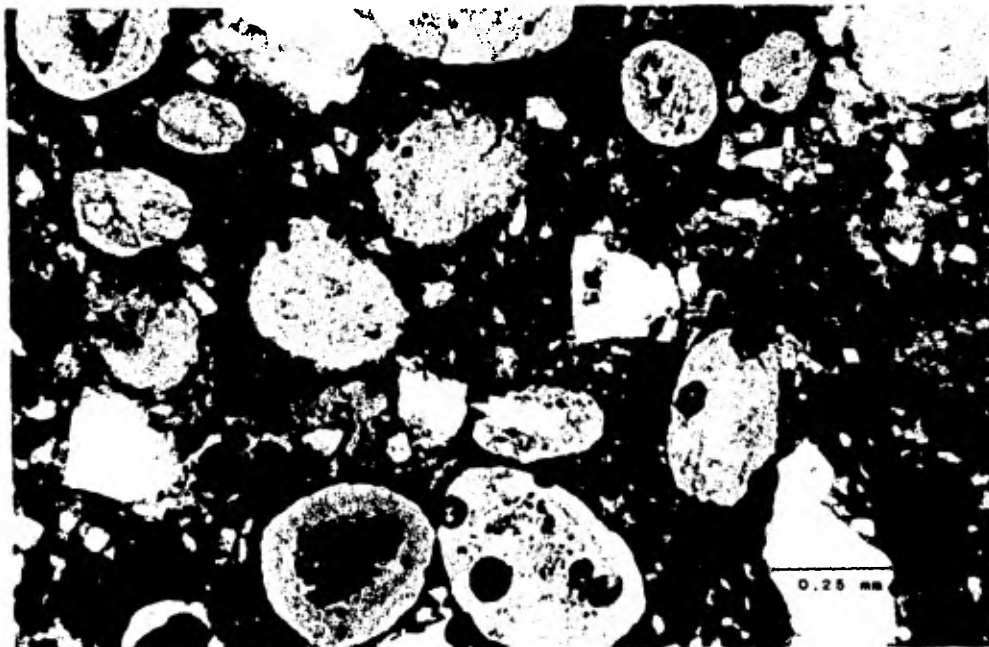
El cese abrupto de la sedimentación pudo deberse a:

- 1.- Aumento de su solubilidad debido a la falta de flúor, lo que explicará la abundancia de CaCO_3 (ahora en concreciones en esas capas.
- 2.- Cambio en la temperatura de las aguas.
- 3.- Las concreciones presentes en esas capas de lutitas son diagenéticas y se formaron por la segregación y subsecuente precipitación del carbonato de calcio entre los poros de las lutitas, debido a procesos de litificación.

Esto explica la abundancia de CaCO_3 en las concreciones y su escasez en las lutitas. (Escandón, 1977).

VI. 2.- Mineralogía y composición química

De acuerdo a los estudios realizados por el International Fertilizer Development Center (I.F.D.C.) y Tennessee Valley Authority (T.V.A.), en la capa Humboldt (Fotomicrografía # 1), todo el fosfato se presenta como francolita, $\text{CO}_5 - (\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3 (\text{F}, \text{OH})$, llamada también Carbonato-fluorapatita, cuya relación $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ es 1.55.



Fotomicrografía 1.- Se aprecian los oolitos, algunos con núcleo constituido por un fragmento de cuarzo, al centro y a la izquierda fragmentos angulosos de cuarzo, en una matriz zeolítica. (Capa Humboldt).

La calcita se presenta libre y formando parte de la estructura molecular de la francolita. El silice se encuentra en forma cristalina como cuarzo, amorfo como ópalo y cristobalita y como silicatos en los feldespatos y las plagioclasas (andesina y labradorita).

Otros constituyentes son la goethita, la halita y el yeso, este último es más abundante cerca de la superficie o en las zonas de fracturamiento.

En las demás capas, es probable que exista algo de - colófano ($\text{Ca}_3 \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en forma de lodos fosfáticos, pues en algunas muestras tienen relación de $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ que varía de 1.3 a 1.5.

Texturalmente según I.F.D.C. y T.V.A. la francolita ocurre como oolitos e intraclastos y microfósiles fosfatizados, con algo de apatita masiva. El promedio del tamaño de los oolitos es de 0.2 mm de diámetro, con máximos de 1.6 mm cementados por vidrio volcánico devitrificado en forma de - ópalo y cristobalita. La textura es epiclástica arenítica, con granos de cuarzo, feldespatos y plagioclasas entre los - oolitos.

La composición química de la Capa Humboldt varía dentro de los siguientes rangos:

P_2O_5		18 a 23.00%		(1)
CaO		33 a 38.00%		(1)
SiO_2		23 a 32.00%		(1)
Fe_2O_3		1.20 a 1.60%		(1)
Al_2O_3		1.30 a 1.70%		(1)
C		1.2		(2)
K_2O		0.51		(2)
MgO		0.29		(2)
F		2.6		(2)
CO_2		3.4		(2)
CL		0.0830		(2)
V		0.0075		(2)
Cd		0.0080		(2)
Hg		0.0001		(2)

(1) Análisis efectuado por Rofomex

(2) Análisis de la muestra efectuado por International Fertilizer Development Center y Tennessee Valley Authority.

Las demás capas tienen menor cantidad de P_2O_5 y de CaO y mayor de SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Mg y Na_2O , lo que es consecuencia de su contenido de material volcánico.

VI. 3.- Alteraciones

En los estudios realizados ha sido reportada la presencia de dahlita (apatita carbonatada $Ca_6(PO_4)_2(CaCO_3)$ -

la cual se forma a consecuencia de la lixiviación de la francolita por aguas ricas en calcio, sobre todo en las muestras cercanas al afloramiento.

VI. 4.- Hipótesis Genética y clasificación

Partiendo de que los yacimientos de San Juan de la Costa, son de origen marino, se expondrán algunas cuestiones que a menudo son analizadas por los estudios de tan interesantes depósitos.

1. Procedencia del fósforo

Hay cuatro teorías para explicar de dónde procede la gran cantidad de fósforo necesario para constituir un yacimiento de interés económico. La más antigua sostiene que todo el fósforo se deriva de la fauna marina (Anderson y Sahlbon 1900, y 1903; Lindgren 1933), pero las dimensiones de los yacimientos, la buena clasificación de sus capas, las tendencias regionales de un tamaño promedio de oolitos y su estructura no apoyan esta teoría (Mckelvey et al, 1963).

La segunda, postula que el fósforo es aportado por los ríos (0.01 a 0.5 ppm), ya sea en solución o como sedimentos y cambios físico químicos de las aguas marinas motivadas por corrientes ascendentes provocan su precipitación. De ser

cierta esta teoría, todos los depósitos de fosfatos se encontrarían en paleodeltas, lo que raramente ocurre. La tercera teoría señala que el fósforo, así como el flúor, son aportados por vulcanismo o por emanaciones hidrotermales asociadas. Esta teoría puede aplicarse a algunos depósitos en donde la asociación tobas fosforita es muy estrecha, pero no es posible hacerla extensiva a todos los yacimientos del mundo.

La cuarta es una combinación de las tres anteriores y es la que tiene más aceptación actualmente. El aporte del fósforo por los ríos es compensado por una precipitación del mismo para mantener el equilibrio del sistema, pero su distribución no es uniforme en todos los océanos. Las aguas frías de los fondos marinos son más ricas que las calientes de la superficie; cuando aquellas ascienden, arrastran cierta cantidad de nutrientes que atraen a numerosos organismos que a la vez aportan más fósforo. El vulcanismo completa el aporte de fósforo en numerosas partes del globo. (Mckelvey et al., 1953; Mckelvey, 1967; Gulbrandsen, 1969; Cathcart and Gulbrandsen 1971; Riggs, 1976, 1978b; Escandón 1977).

2. Causas de la precipitación del fósforo

La opinión predominante es que el fósforo se precipita por una combinación de factores físicos, químicos y biológicos, estrechamente relacionados. Los factores físicos son

las corrientes ascendentes motivadas por la circulación oceánica, que es un reflejo de la circulación atmosférica producida por el calor y por la rotación de la tierra (McKelvey, 1967), y la temperatura, que al aumentar, disminuye la solubilidad del fósforo.

En los factores químicos hay más divergencia de opiniones. McKelvey (op.cit.) sostiene que la disminución del PH de las aguas ascendentes es la principal causa de la precipitación del fosfato. Ames (1959) señala que el reemplazamiento de calcita por bajas concentraciones de fosfatos es el principal mecanismo de depósitos y que dicho reemplazamiento es función del PH del contenido de PO_4^{-3} en relación al de CO_3^{-} y del tamaño de grano de la calcita. Gulbrandsen (1969) indica que la solución de materia orgánica es la que favorece la precipitación del fosfato, pues cualquier otro factor provoca también el depósito calcita que es mucho más abundante en el agua de mar. El autor se inclina por la teoría de Ames (1959), pero considera que el aporte de flúor por vulcanismo o hidrotermalismo jugó un importante papel en la precipitación de fosfatos en numerosos yacimientos del mundo.

3. Acumulación del fósforo en vastas cantidades

Los grandes depósitos de fosfatos se produjeron en zonas con ambiente tranquilo y poco aporte de sedimentos terrí-

genos. El vulcanismo que actúa como catalizador para la precipitación del fósforo puede, si llega a ser excesivo detener el depósito.

4. Lugares en que se forman los yacimientos

Los mejores sitios para la formación de yacimientos de fosfatos son los que reunieron los principales factores físicos, químicos, biológicos y tectónicas en cada época geológica. Estos sitios son:

1. En donde una corriente diverge de una costa o donde dos corrientes divergen una de otra, provocando que las aguas - frías profundas, ricas en fosfato, asciendan a ocupar el si tío de las superficies.
2. En donde se encuentran dos corrientes y producen turbulencias.
3. En donde aguas tropicales altamente salinas se hunden por enfriamiento (McKelvey, 1967). Por lo tanto, los lugares más favorables son:

- 1.- Las costas occidentales de los continentes en las que las corrientes frías ricas en fosfatos, procedentes de los polos se mueven hacia el Ecuador, y combinadas con las aguas ascendentes que arrastran, depositan el fósforo al sufrir cambios fisicoquímicos. Las costas orientales de los continentes en donde las aguas tropicales se mueven hacia los

polos y arrastran a las aguas frías y más densas de las costas, provocando corrientes ascendentes.

Todos los factores mencionados ocurren, principalmente, entre las latitudes 40°N y 40°S , por lo que la determinación de las paleolatitudes son muy importantes en la exploración de estos yacimientos.

Las anteriores teorías e hipótesis, coinciden en mayor o menor grado con las evidencias encontradas en el yacimiento en estudio; así se tiene que la actividad ígnea está presente en toda la secuencia de la Formación Monterey en donde la asociación tobas-fosforita es muy estrecha (Riggs, 1976; Escandón, 1977), un excelente ejemplo es la Capa Humboldt, en la que al iniciarse su depósito, el vulcanismo era intenso, y en consecuencia, la precipitación del fósforo fué baja (5 a 13% de P_2O_5). El vulcanismo fué disminuyendo sin cesar del todo y el fósforo subió a 27% en forma de P_2O_5 . Por último, un cambio en PO_4^{-3} hizo cesar la precipitación de la apatita y produjo la de la calcita mineral que constituye numerosas concreciones en la cima de la capa.

Por otro lado existen abundantes fragmentos orgánicos asociados a las capas de fosforita como vértebras, costillas, etc. que dan idea de la proximidad de la línea de costa.

De todo lo anteriormente expuesto se concluye que el

origen de los fosfatos del yacimiento de San Juan de la Costa, son marinos, concentrados por una serie de factores. físicos, químicos biológicos paralelamente a un incipiente vulcanismo que tuvo lugar en el borde de la plataforma continental.

VII. CALCULO DE RESERVAS

VII.1.- Estudio Geoestadístico

En todo estudio enfocado a evaluar, los distintos parámetros que involucra la exploración de un yacimiento, es necesario, además de aplicar correctamente el criterio geológico efectuar un estudio geoestadístico. Este permite determinar la varianza de estimación del cálculo, precisa la anisotropía de las distintas variables (encape, tonelaje, ley, contenido, espesores, etc.) del yacimiento, define la malla óptima de barrenación, que ayuda a ubicar las reservas con un grado de confiabilidad aceptable a un costo razonable. (Escandón, 1977).

En el depósito en estudio, paralelamente a la barrenación y con datos de afloramiento se efectuó un estudio geoestadístico preliminar, tendiente a determinar la malla óptica de barrenación. Si los barrenos tienen una gran separación entre sí, las variables en estudio pueden no ser correlacionables. Por lo contrario si están muy próximos, los gastos de exploración se elevan fuertemente, y con frecuencia, la varianza de estimación de los cálculos no disminuye en forma satisfactoria.

Se calcularon semi-variogramas, en diferentes direcciones del yacimiento para determinar su anisotropía y en varias zonas para comprobar su estacionaridad; se consideraron rectas las líneas de barrenos aunque hubiera pequeñas fluctua

ciones y aunque las distancias entre barrenos no son exactamente de 300 m, para fines de cálculo se consideró el múltiplo más próximo a la distancia real.

Para construir las gráficas de cada semivariograma, todos los barrenos se ordenaron como sigue:

- Capa Humboldt
- Abcisa
- Ordenada
- Espesor
- Ley
- Contenido (espesor x Ley)
- Ley sobre soporte

En términos matemáticos, el semivariograma $\gamma(h)$ es:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(L-h)} \int_0^{L-h} [f(x+h) - f(x)]^2 dx$$

- $f(x)$: Valor de la variable en el punto x
- $f(x + h)$: Valor de la variable en el punto $x + h$
- h : Distancia entre barrenos o muestras en cada par.
- L : Longitud entre el primero y el último barreno o muestra
- n : Número de pares determinados

Las investigaciones geológicas, químicas, mineras y metalúrgicas ya mencionadas en el capítulo anterior, constituyen la base para determinar la cantidad de la fosforita susceptible de ser explotada y beneficiada con rendimiento económico, esto es, para calcular las reservas mineras del distrito.

Los datos que a continuación se mencionan son la base para una evaluación adecuada.

Muestreo

Al estudiar los núcleos de los barrenos, se tomaron muestras de las capas con presencia de oolitos o intraclastos. Los núcleos se partieron longitudinalmente por medio de un cortador de navajas, procurando que los tramos no excedieran de - 50 cm de longitud y en los tramos ricos, de 20 cm. Una mitad del núcleo se envió al laboratorio para su análisis químico y la otra se envió a la Comisión de Fomento Minero para efectuar pruebas metalúrgicas con fosforita representativa de cada capa.

Análisis químico

Las muestras recibidas en el laboratorio se trituran a en una quebradora de quijada y se cuartearon. Una cuarta parte se molió a -100 mallas en un pulverizador de discos y las - otras tres cuartas partes se quedaron como testigo. De la muestra pulverizada se emplearon 5 gr para todos los análisis y el resto se guardó también como testigo.

Los análisis efectuados fueron:

P_2O_5 : Por el método volumétrico del fosfomolibdato de amonio. Estas determinaciones se hicieron por duplicado por dos personas distintas y se repitieron cuando se obtuvieron discrepancias superiores a 0.3% de P_2O_5 .

Materia insoluble: disolviendo la muestra en agua regia y filtrando.

Se ha considerado que la mayor parte de lo insoluble consiste de cuarzo, plagioclasas y silicatos del grupo de las arcillas.

CaO: Por el método de oxalato de amonio, titulando con permanganato de potasio.

SO_4^{2-} : Por el método gravimétrico del cloruro de Bario.

Pérdida por calcinación: Calcinando la muestra a 900°C durante una hora.

Identificación de capas y correlación

La correlación de una misma capa en varios barrenos ha sido basado en su respuesta radiométrica que es muy constante y su posición respecto a la Capa Humboldt, así como el contacto entre las formaciones Monterey y San Isidro (Fig. b). Como apoyo se usaron sus leyes de materia insoluble, su relación $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ y sus propiedades físicas (dureza, cohesión, tenacidad y porosidad).

Cuando una capa no tiene contactos abruptos, sino que su ley disminuye gradualmente (lo que es el caso más común so-

bre todo en los contactos de la parte inferior), para su evaluación de ley y espesor se consideraron como límites las muestras que dieron 6% de P_2O_5 , salvo en donde una muestra de esta ley bajaba mucho el promedio de la capa.

El proyecto se dividió en 7 zonas (Mapa 2), que podrán constituir módulos de explotación independientes, estas zonas son:

Zona Tajo No. 1

Zona Cañada de la Gracia

Zona Mesa del Junco

Zona Arroyo del Junco

Zona Crucesitas-Agua Amarga

Zona C. de la Calera-C. de la Vaca

Zona A. Saladito-A. Tarabillas

Diseño de bloques

Los bloques que se diseñaron para calcular las reservas son, generalmente irregulares, porque se basaron en la posición de los barrenos y muestras disponibles, en el afloramiento de la Capa Humboldt y en los límites que marcan la explotación a cielo abierto ($12 \text{ m}^3/\text{tonelada}$).

En el tajo No. 1, la mesa del Junco y la Cañada de la gracia, los vértices de los bloques se fijaron en barrenos

o muestras, porque la barrenación se hizo sobre una malla regular.

En el arroyo del Junco, los límites de los bloques se determinaron por las paredes del cañón o por fallas que alcanzan hasta 20 m de salto.

En las otras zonas, en las que la barrenación fué más aleatoria, se procuró formar bloques susceptibles a ser explotados a cielo abierto en los bordes de las mesetas y dejando bloques grandes en el interior de las mesas.

Correlación de muestras de afloramientos y de barrenos.

Las muestras tomadas con marro y cuña en los afloramientos dieron un 10% más de P_2O_5 que la de los barrenos, esto es debido en parte a que en el afloramiento gran parte de los feldespatos y carbonatos se han lixiviado y también a que en el muestreo del afloramiento se recupera más material con fosfato que finos. Para fines de cálculo, a todas esas muestras se les redujo un 10% su ley de P_2O_5 , para uniformarlas con los barrenos.

Area de bloques

Cuando los bloques resultaron con formas geométricas regulares, sus áreas se calcularon por medio de matrices, uti-

lizando para ello las coordenadas de sus vértices.

$$A = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} X_1 & Y_1 \\ X_2 & Y_2 \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ X_{n-1} & Y_{n-1} \\ X_n & Y_n \end{vmatrix}$$

Cuando parte del bloque estaba limitado por los afloramientos de las capas o por el borde programado de algún tajo, su área se midió con un planímetro polar compensador que puede tener errores hasta de un 15%.

Para evitarlos, todas las áreas se midieron 5 veces, se descartó una de las medidas si se discrepaba mucho, y se calculó el promedio.

Los volúmenes de cada capa en un bloque se calcularon promediando los espesores de dicha capa en los barrenos o muestras que integraron el bloque y multiplicando el resultado por el área de la capa en el bloque.

Así se tiene que:

$$\text{Espesor promedio} = \frac{\text{Suma de espesores}}{\text{Número de espesores.}}$$

$$\text{Volumen: Area x Espesor promedio}$$

Tonelaje.

El tonelaje de cada capa en un bloque se calculó multiplicando su volumen por el peso específico de la fosforita, que se determinó como 2.3, después de efectuar 90 pruebas en una balanza Kraus-Joullly, usando mineral de las capas Humboldt y del Río.

Leyes

Para cada capa y bloque, se calculó su ley promedio de P_2O_5 , materia insoluble (M.I.) y CaO y su relación CaO/P_2O_5 . La ley promedio de una capa se calculó con la fórmula:

$$\text{Ley} = \frac{\text{Suma de Espesores} \times \text{leyes}}{\text{Suma de Espesores}}$$

La relación CaO/P_2O_5 , se calculó con la fórmula:

$$CaO/P_2O_5 = CaO \text{ total} - 0.58 (SO_4^{=})$$

En la que al CaO total de la muestra se le resta el CaO debido al yeso. La constante 0.58 es el CaO que hay en el yeso cuando el anión $SO_4^{=}$ = 1, éste se determinó por cálculos estequiométricos.

VII. 2.- Clasificación de reservas

El tonelaje de fosforita de cada capa y bloque se clasificó por su disponibilidad minera, por el sistema de explotación y por la confiabilidad del cálculo.

Por su disponibilidad, la fosforita se clasificó como reservas y como mineral de interés, de acuerdo con las siguientes definiciones:

RESERVAS: Fosforita que se estima que se podrá explotar con los métodos planeados (tajo abierto y cuartos y pilares). Incluye a las capas Humboldt, Humboldt Superior y del Río en los tajos y las dos primeras en la mina subterránea, cuando el espesor de la Humboldt sea superior a 1.40 m, o cuando varíe de 1.0 a 2.4 m si su contenido (espesor por P_2O_5), es, al menos, 28.

MINERAL DE INTERES: Fosforita que no considera explotable con los métodos planeados, pero que pudiera serlo si se modifican las condiciones técnicas y económicas (precios y costos). Incluye a las Capas Dos del Río e Inferior en las zonas de mina subterránea y a las capas Humboldt y Humboldt Superior en donde se reunan las condiciones de espesor y ley necesarios para considerar las reservas.

Por su sistema de explotación, la fosforita se clasificó como de:

TAJO: fosforita explotable a cielo abierto con una relación de tepetate a mineral de capa Humboldt de $6 \text{ m}^3/\text{tonelada}$ en promedio y $12 \text{ m}^3/\text{ton}$ como máximo.

MINA SUBTERRANEA: fosforita de las capas Humboldt y Humboldt Superior, cuan o la primera tiene un espesor de 1.4 m o un espesor de 1.0 a 1.4 con un contenido superior a 28.

Por la confiabilidad del cálculo, tanto las reservas como el mineral de interés se clasificaron como:

MEDIDO: Reservas o mineral de interés de un bloque y una capa cuyo tonelaje y ley pueden tener una variación del 10%.

INDICADO: Reservas o mineral de interés de un bloque y una capa cuyo tonelaje y ley pueden tener una variación de 10 a 30%.

INFERIDO: Reservas o mineral de interés de un bloque y una capa cuyo tonelaje y ley se determinaron por barrenos cercanos a él y por el conocimiento geológico del depósito. La varianza del cálculo particularmente del tonelaje, puede ser superior al 30%. Como ejemplo, un bloque puede ser clasificado como: Reservas-Tajo-Medido.

Los posibles errores de 10, 10 a 30 y más de 30% se estimaron en forma preliminar, con base en análisis estadísticos parciales.

VII. 3.- Configuraciones

Con la información obtenida de los parrenos de diamante se efectuaron configuraciones a escala 1:2,000 y se presentan para el caso de la Capa Humboldt en la zona del Tajo No.

1. Los datos configurados son los siguientes:

- Distribución de P_2O_5 , Materia insoluble y CaO
- Isorrelaciones de CaO/P_2O_5
- Isopacas
- Isohipsas (en base al nivel del mar)
- Isoencapes
- Isorrelaciones de M^3 de roca estéril a tonelada de fosforita.

Estos planos tienen importancia para conocer el comportamiento estructural de la zona, distribución del mineral y planeación del minado (Figs. de la 7 a la 14).

A continuación se presenta la forma como se evaluaron los bloques para el caso del Tajo No. 1 y para la mesa del Junco, estos mismos criterios se siguieron en la evaluación total del distrito.

PAJO No. 1

BLOQUE No. 3-2

[illegible]

TAJO No. 1

BLO .UE NO. 4-1

[illegible]

TAJO No. 1

BLOQUE No. 4-2

[illegible]

SAN JUAN DE LA COSTA, B.C.S.

TAJO NO. 1

SUMARIO DE RESERVAS Y MINERAL DE INTERES

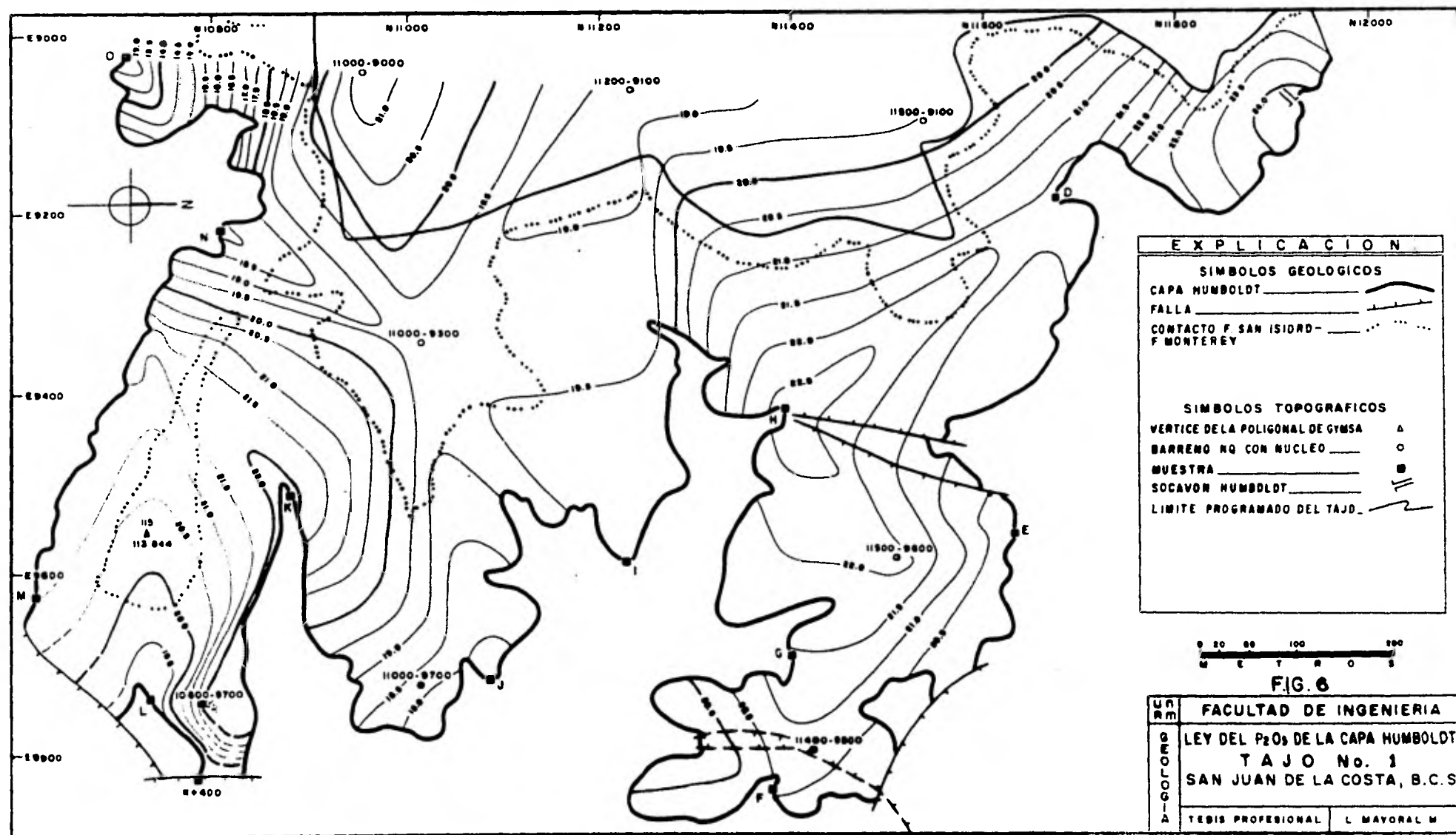
<u>CAPA Y BLOQUE</u>	<u>TONELADAS</u>	<u>ESPESOR M</u>	<u>P₂O₅ %</u>	<u>M.I. %</u>	<u>CaO %</u>	<u>CaO P₂O₅</u>
Humboldt						
1 - 1	186,466	1.24	18.14	29.59	34.60	1.73
1 - 2	405,952	1.69	28.98	26.20	36.67	1.66
2 - 1	127,129	1.37	18.98	29.71	34.79	1.76
2 - 2	312,230	1.46	19.84	23.35	36.89	1.61
3 - 1	138,463	1.51	19.83	28.08	35.47	1.68
3 - 2	34,780	1.32	20.78	19.67	39.84	1.64
4 - 1	221,455	1.43	20.34	24.01	36.86	1.65
4 - 2	310,009	1.42	20.67	20.57	39.14	1.70
5 - 1	193,200	1.48	21.44	25.97	35.67	1.57
TOTAL	1'929,684	1.47	20.22	25.13	36.67	1.66
Humboldt Superior						
1 - 1	34,586	0.23	16.60	33.21	33.24	1.90
1 - 2	62,454	0.26	14.51	30.24	33.27	1.81
2 - 1	32,478	0.35	13.95	37.51	30.36	1.97
2 - 2	53,464	0.25	15.93	28.97	33.98	1.76
3 - 1	22,924	0.25	18.25	35.90	30.76	1.64
3 - 2	6,060	0.23	20.17	30.85	33.69	1.59
4 - 1	32,521	0.21	19.03	32.64	32.10	1.57
4 - 2	54,579	0.25	18.48	34.12	31.01	1.53
5 - 1	62,659	0.48	12.29	42.51	26.31	1.99
TOTAL	361,725	0.29	15.82	34.28	31.30	1.77

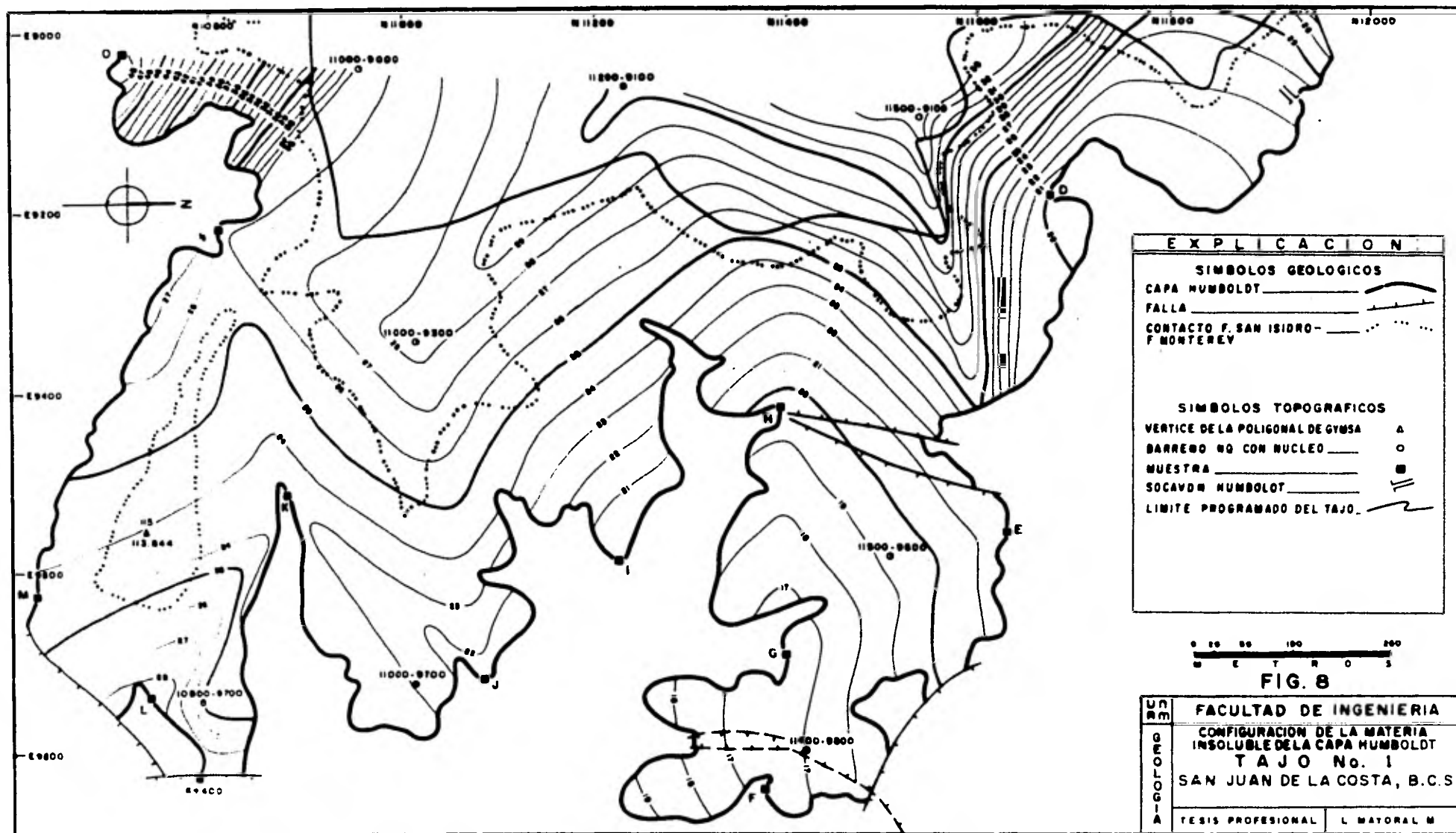
SAN JUAN DE LA COSTA.B.C.S.
SUMARIO DE RESERVAS Y DE MINERAL DE INTERES
CAPAS HUMBOLDT.HUMBOLDT SUPERIOR Y DEL RIO

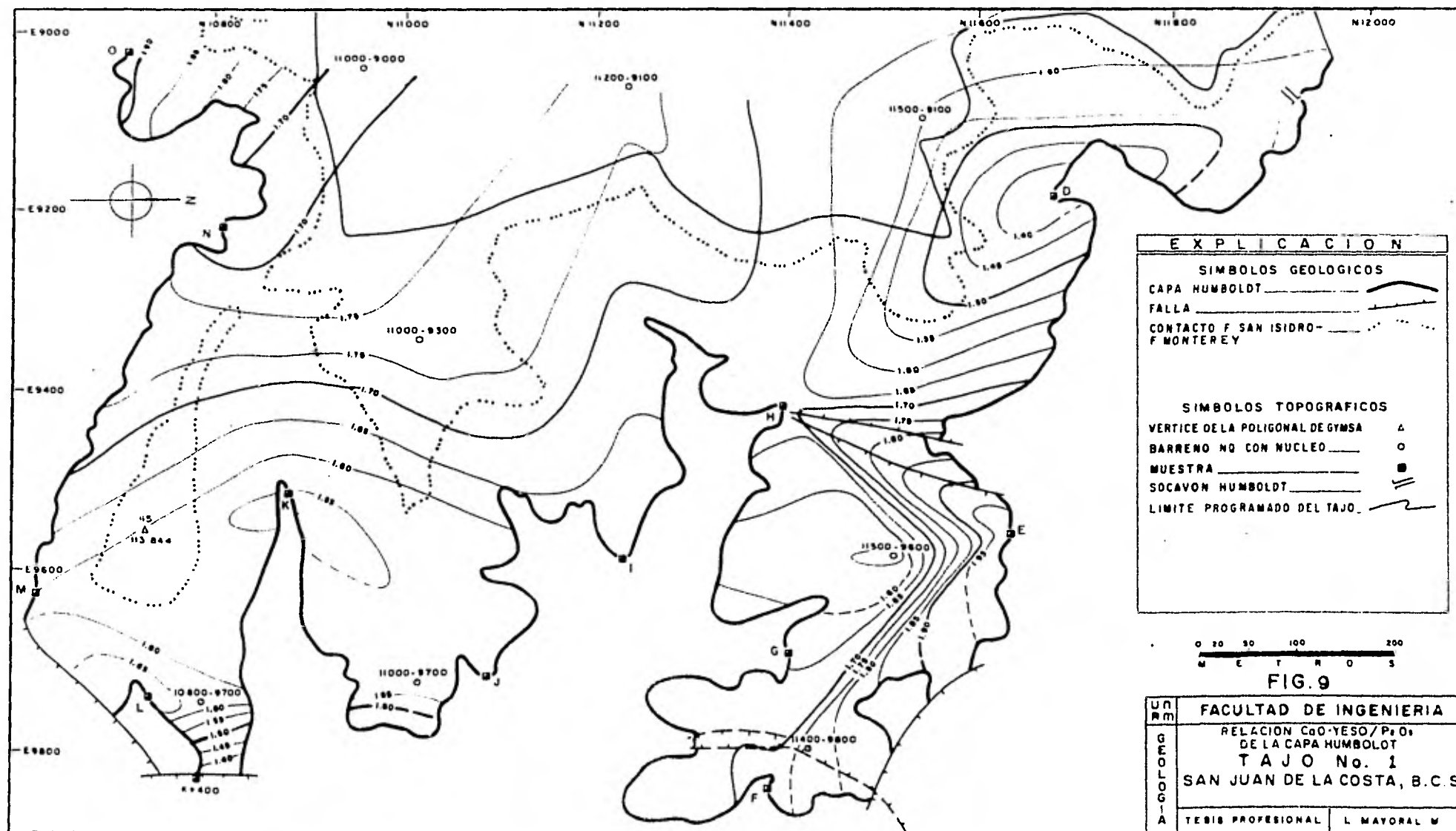
Z O N A	R E S E R V A S				M I N E R A L D E I N T E R E S				G R A N T O T A L
	HUMBOLDT	HUMBOLDT	DEL RIO	SUB-TOTAL	HUMBOLDT	HUMBOLDT SUPERIOR	DEL RIO	SUB-TOTAL	
TAJO No. 1	1,929,884	381,728	817,170	2,908,679			120,593	120,593	3,029,172
CANAÑA DE LA GRACIA	2,329,323	500,887	234,488	3,064,478	700,316	90,344	766,018	1,858,678	4,623,156
MESA DEL JUNCO	4,878,371	729,843	398,888	6,006,102	1,771,375	104,228	5,828,497	5,804,100	12,269,046
ARROYO DEL JUNCO	1,084,259	281,810	892,104	2,238,173			106,789	106,789	2,344,962
CRUCESITAS - A. AMARGA	5,259,066	1,515,412	1,030,088	7,804,566	1,881,850	685,847	3,881,027	6,118,824	13,923,090
C.CALERA - C.DELA VACA	8,720,014	2,297,383	2,819,816	13,836,968			2,151,904	2,151,904	15,988,873
A.SALADITO - TARABILLAS	1,411,340	804,185	342,125	2,257,640			320,878	320,878	2,578,518
GRAN TOTAL	25,935,783	6,287,406	8,384,163	38,578,352	4,023,341	880,419	10,977,506	15,881,266	54,459,618

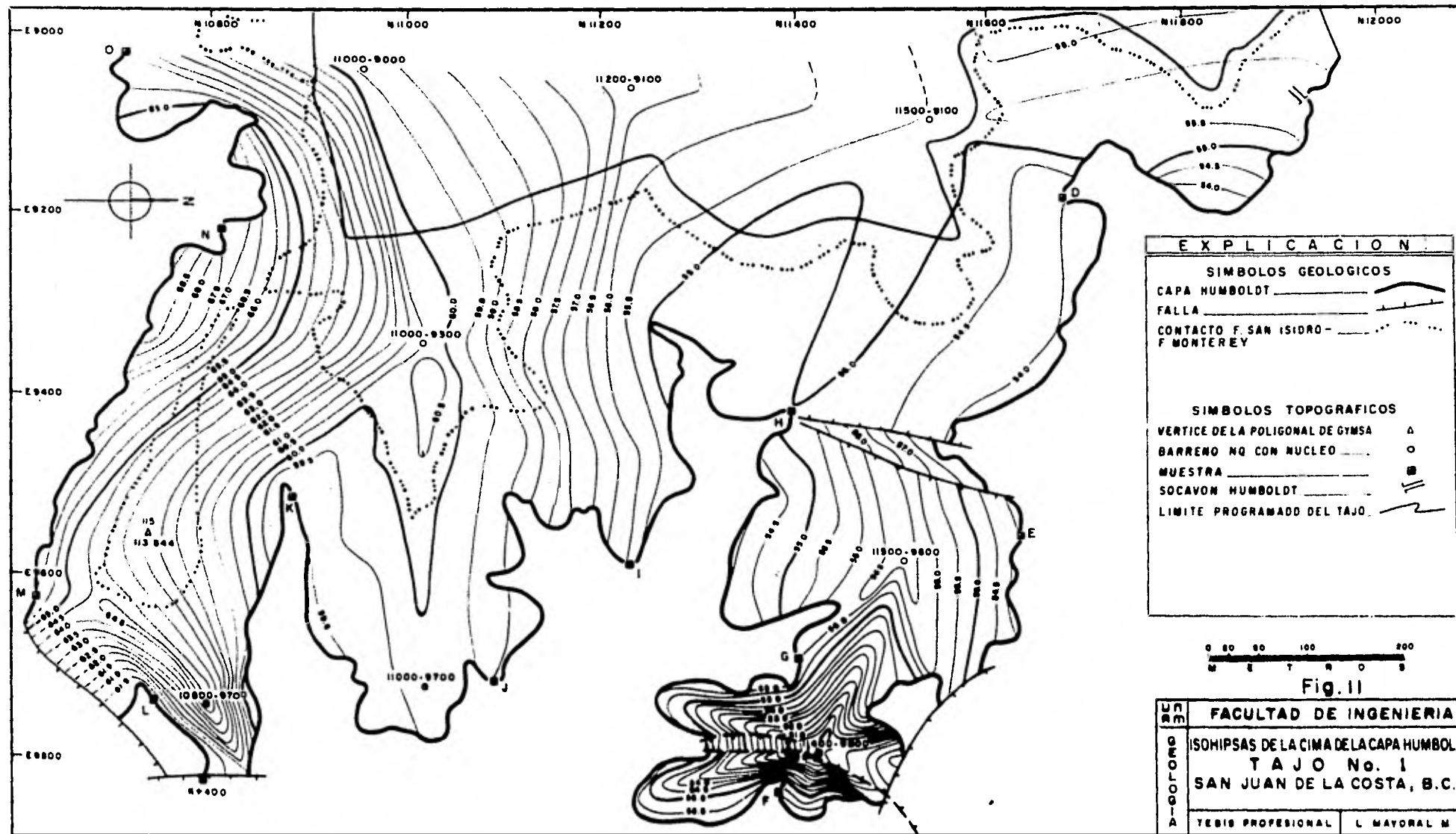
SAN JUAN DE LA COSTA, B.C.S.
CLASIFICACION DE RESERVAS POR SU SISTEMA DE EXPLOTACION

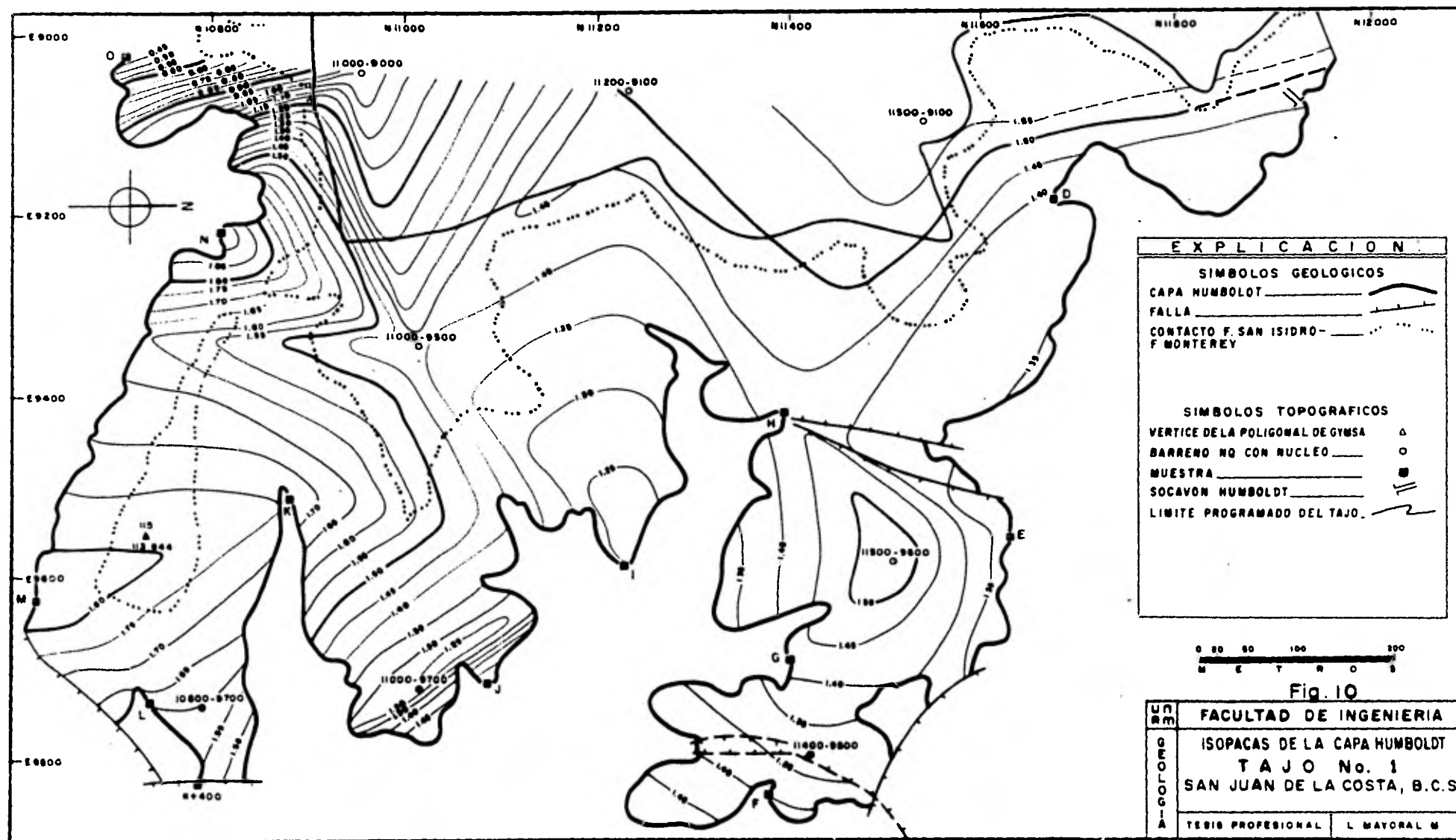
Z O N A	T A J O				M I N A				TOTAL TAJO Y M I N A	TOTAL MINERAL DE INTERES	GRAN TOTAL
	HUMBOLDT	HUMBOLDT SUPERIOR	DEL RIO	TOTAL	HUMBOLDT	HUMBOLDT SUPERIOR	DEL RIO	TOTAL			
TAJO No. 1	1,929,884	361,728	617,170	2,908,782	275,233	55,980	—	331,193	3,239,772	120,893	3,360,365
CANADA DE LA GRACIA	788,956	167,930	234,488	1,189,364	1,883,367	342,787	—	1,908,124	3,084,476	1,558,676	4,623,156
MESA DEL JUNCO	982,440	219,629	716,692	1,818,681	3,947,422	570,830	—	4,518,082	8,433,703	8,804,100	11,937,603
ARROYO DEL JUNCO	946,289	230,107	692,104	2,070,480	135,990	31,703	—	167,693	2,238,173	106,789	2,344,962
CRUCESITAS - A. AMARGA	1,588,169	459,782	1,030,088	3,048,039	3,046,039	1,088,630	—	4,758,628	7,804,597	8,118,524	13,923,091
C. CALERA - C. DE LA VACA	8,074,464	1,344,914	2,519,816	8,944,084	3,640,351	982,424	—	4,692,905	13,536,969	2,151,904	15,688,876
A. SALADITO - TARABILLAS	788,324	202,932	342,126	1,303,361	663,018	301,243	—	964,259	2,257,640	320,678	2,578,318
T O T A L E S	12,019,306	2,977,009	6,384,193	21,349,478	13,978,477	3,310,347	—	17,228,874	38,875,382	19,881,266	54,488,616

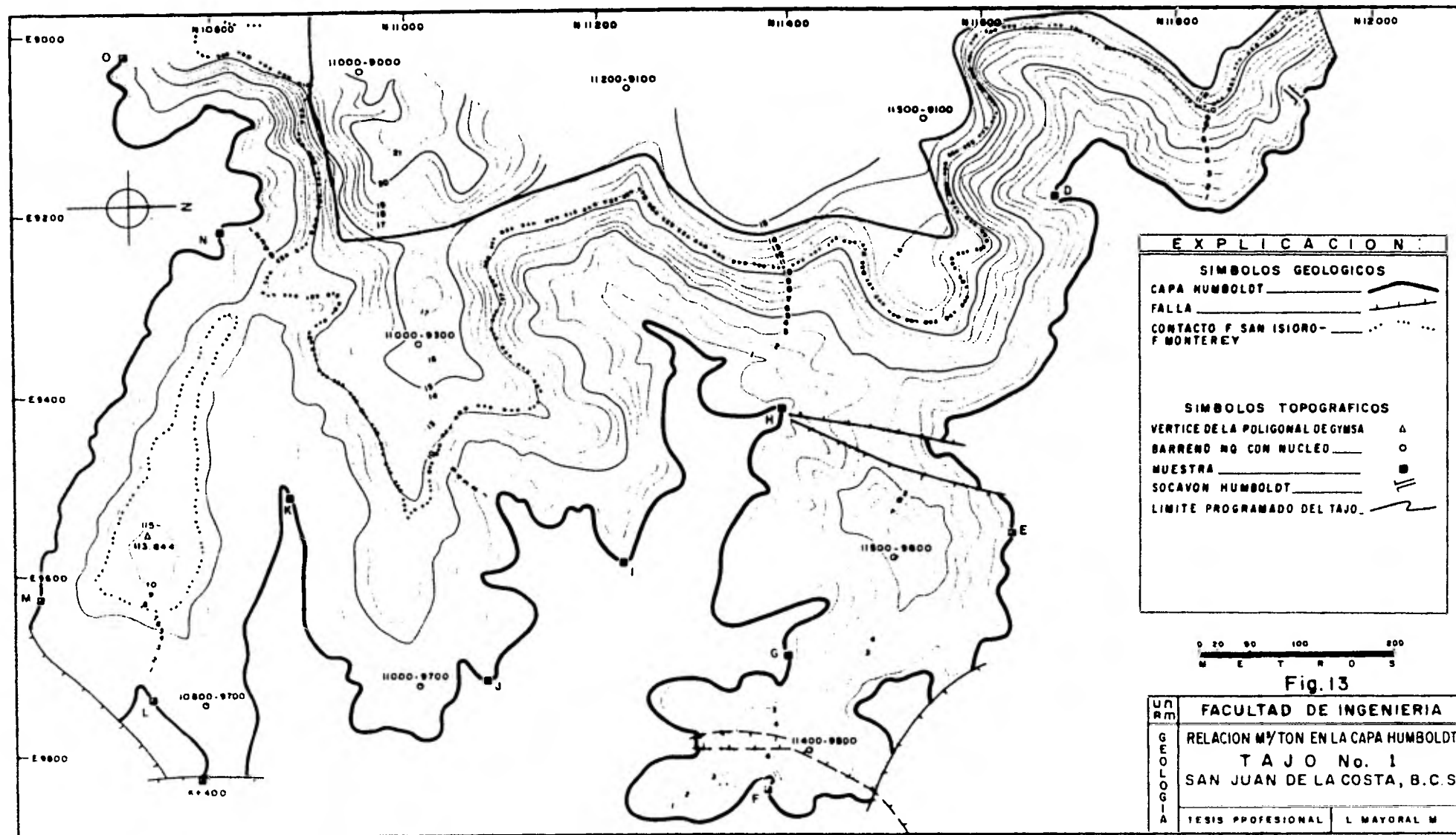


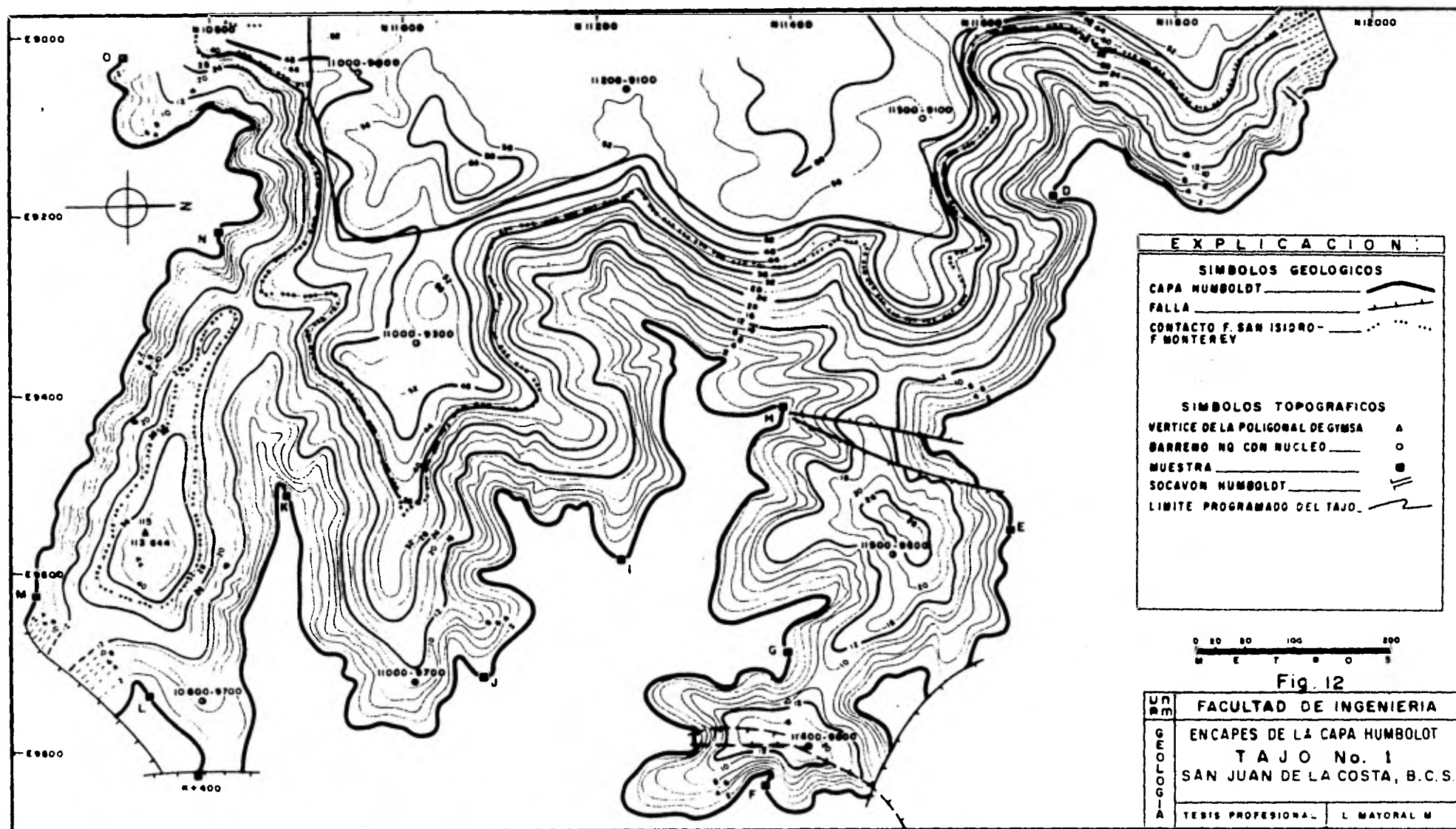












VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) Conclusiones

- La Formación Monterey en el área estudiada, constituye un depósito de plataforma de cuenca semicerrada, de poca profundidad y circulación restringida. Ligeros movimientos verticales de poca duración, ocasionaron cambios en el patrón sedimentario, además de un incipiente vulcanismo en el período Terciario.
- El horizonte de fosforitas se localiza dentro de la Formación Monterey, entre 30 y 65 m abajo de su contacto con la Formación San Isidro. El yacimiento consiste de un banco de capas de fosforitas, las más importantes son las capas llamadas Del Río, Humboldt y Humboldt Superior.
- Las especies minerales del grupo de la apatita presentes en forma de oolitos son: francolita, fluorapatita, colófano y otras.
- Las capas de fosforita presentan poca inclinación y se les puede considerar en posición horizontal, afectadas por fallas sólo localmente.
- Las reservas de fosforita evaluadas, fueron ampliamente apoyadas por estudios geoestadísticos, químicos, mineros y metalúrgicos.
- El tonelaje de fosforita de cada capa y bloque se clasificó por su disponibilidad minera, por el sistema de explotación y por la confiabilidad del cálculo.
- La obtención de productos de roca fosfórica de características comerciales puede lograrse mediante un proceso

global de beneficio, integrado por una combinación de -
operaciones unitarias; trituración-africcionamiento-cla-
sificación-flotación.

- La explotación del yacimiento es factible con los méto-
dos y a los costos planeados.
- El único mineral de importancia económica es el fósforo
(fosfatos), teniendo como subproducto el uranio.

2) Recomendaciones

- Se recomienda estudiar más a fondo la fosforita de la For-
mación San Isidro, como posible fuente de aplicación di-
recta de fertilizante.
- Programar algunos barrenos, con el fin de cambiar de ca-
tegoría de reserva algunos bloques de la zona Saladito-
Tarabillas.
- Efectuar los planos de configuraciones de distribución -
de P_2O_5 , CaO, CaO/P_2O_5 , isopacas, isohipsas, isorelacio-
nes vol./ton., isoencapes, etc., en la zona Norte del -
área explorada.

B I B L I O G R A F I A

- Ames L. L. Jr., The Genesis of Carbonate Apatites Economic Geology, Vol. 54, 1959.
- Beal H. Carl, Reconnaissance of the Geology and Oil possibilities of Baja California México. The Geological.
- Bushinky G. I., On Shallow water origin o phosphorite sediments. National Committee of the Geologist in the USSR MOSCOW, URSS.
- Cathcard and Gulbransen, Phosphate Deposits period 1870-1970 U.S. Geol. Survey Prof. paper 820.
- Corominas F. L., Beneficio y uso de Roca Fosfórica de Baja Calidad. Guanos y Fertilizantes de México, S. A., Sub-Gerencia de Investigación, 1978.
- Comisión de Fomento Minero, Estudio Metalúrgico sobre dos muestras de mineral fosforítico procedentes de San - Juan de la Costa, B.C.S., 1977, Informe para Rofo-mex. Inédito.
- Consejo de Recursos Minerales. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 1978. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 1979.
- Demant, A., Caracteres químicos principales del Vulcanismo Terciario y Cuaternario de Baja California Sur. Relaciones con la evolución del margen continental Pacífico de México. Revista del Instituto de Geología, UNAM. 1975.

D'Anglejan F. B., Sobre la presencia de fosforitas marinas frente a Baja California, México. Bol. Soc. Geol. Mex. Vol. XXVI, 1963.

Escandón V.F.J., Bosquejo Geológico de los depósitos de fosforita de San Juan de la Costa, Baja California Sur. Rofomex 1977. Informe Inédito. La Industria de la Roca Fosfórica 1979. Notas. inédito.

González, G.J.A., Estudio Geológico del Yacimiento de Fosforitas de San Juan de la Costa, B.C.S. UASL. Tesis Profesional, 1978.

Gobierno del Edo. de Baja California Sur, Plan Estatal de desarrollo Urbano. 1979. Estadísticas. Información General. 1979.

Kerr Paul F., Mineralogía Optica. Tercer edición 1965. Ed. Mc. Graw-Hill, Book Co.

Kolodny and Kaplan, Uranium Isotopes in sea-floor phosphirites Geochimica et Cosmochimica Acta, 1970, Vol. 34.

Kouloheris, Ap. P., El futuro del minado y beneficio de fosfatos de Baja Calidad. Phosphurus and Potassium - No. 82, 1976.

Mattauer, M., Las deformaciones de los materiales de la Corteza Terrestre, Edit. Omega. Barcelona, 1976.

Mina, U.F., Bosquejo Geológico de la Parte Sur de B.C., Vol. 9 No. 3 y 4. AMGP. 1956.

Montoya H.R., Estudio del depósito fosforítico de San Hilario, Baja California Sur. Fac. de Ingeniería, UNAM, 1976. Tesis Profesional.

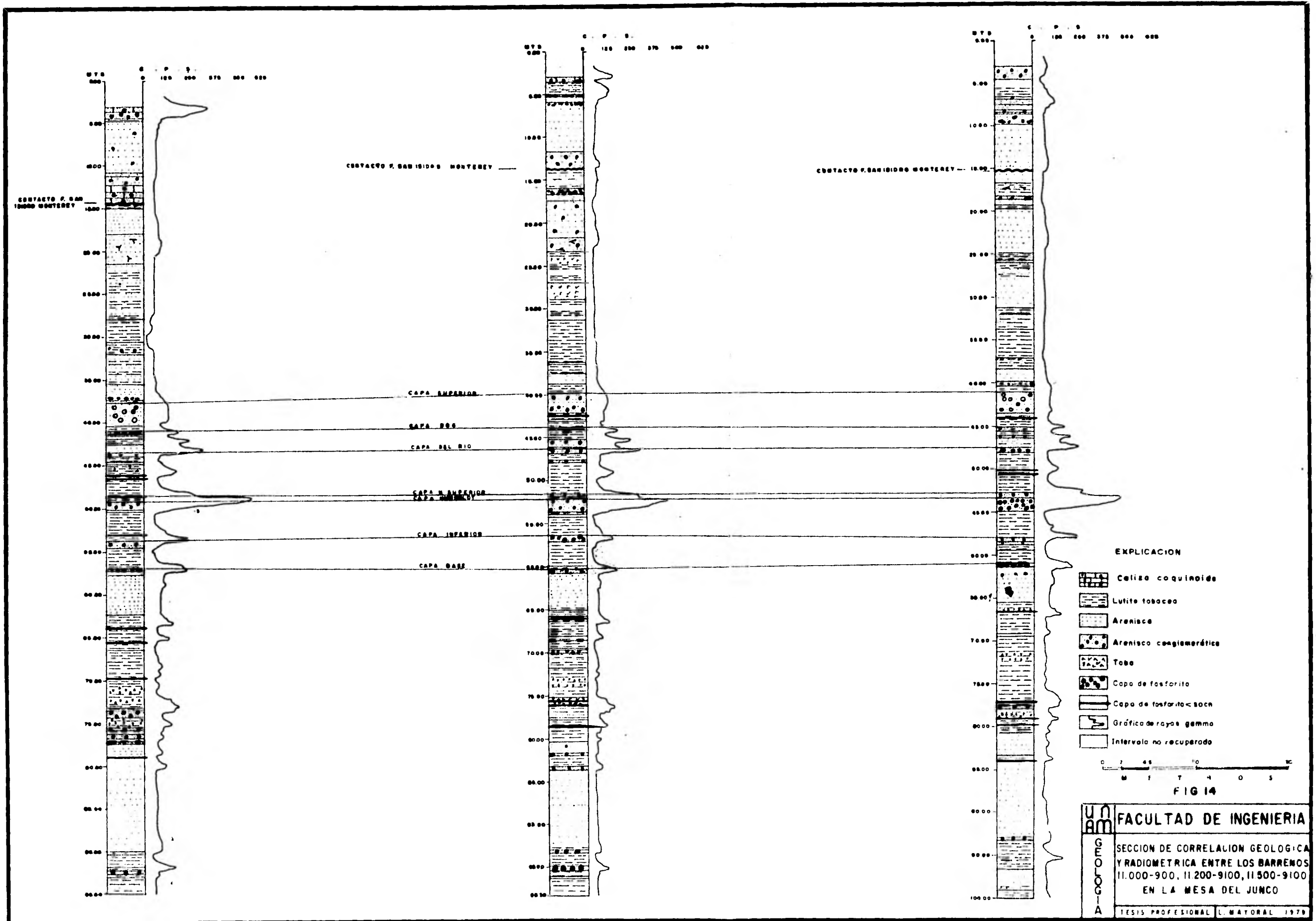
Mc Kelvey, Phosphate deposits, contributions to economic Geology. Bol. 13520 Geological Survey Bulletin. 1967.

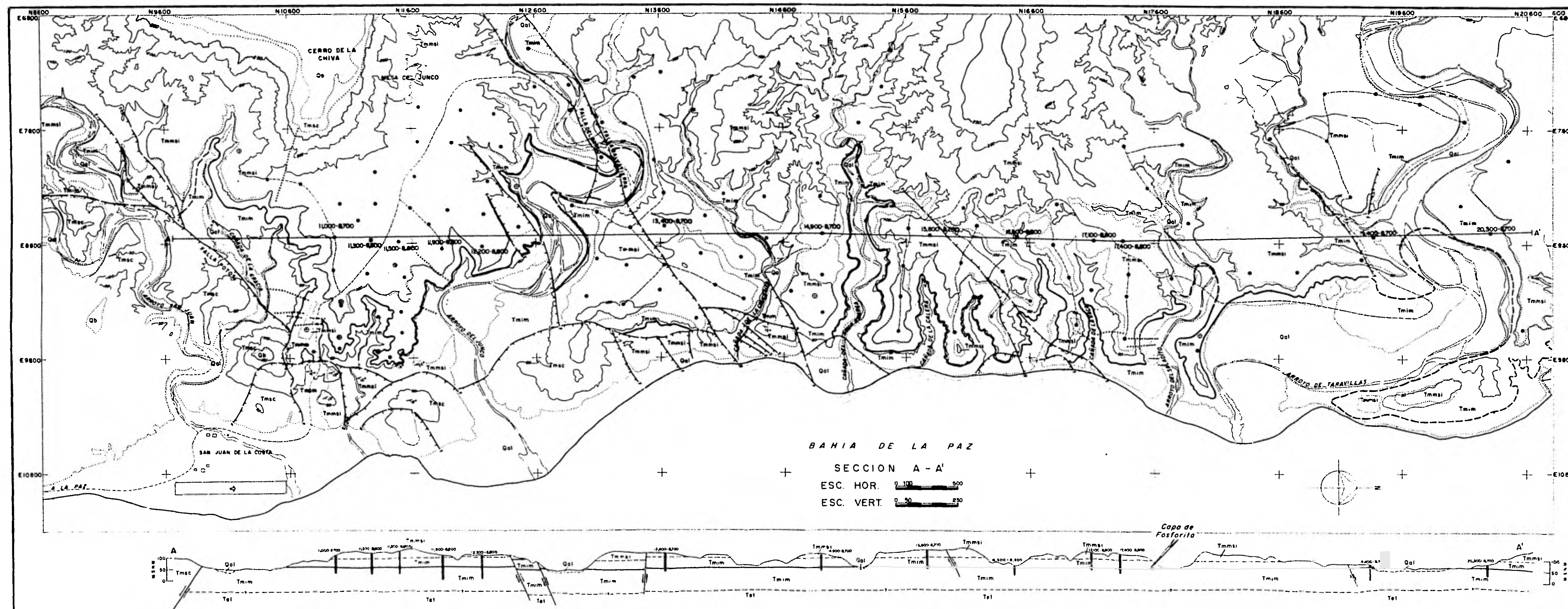
Quintuz B.R.L., Estudio Geológico de la zona fosforítica de - San Francisco, Mpio. de Pácula, Hgo. Geomimet, 1974.

Salas, G.P., Sedimentary Phosphate deposits in Baja California, México. Annual Meeting AIME, Denver Colorado. EUA. 1978.

Selecciones de Scientific American, Deriva Continental y Tectónicas de Placas. 2a. Edición. Edif. H. Blume Madrid. 1976.

Soto y Martínez, Aspectos Geológicos y Mineros del Prospecto. San Juan de la Costa. Fac. de Ingeniería UNAM. 1978. Tesis Profesional.





EXPLICACION

ESTRATIGRAFIA

CUATERNARIO	RECIENTE	Aluvión	Qal
	PLEISTOCENO	Basalto de Meseta	Qb
		Terrazas Marineras	Qtm
TERCIARIO	MIOCENO SUPERIOR	F. Comondu	Tmsc
	MIOCENO MEDIO	F. San Isidro	Tmmsi
	MIOCENO INFERIOR	F. Monterey	Tmim
	EOCENO	Tepetate	Tel

SIMBOLOS GEOLOGICOS

CONTACTO GEOLOGICO _____

CONTACTO GEOLOGICO INFERIDO _____

CAPA DE FOSFORITA _____

CAPA DE FOSFORITA INFERIDA _____

RUMBO Y ECHADO DE CAPAS _____

CAPAS HORIZONTALES _____

FALLA MOSTRANDO SU ECHADO Y EL BLOQUE DESCENDENTE _____

FALLA EN SECCION _____

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

RANCHERIA _____

BRECHA _____

VEREDA _____

PISTA DE ATERRIZAJE _____

ARROYO _____

BARRENO _____

SECCION MEDIDA _____

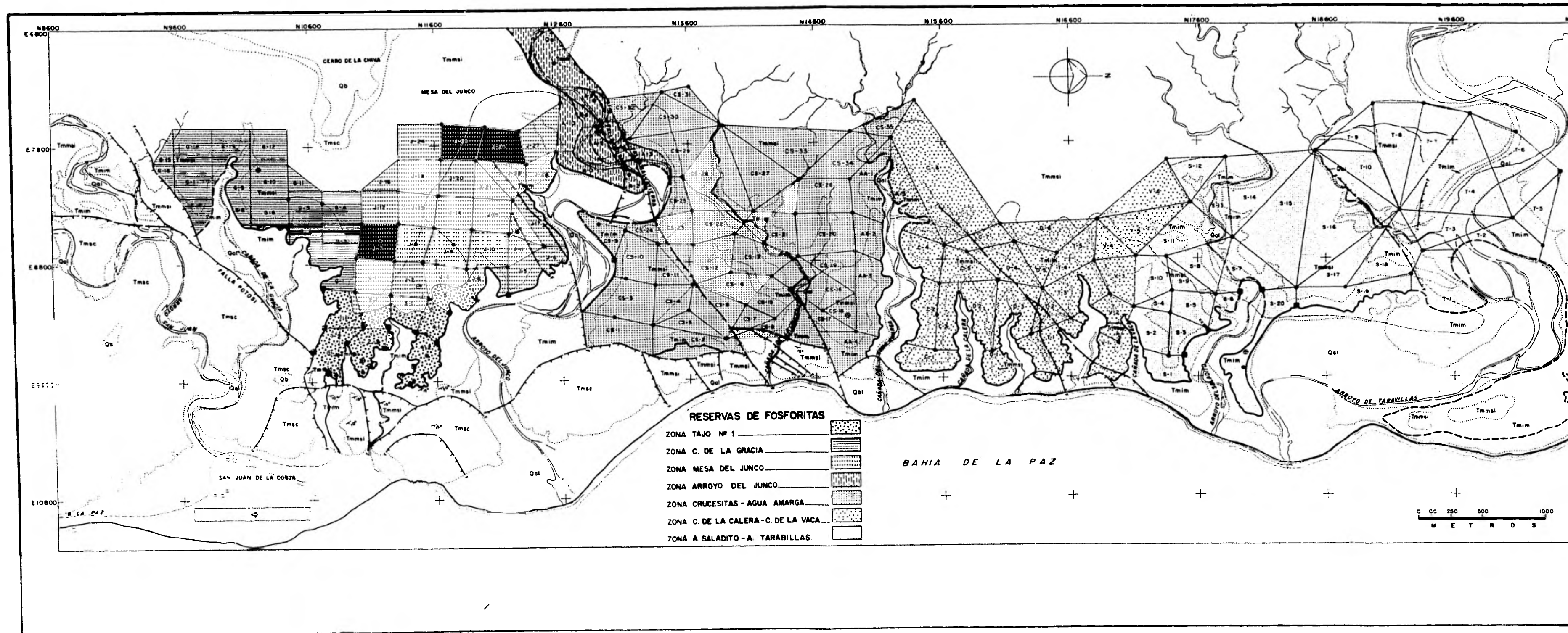
SOCAVON _____

CURVA DE NIVEL _____

0 100 250 500 1000
M E T R O S

MAPA 1

UNIVERSIDAD GEOLOGIA	FACULTAD DE INGENIERIA
	MAPA GEOLOGICO DEL AREA DE SAN JUAN DE LA COSTA BAJA CALIFORNIA SUR
	TESIS PROFESIONAL L. MAYORAL M.



EXPLICACION ESTRATIGRAFIA

RECIENTE	Aluvion	Qol
PLEISTOCENO	Basalto de Meseta	Qb
	Terrazas Marinas	Dim
MIOCENO SUPERIOR		
	F. Comandú	Tmsc
MIOCENO MEDIO		
	F. San Isidro	Tmms
MIOCENO INFERIOR		
	F. Monterrey	Tmim
EOCENO		
	Tepealte	Tet

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

RANCHERIA	..
BRECHA	---
VEREDA	---
PISTA DE ATERRIZAJE	---
ARROYO	---
BARRENO	..
MUESTRA DE AFLORAMIENTO	S
SOCAVON	---
LIMITE DE MINADO A TAJO	---
BLOQUE DE RESERVA	---

SIMBOLOS GEOLOGICOS

CONTACTO GEOLOGICO	---
CONTACTO GEOLOGICO INFERIDO	---
CAPA DE FOSFORITA	---
CAPA DE FOSFORITA INFERIDA	---
RUMBO Y ECHADO DE CAPAS	---
CAPAS HORIZONTALES	---
FALLA MOSTRANDO SU ECHADO Y EL BLOQUE DESCENDENTE	---

MAPA 2

UN RM G E O L O G I A	FACULTAD DE INGENIERIA	
	RESERVAS DE FOSFORITA	
	CAPA HUMBOLDT	
	DIVISION POR ZONAS	
SAN JUAN DE LA COSTA, B.C.S.		
TESIS PROFESIONAL		
L. MAYORAL M.		