

2ej. 12



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“Levantamiento Geológico Superficial y del Subsuelo de la porción occidental del yacimiento de Fosforita de San Juan de la Costa en el Estado de Baja California, Sur”.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO GEOLOGO**

PRESENTA:

**José Alfredo Monjaraz Ochoa**

MEXICO, D. F.

DICIEMBRE DE 1987.



## **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 está 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.

# CONTENIDO TEMÁTICO

	<i>página</i>
<b>I. INTRODUCCION</b>	
Resumen .....	1
1.- Objetivo .....	3
2.- Antecedentes .....	4
3.- Método de trabajo .....	8
<b>II. GENERALIDADES</b>	<b>9A</b>
1.- Localización y vías de comunicación .....	10
2.- Clima, vegetación y fauna .....	13
3.- Población y cultura .....	17
3.1.- Infraestructura y cultura .....	17
II.4.- Fisiografía .....	19
Introducción .....	19
4.1.- Orografía .....	22
4.2.- Introducción .....	23
4.2.1.- Hidrografía .....	24
<b>III. GEOLOGIA LOCAL</b>	<b>26</b>
III.1.- Relación con la Geología Regional .....	27
III.2.- Geomorfología .....	30
III.3.- Estratigrafía .....	33
3.1.- Introducción .....	33
A.- Formación Tepetate .....	35
B.- Formación Monterrey .....	37
C.- Formación San Isidro .....	43
D.- Formación Comondú .....	45
III.4.- Geología Estructural .....	51
III.5.- Paleogeografía del Mioceno Inferior .....	54
<b>IV. YACIMIENTOS MINERALES</b>	<b>57</b>
A.- Datos Generales sobre Fosforita .....	58
A.1.- Asociaciones Mineralógicas del Fósforo .....	61
A.2.- Teorías sobre la Genesis de los Yacimientos de Fósforo.	63
A.3.- Yacimientos de Fosforita en México .....	70
A.4.- Yacimientos de Fosforita en el Mundo .....	72
A.5.- Usos .....	82
A.6.- Métodos de explotación y beneficios .....	85

<b>B.- Descripción del yacimiento de San Juan de la Costa ...</b>	<b>89</b>
<b>B.1.- Roca encajonante .....</b>	<b>89</b>
<b>B.2.- Forma del cuerpo mineralizado .....</b>	<b>90</b>
<b>B.3.- Espesores del cuerpo mineralizado (capa humboldt) .....</b>	<b>91</b>
<b>B.4.- Leyes del cuerpo mineralizado (valor promedio) .....</b>	<b>92</b>
<b>B.5.- Mineralogía .....</b>	<b>93</b>
<b>B.6.- Descripción de barrenos .....</b>	<b>97</b>
<i>Descripción del barreno 196 .....</i>	<i>99</i>
<i>Descripción del barreno 197 .....</i>	<i>101</i>
<i>Descripción del barreno 198 .....</i>	<i>105</i>
<i>Descripción del barreno 200 .....</i>	<i>108</i>
<i>Descripción del barreno 201 .....</i>	<i>110</i>
<b>B.7.- Hipótesis genética .....</b>	<b>111</b>
<b>B.8.- Clasificación de reservas .....</b>	<b>113</b>
<i>Ejemplo ilustrado .....</i>	<i>115</i>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>1.- Recomendaciones .....</b>	<b>120</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>122</b>
<b>APENDICES</b>	

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura</i>	<i>página</i>
<i>Figura 1</i> .....	12
<i>Figura 2</i> .....	16
<i>Figura 3</i> .....	20
<i>Figura 4</i> .....	21
<i>Figura 5</i> .....	28
<i>Figura 5a</i> .....	29
<i>Figura 6</i> .....	34
<i>Figura 7</i> .....	42
<i>Tabla 1</i> .....	49
<i>Figura 7a.</i> .....	50
<i>Figura 8</i> .....	53
<i>Figura 9</i> .....	55
<i>Figura 10</i> .....	64
<i>Figura 11</i> .....	65
<i>Figura 12</i> .....	68
<i>Figura 13</i> .....	69
<i>Tabla II</i> .....	74
<i>Tabla III</i> .....	81
<i>Figura 14</i> .....	84
<i>Tabla IV</i> .....	94
<i>Tabla V</i> .....	96
<i>Columna barreno 40</i> .....	98
<i>Columna barreno 196</i> .....	100
<i>Columna barreno 197</i> .....	104
<i>Columna barreno 200</i> .....	109

## R E S U M E N

*El yacimiento de roca fosfórica de San Juan de la Costa, se localiza en el estado de Baja California Sur, dentro del municipio de La Paz, dentro de los 24°30' de latitud norte y 110°45' de longitud oeste. Comprendiendo un área total de 30 Km<sup>2</sup> de los cuales 23.5 Km<sup>2</sup> corresponden al fundo minero propiedad de Roca Fosfórica Mexicana - - - (RoFoMex).*

*La zona de interés se localiza en la provincia fisiográfica de Baja California. Desde el punto de vista geológico la zona en cuestión se encuentra dentro del ciclo geomorfológico, para climas áridos, en una etapa de juventud tardía, y se encuentra en sí, formando parte del Yacimiento de San Juan de la Costa.*

*Los afloramientos más antiguos corresponden a la Formación Monterrey del Mioceno Inferior, la cual consiste de una alternancia de areniscas, lutitas y de tobas, coquinas y conglomerados; esta unidad contiene a las capas de fosforitas más importantes (capa Humboldt). Encima de esta unidad se encuentran: La Formación San Isidro del Mioceno Medio, que consiste de areniscas glauconíticas (areniscas verdes) con intercalaciones de lutitas, conglomerados y tobas. La Formación Comondú del Mioceno Superior-Plioceno (dividida en tres miembros: areniscas San Juan, aglomerado y el Junco y Toba Salmón); estas unidades están cubiertas por los basáltos de meseta del Pleistoceno y el aluvión del Reciente.*

*Además del yacimiento de San Juan de la Costa, se encuentran - otros de similar importancia como en el caso de San Hilario, Sta. Rita, Punta Abreojos y Sto. Domingo. Todo esto en cuanto a fosforita, pero existen otros tipos de yacimientos como son: Las Solinas de Guerrero Negro, yacimientos de cobre en Santa Rosalía (El Bolco), La Isla de - San Marcos (se está extrayendo yeso actualmente) y algunos yacimientos de oro y plata en la porción sur de la Península.*

## 1. OBJETIVO

*El objetivo fundamental de este trabajo es conocer el comportamiento de la capa fosfatada Humboldt y de esta forma incrementar las reservas de la mina. Con ello se tendrá una base para la programación futura de la explotación del yacimiento.*

*Para alcanzar el propósito planteado fue necesario realizar un reconocimiento geológico, superficial y de subsuelo, en la porción occidental (NW) del yacimiento de San Juan de la Costa.*

## 2. ANTECEDENTES

*En México, durante la primera mitad de éste siglo, se explotaron en forma periódica y esporádica, yacimientos fosfáticos en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas; más actualmente, la producción nacional ha sido en las empresas Fosforitas Mexicanas y Fosfatos Triangulares, S.A. en Zucua, cerca de Zimapán, en el estado de Hidalgo.*

*La información geológica que hace dos décadas existía acerca del estado de Baja California Sur, era muy escasa. En 1888 W. Lindgren publicó un trabajo titulado "NOTES ON THE GEOLOGY OF BAJA CALIFORNIA, MEXICO". En 1924 la Cía, Marland Oil de México publicó un trabajo anónimo sobre "LA EXPLORACION GEOLOGICA DE LA BAJA CALIFORNIA". En 1948, C. Beal realizó un estudio al que tituló "RECONNAISSANCE OF THE GEOLOGY AND OIL POSSIBILITES OF BAJA CALIFORNIA, MEXICO" (Geological Society of America, Men 31 1948).*

*De 1954 a 1958, Minera Fornos, S.A. exploró una zona de 100 -- Km de longitud y 3 a 4 Km de ancho, a lo largo de las costas e Islas del Océano Pacífico en la Península de la Baja California, entre los paralelos 24°30' y 25°45' de latitud Norte. La exploración empezó principalmente al norte del poblado de Matancitas o de Adolfo López Mateos. En este estudio no lograron diferenciar tipos de arenas en superficie por lo cual se perforaron una retícula de barrenación de 1000 metros*

de lado, la cual se cerró posteriormente a 500 metros, en sentido norte-sur y a 100 metros oriente-poniente en varias direcciones. En total se perforaron 178 barrenos por medio de un martillo neumático y recuperación a través del agua de retorno. Se obtuvieron más de 60,000 muestras que fueron analizadas en los laboratorios de la Compañía y del Institute de reserves de Stanford. Sólo se analizaron por  $P_2O_5$ , por el método volumétrico del fosfomolibdato de amonio, este método se basa en la disolución ácida de fosfatos presentes en la roca y en la reacción estequiométrica del molibdato de amonio (laboratorio de RoFoMex).

Durante la década de 1950 a 1960, Durham realizó varios trabajos sobre paleontología en la Península de la Baja California. Es clásico el trabajo del Ing. Federico Mina Wing "BOSQUEJO GEOLOGICO DEL TERRITORIO DE LA BAJA CALIFORNIA SUR", publicado por la Asociación de Geólogos Petroleros (Vol. IX, Vol. 3 y 4, 1956).

A partir de 1960 el interés por evaluar los recursos naturales de la Península se fué incrementando constantemente. En 1963 D'Angiejan en su estudio sobre la presencia de fosforitas marinas frente a Baja California, México publicado por la Sociedad Geológica Mexicana (Vol. XXVI, 1963), reporta la existencia de enormes yacimientos de fosfatos a lo largo de la plataforma continental occidental del extremo sur de la Península.

A fines de 1967, la Comisión de Fomento Minero, Guanos y Ferti-

*lizantes de México e Inversionistas Privados organizaron la empresa -- denominada Minerales Submarinos Mexicanos, S.A., cuyo objetivo principal fué explorar el fondo submarino de la planicie costera occidental de Baja California, en busca de fosfatos.*

*En 1974 el Consejo de Recursos Minerales descubre los yacimientos de fosfato de San Hilario localizados en el kilómetro 100 de la carretera Transpeninsular, y a mediados de 1975 se crea la empresa de participación estatal denominada Roca Fosfórica Mexicana de C.V. -- (RoFoMex). Ese mismo año se inicia la explotación, y evaluación de la roca fosfórica, un total de 60 millones de toneladas con una ley promedio de 13% de  $P_2O_5$ .*

*Las pruebas metalúrgicas corridas durante la etapa de exploración no fueron favorables ya que en ningún caso los concentrados alcanzaron 30% ó 33% de  $P_2O_5$  requerido para que la roca sea comercial. Durante 1975 y 1976 el Consejo de Recursos Minerales y RoFoMex realizaron una exploración detallada de la zona de San Hilario, cubiéndose alrededor de 60 millones de toneladas de roca fosfórica. Estos resultados aunados a la cuantiosa inversión necesaria para abrir una mina en San Hilario, hicieron que RoFoMex explorara regionalmente -- otros lugares al mismo tiempo que se intensificaba la exploración de -- San Hilario. Sobre la geología de ésta área existe un informe elaborado por Montoya P. en 1976.*

*Tratando de solucionar el problema de la demanda nacional de fos*

*fatos (a largo plazo), el gobierno federal inició un importante programa de exploración por RoFoMex a nivel nacional. La cual abarcó trabajos de fotogeología regional a escala 1:10,000, fotogrametría de la zona de San Juan de la Costa Tarabillas, barrenación de núcleos, pruebas metalúrgicas y pruebas de minado, culminando con la estimación de reservas en Agosto de 1977. Se recomendó la zona de San Juan de la Costa, por su espesor y extensión de las capas fosfatadas, para desarrollar su explotación.*

### 3. METODO DE TRABAJO

*El trabajo comprendió, en términos generales, estudios y actividades de campo y trabajos de gabinete.*

*La primera fase del trabajo tuvo la intención de recopilar toda la información posible aportada por estudios previos. Se elaboró un plano fotogeológico provisional, a nivel local, en base a fotografías aéreas a escala 1:10,000 tomadas por DETENAL.*

*Durante la segunda etapa se visitó el yacimiento y se realizó un reconocimiento geológico de la zona. Apoyándose en la información de RoFoMex y en fotografías aéreas 1:10,000, se programaron una serie de caminamientos con el fin de reconocer las diferentes unidades estratigráficas que afloran en la zona, su litología, sus variaciones estructurales y sedimentológicas, así como su distribución y espesor; con la ayuda de un altímetro se midieron espesores de capas fosfáticas, principalmente de la capa Humboldt, que constituye la unidad más rica y se pudo seguir gracias a la ayuda de los barrenos.*

*Durante los caminamientos se recolectaron algunas muestras de mano principalmente de la capa Humboldt de las diferentes mesas existentes en el yacimiento, localizándolas en las fotografías aéreas. Se hizo la descripción megascópica de algunos núcleos (40, 196, 197, 198 y 200) para conocer el comportamiento de la capa de interés y determinar los espesores de todas las capas fosfatadas.*

*Durante la tercera etapa y última se elaboró un plano geológico - estructural de todo el yacimiento, se elaboraron planos y secciones esquemáticas, un bloque diagramático para determinar el comportamiento de la capa Humboldt, a consecuencia de las fallas existentes; finalmente, con la información obtenida se pudo llegar a conclusiones y recomendaciones finales e integrar el presente trabajo.*

## *II GENERALIDADES*

## 1. LOCALIZACION Y VIAS DE COMUNICACION

*La zona de San Juan-Punta Coyote está ubicada en la parte occidental de la Bahía de La Paz (ver figura 1) en el estado de Baja California Sur. El área en cuestión constituye una estrecha franja de 50 - Km de largo por 7 Km de ancho con elevación máxima de 200 m sobre el nivel del mar.*

*La zona de interés se localiza entre 24°15' y 24°45' de latitud -- norte, entre los 110° y 111° longitud oeste.*

### VIAS DE ACCESO

*Se puede llegar por agua, aire y tierra.*

### MARITIMA

*Es una de las mejores formas de llegar a la zona, zarpando de la Cd. de La Paz o del Ejido Alfredo V. Bonfil, en el primer caso con - 1:45 horas y en el segundo con 45 minutos de recorrido en embarcaciones chicas.*

### AEREA

*El campamento cuenta además con una pista de aterrizaje para - avionetas livianas; esta vía tiene una longitud y anchura de 800 y 15 metros respectivamente.*

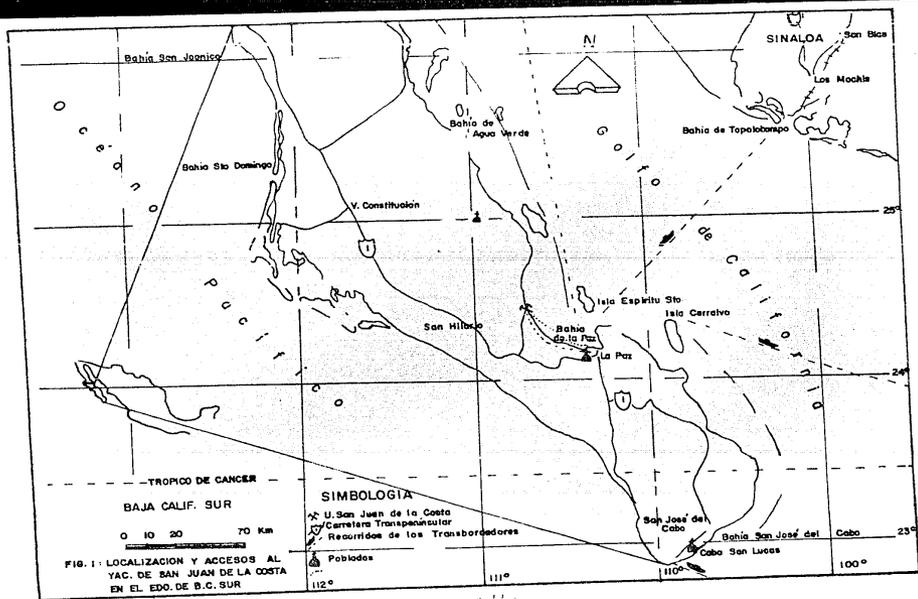
## TERRESTRE

Tanto la transportación marítima, como aérea, presentan dificultades, bajo condiciones climatológicas desfavorables, ambos tipos de -- transportes son inútiles.

Partiendo de la Cd. de La Paz al Km 15 de la carretera transpeninsular Benito Juárez, existen dos brechas que comunican con el yacimiento.

La primera comienza en el Km 96 del tramo La Paz-Cd. Constitución y termina en el cantón Oriental de la Sierra La Giganta, pasando por Guadalupe de la Herradura. Al final del camino a la Costa existen varias veredas que comunican el centro del área. El recorrido se hace en 4 horas, aproximadamente. El 2º camino de brecha es un camino -- que comunica al campamento de RoFoMex en el Km 100 de la carretera transpeninsular con San Juan de la Costa, pasando por San Ildefonso, el Saven, Portezuelo Colorado, Tarabillas y Juan Juan, haciéndose el recorrido aproximadamente en dos horas.

El camino de San Juan de la Costa-La Paz, pasando por el Cajete vendría a resolver el problema actual en cuanto al transporte terrestre. En la figura 1 se indica la localización del yacimiento con sus vías de acceso.



## 2. CLIMA, VEGETACION Y FAUNA

*En la región predomina un clima caliente y seco (semidesértico), correspondiendo al período de lluvias de los meses de julio, agosto y septiembre, teniendo además escasas lluvias en el mes de diciembre, con una precipitación promedio mensual de 15.62 mm siendo el promedio anual de 187.6 mm (ver figura 2).*

*La temperatura máxima promedio al año es de 35°C, la temperatura media promedio es de 23°C, siendo la temperatura mínima de 16°C en los meses de diciembre a enero.*

*La vegetación es del tipo desértico muy variado entre los que -- destacan los arbustos y matorrales espinosos y cactáceas; en las partes aisladas, se observa vegetación de litoral como manglares. La vegetación en la mayor parte del año es escasa, excepto en lugares cercanos a manantiales en tiempo de lluvia, en los meses de septiembre a noviembre. En general, la vegetación se compone de:*

### VEGETACION

#### NOMBRE COMUN

BIZNAGA

CACTUS

CARDON

CHOLLA

#### NOMBRE CIENTIFICO

FEROCACTUS OCANTHODES

HARIOOTA SALICORNIOIDES

PACHYCENAS PRINGLEI

OPUNTIA CHOLLA

NOMBRE COMUN

COPAL  
DATILILLO  
GOBERNADORA  
HIGUERILLA  
HUIZACHE  
LECHUGUILLA  
MAGUEY  
MEZQUITAL  
NOPAL  
PALMA DE GUINEA  
PALMA REAL  
PALMERA DUTILERA  
PALMILLA  
PALO CHINO (URA DE CATO )  
PALO BLANCO  
PALO DE ADAN  
PALO VERDE  
PITAYA AGRIA  
PITAYA DULCE  
OCOTILLO  
TOROTE

NOMBRE CIENTIFICO

AYMENACA COURBARIL  
YUCCA VALIDA  
LARREA DIVARILATA  
JATROPHA CINEVEA  
ACACIA FARNESIANA  
YUECCA WHIPPLSI  
AGAVE MEXICANA  
PROSPIS JULIFLORA  
OPUNTIA  
ELOESIS GUINEENSIS  
ERYTHEA BRANDEYERI  
PHOENIX DOCTYLIFERA  
CHAMEROPUS HUMILIS  
ACOLIA GREGGIL  
LIPILOMA CANDIDA  
FOUFUIERIA PENKNINSULARIS  
CERCIDIUM PROEROX  
MACHOEVOCEVEUS GUMMOSUS  
LEMAIRE O CEREUS THURISERI  
FOUGUIERE SPLENDEUS  
BRUSERA MICROPHYLLA

## F A U N A

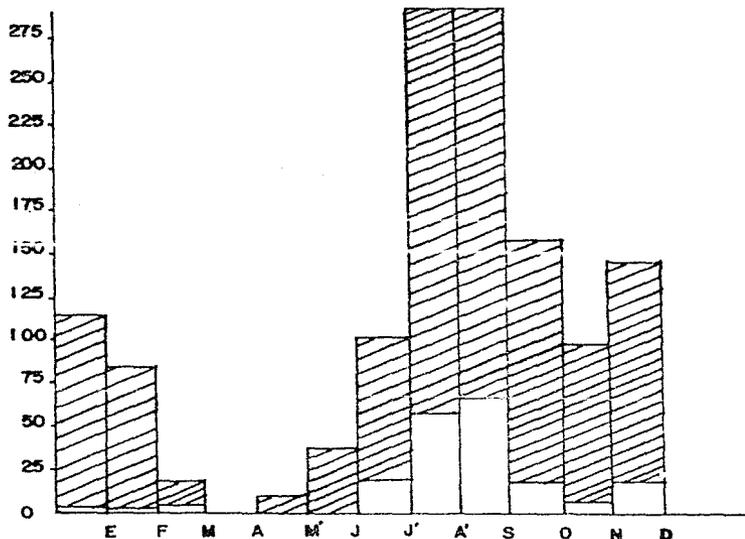
La fauna corresponde al tipo desértico: coyotes, zorras, armadillos, víboras de cascabel, ardillas (cuñiques), aves silvestres, corre-caminos, codornices, buitre americano (zopilote), etc.

### NOMBRE COMÚN

LIEBRE  
PAJARO CARPINTERO  
ZORRA  
AGUILILLA  
VIBORA DE CASCABEL  
CODORNIZ PINTO  
COYOTE  
CONEJO  
CORRECAMINOS  
ARDILLA  
MOSQUITO  
LAGARTIJA  
CAMALEON  
TEJON  
AVISPA

### NOMBRE CIENTIFICO

LEPUS TIMIDUS  
PICUS CANUS  
UROSYON CINEREO ARGENTEUS  
BUTEO CALUROS  
CROTALUS SP.  
CYRTONYX MONTEZUMAR  
CANIS LATRANS  
SYLVICAGUS SP.  
SEUROS VULGARIS  
CULEX PIPIENS  
LAGARTA MURALIS  
CHAMAELEON VULGARIS  
MALES TAXUN  
VESPA VULGARIS



MES                      PRECIPITACIONES DADAS EN (mm)

ENERO	10.00
FEBRERO	4.6
MARZO	1.4
ABRIL	0.2
MAYO	0.2
JUNIO	1.8
JULIO	11.8
AGOSTO	46.3
SEPTIEMBRE	62.2
OCTUBRE	15.6
NOVIEMBRE	11.0
DICIEMBRE	22.6

 PRECIPITACIONES MENSUAL MAS  
ALTAS EN PROMEDIO

FIG. 2 PRECIPITACIONES  
EN LA ZONA DE  
SAN JUAN DE LA -  
COSTA EN B.C.SUR

 PRECIPITACIONES PROMEDIO MENSUAL

PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO = 187.6

### **.3. POBLACION Y CULTURA**

*\* San Juan de la Costa tiene una población de 650 habitantes - aproximadamente, cuenta con una escuela preescolar y una escuela de educación primaria.*

#### **.3.1. INFRAESTRUCTURA Y CULTURA**

*La unidad de San Juan de la Costa cuenta con las siguientes - instalaciones:*

- Planta de beneficio con una capacidad de 6,000 toneladas - diarias de mineral.*
- Puerta para recibir embarcaciones con capacidad hasta - - 35,000 toneladas.*
- Oficinas, Almacenes, Talleres, etc.*
- Línea de transmisión eléctrica de 115 Kv y 60 kilómetros de longitud.*
- Viviendas para empleados y obreros.*
- Clínica del I.M.S.S.*
- Suministro de agua potable a partir de dos pozos de 12" de diámetro que se encuentran a una distancia de 32 km de la unidad.*
- Servicio de transporte de camiones tipo urbano propiedad - de la empresa, cubren diferentes rutas a la ciudad de La - Paz, con diferentes horarios de tres turnos de operación.*

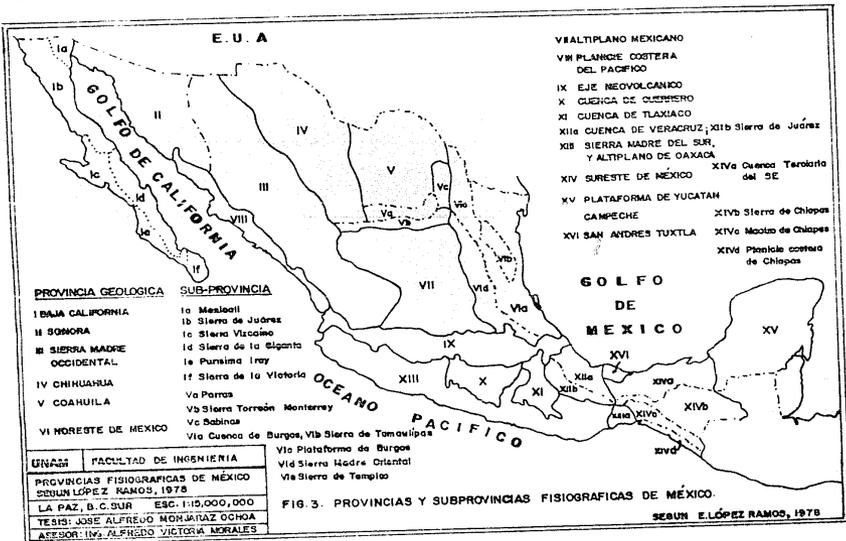
\* *Datos proporcionados por el Ing. José Luis Aguilar Pérez -  
Gerente de Geología y exploración de RoFoMex, S.A. de C.V.  
hasta el año de 1985.*

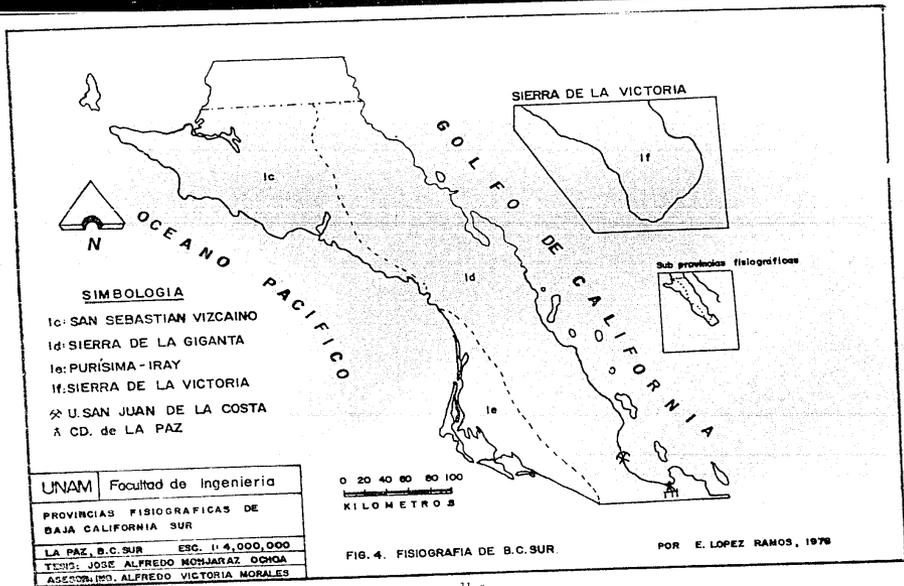
## II. 4. FISIOGRAFIA

### INTRODUCCION

*La península de Baja California es una larga y angosta faja de - aproximadamente 1300 km de longitud y una anchura media de unos - 100 km; esta provincia consta de tres sierras, dos de ellas cristalinas y una de rocas volcánicas. Es posible que bajo esta última se encuentren rocas graníticas que unen a las dos primeras (Alvarez Jr. 1968) (figura 3).*

*Según la clasificación de provincias fisiográficas de la República Mexicana (Alvarez Jr. 1968), la zona de San Juan de la Costa está - situada en la provincia de la Baja California Sur, Sub-provincia de - La Paz (figura 4).*





#### .4.1 OROGRAFIA

*En las serranías de Baja California las alturas son muy variables pues en la Sierra de Juárez y en la de San Pedro Mártir, se alcanzan elevaciones superiores a los 2,300 metros. Hacia el sur se encuentra la serranía de Santa California en la parte norte central existe la serranía Calamajué se unen y forman la sierra de San Borja; continuando hacia el sur se tienen las serranías de Mulegé, Concepción y la Giganta en el estado de Baja California Sur. Los picos más notables en la zona son: Las tres Vírgenes en la Sierra de Mulegé con una altura de 2054 metros, La Giganta con 1730 metros y el pico de Santa María con una elevación de 1433 metros, situado al oriente de las tres vírgenes.*

*Las Serranías forman una barrera a todo lo largo de la península que ocasiona dos climas diferentes en sus dos vertientes.*

#### 4.2. INTRODUCCION

*En la zona de San Juan de la Costa únicamente existen pequeños arroyos, que se forman ocasionalmente de lluvias torrenciales que se registran en los meses de julio a octubre: estas corrientes de poca duración y de nulos aprovechamientos, ya que parte de esa agua es absorbida (pre-infiltrada por suelos permeables) (areniscas), otra evaporada y la mayor cantidad va a dar al mar.*

*Derivados de la precipitación se forman corrientes que se inician como consecuentes en la parte alta de la sierra, al descender se convierten la mayoría en obsecuentes, fluyendo en dirección opuesta al rumbo del echado de la capa.*

*El drenaje, se constituye en su mayoría por sistemas de corrientes patrones, dendríticas, provocadas por la posición casi horizontal (2° a 3° de inclinación) de la mayoría de las capas.*

*Todos los arroyos principales que existen en el área son del tipo intermitente, encontrándose en una etapa de madurez avanzada.*

#### 4.2.1. HIDROGRAFIA

*Las corrientes en Baja California son de tipo intermitente donde solamente en temporadas de lluvias se forman, pero este drenaje tiene gran poder erosivo, ya que es grande la diferencia entre la cima y el valle, formándose profundos cañones, dejando al descubierto estructuras de interés para un mejor conocimiento del yacimiento, en cuanto a su formación.*

*La hidrografía en la zona se encuentra definida por tres arroyos principales los cuales se describen a continuación en orden de su importancia:*

a) ARROYO DE LAS TARABILLAS. Cruza el yacimiento de este oeste; hacia la parte norte del (plano No. 1)

*En la porción occidental se ensancha y se angosta en la parte oriental de la zona de interés. Además este arroyo se ramifica, dando como resultado un drenaje anastomosado, típico de zonas áridas formando cañones ciegos.*

b) ARROYO EL JUNCO. Pertenece a la zona de mayor interés ya que en esta se encuentran las minas de mayor producción de fosfatos, como son: La mesa de Junco, mesa la Crucanita (plano No. 1). Además, la zona que atraviesa este arroyo es la más afectada por los diferentes fallamientos y fracturamientos, siguiendo el curso del

arroyo se pueden observar en cortes, el buzamiento de las fallas.

c) ARROYO SAN JUAN DE ARRIBA. Este arroyo atraviesa la -  
porción suroeste del yacimiento, por medio de el (siguiendo su curso)  
se puede apreciar un corte transversal, el buzamiento de la falla poto  
sí, que presenta un salto de 200 metros, (plano No. 1).

*III*      *GEOLOGIA LOCAL*

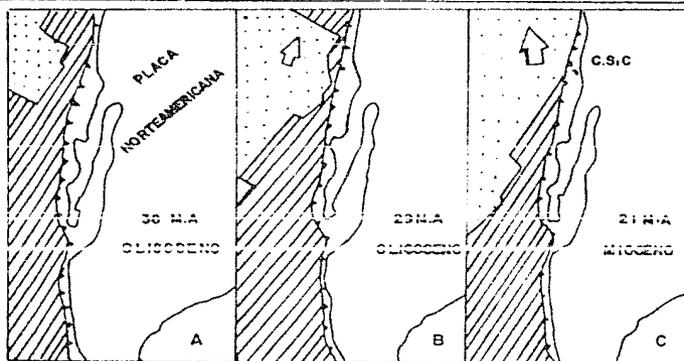
### III.1. RELACION CON LA GEOLOGIA REGIONAL

1. La península de Baja California, que constituye el rasgo más sobresaliente del noroeste de México, forma una unidad angosta y alargada con orientación NW-SE la cual se separó del macizo continental mediante un complejo de fallas que dió lugar a la formación del Golfo de California. (figura 5).

En la parte sur de California, E.U.A., la zona está fracturada hacia el norte y el noroeste por la falla de San Andrés y está cubierta a lo largo de la costa occidental del sur de California en la península de Baja California por sedimentos Post-Batolíticos que conforman los sedimentos de la Cuenca de Vizcaíno y Purísima Iray. Las rocas más antiguas que se conocen en el sur de la península son rocas metamórficas y sedimentarias, cuya edad varía del Cenozoico al Terciario respectivamente. (figura 5a).

El complejo llamado batolito de Baja California es responsable de las características morfológicas actuales y ha jugado un papel muy importante a través de la historia tectónica de la misma (MINA 1957). Esta geoestructura se extiende desde Canadá hasta el extremo sur de Baja California.

En la margen occidental de este elemento se formó una gran depresión de forma alargada y topografía irregular que es conocida como "SINCLINAL CALIFORNIANO".



### EXPLICACION

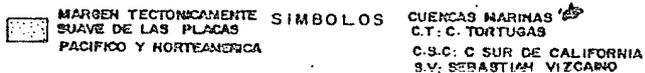
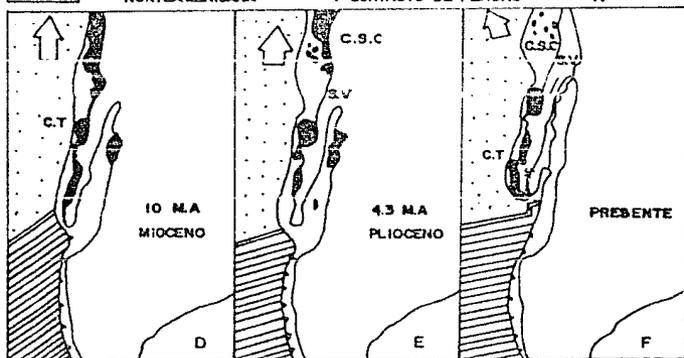
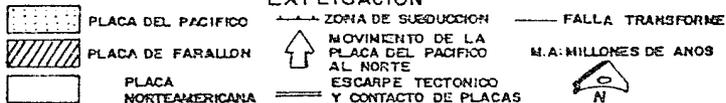
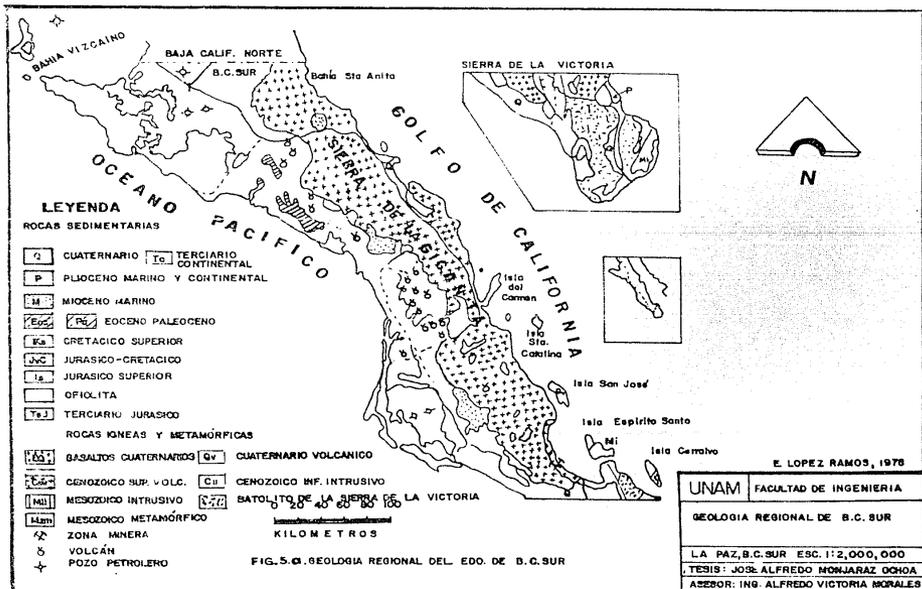


FIG.5 . EVOLUCION TECTONICA ESQUEMATICA DE LAS PLACAS DEL PACIFICO, FARALLON Y NORTEAMERICANA por M.C. Blake et.al (1978)



### III.2. GEOMORFOLOGIA

*El modelado del relieve ha sido influido por el clima desértico que ha prevalecido en ésta región durante los últimos millones de años las transgresiones y regresiones marinas que se han sucedido y los eventos volcánicos, fallamiento y fracturamiento de la corteza, han determinado la actual arquitectura del paisaje.*

*Las prominencias topográficas que destacan al occidente de la zona y que forman parte de la sierra de la Giganta, son el resultado de la acumulación de materiales volcánicos de tipo calco-alcálido de edad Mioceño Superior por (Heim, Arnold 1922) y pertenecen a la Formación Comondú. Estos materiales fluyeron hacia la superficie a través de fisuras o en algunos casos por medio de violentas explosiones y en forma de lavas muy viscosas, por lo cual no cubrieron uniformemente toda la región, sino forman lentes locales de aglomerados que se intercalan con areniscas volcánicas y se interestrifican con tobos. Estas rocas fueron cubiertas por coladas de lavas andesíticas o basálticas de edad Plio-Cuaternarias y de gran viscosidad, lo que explica el relieve en forma de mesetas que coronan, en ciertos tramos, a la sierra.*

*Geomorfológicamente destacan, al oriente las mesetas o mesas erosionales que se presentan en el contacto de las Formaciones San Isidro y Monterrey, que son el resultado de la presencia de una costra de coquina densa y compacta, que funciona como una cubierta resistente a la erosión, protegiendo a los sedimentos marinos terciarios - - -*

*constituídos por areniscas y lutitas que se caracterizan por su baja resistencia al intemperismo.*

*Dentro de los rasgos del relieve de segundo orden, el Ing. Escandón (1977), considera que el área de estudio se localiza dentro de una zona de montañas en bloques, con lo que está de acuerdo, puesto que se considera que la corteza fué rota en bloques, dando como resultado montañas en bloques (Lobeck, 1944 pág. 7) todo esto se puede observar en la sección de barreno a barreno. (plano - No. 2).*

*Entre los rasgos de tercer orden se presentan principalmente los producidos por las corrientes; es decir las formas erosionales que dan lugar a los valles; destacan también de las formas residuales que en éste caso determinan la arquitectura, montañas y por último, las formas depositacionales están representadas por los deltas.*

*Las formas producidas por el viento son principalmente del tipo eólico como las excavaciones que se desarrollan en las paredes expuestas de arenisca. Estas formas pueden observarse muy claramente en la arenisca San Juan, Unidad de la Formación Comondú que presenta erosión sobre sus planos en forma de enrejado, provocando posiblemente por la unión de varios huecos o cavernas muy pequeñas.*

*Se puede considerar que el área se encuentra, dentro del*

*ciclo geomorfológico para climas áridos, en una etapa de juventud -  
tardía basándose para ello en las siguientes características:*

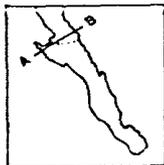
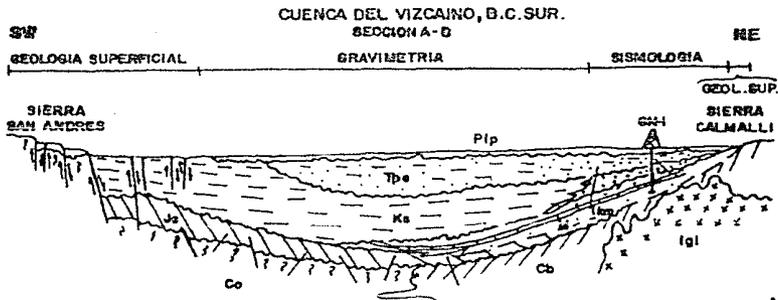
- a) Su drenaje no está totalmente integrado*
- b) En algunas mesetas el drenaje es interno*
- c) Sobre ellas existen depósitos producidos por el viento, y*
- d) Todavía persiste gran parte de su superficie inicial.*

### III.3. ESTRATIGRAFIA

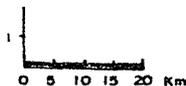
#### 3.1. INTRODUCCION

*El mineral de fosforita de interés económico está contenido dentro de la Formación Monterrey, que se encuentra, dentro de la secuencia de rocas que le dan cuerpo a la cuenca Purísima Iray y probablemente se extienda hasta la Cuenca de San Sebastian Vizcaño - de Guerrero Negro y San Juan de la Costa, al NW de la ciudad de La Paz. (figura 6), secciones esquemáticas de las Cuencas del Vizcaño y Iray-Magdalena en donde se observa el comportamiento de las capas del Terciario Mioceno Marino, este comportamiento en la zona de interés, se observa en el plano No. 2.*

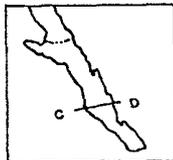
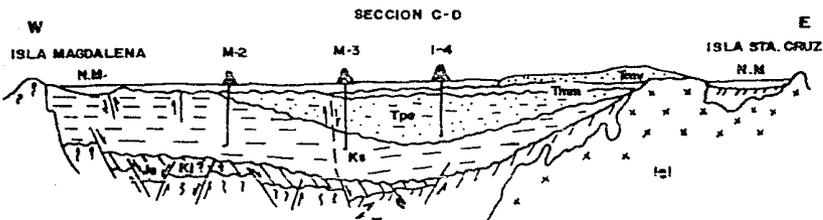
*En el área donde se localiza el yacimiento de San Juan de la Costa existen las siguientes formaciones: Formación Tepetate, San Isidro, Monterrey y Comondú.*



COMPLEJO OFIOLITICO	Co
COMPLEJO BASAL	Cb
JURASICO SUPERIOR	Ja
CRETACICO INFERIOR	Kl
CRETACICO MEDIO	Km
CRETACICO SUPERIOR	Ks
TERCIARIO PAL-EOC	Tpe
PLIO-PLEISTOCENO	Plp



**CUENCA DE IRAY MAGDALENA, B.C. SUR**



COMPLEJO OFIOLITICO
COMPLEJO BASAL
JURASICO SUPERIOR
CRETACICO INFERIOR
CRETACICO SUPERIOR

Co	TERCIARIO PAL-EOC	Tpe
Cb	TERCIARIO MIOCENO MARSO	Tm
Ja	TERCIARIO MIOCENO VOLCANICO	Tmv
Kl	PLIO-PLEISTOCENO	Plp
Ks	IGNEO INTRUSIVO	Igl

FIG. G. SECCIONES ESQUEMATICA DE LAS CUENCAS DEL VIZCAINO Y IRAY MAGDALENA EN B.C. SUR



## A. FORMACION TEPETATE

i) Definición: La Formación Tepetate representa una sedimentación marina, producto de la erosión de las tierras emergidas que existían posiblemente en forma de archipiélago al poniente de la Costa actual, así como de la tierra emergida formada por el batolito granítico de la región del Cabo.

Por otra parte, una importante cantidad de sedimentos pudieron ser acarreados por las corrientes marinas que atravesaban de norte a sur, a lo largo de las Cuencas de Vizcuña y de Purísima. Esta formación fue depositada en mares de poca profundidad y localmente en condiciones deltaicas. La fauna tiene características de depósito nerítico y ocasionalmente costero. Esto explica la presencia de la arenisca fosfatada.

De acuerdo a lo asentado por F. Mina, (op. cit) la Formación Tepetate queda situada estratigráficamente en el Eoceno Medio e Inferior.

Como localidades tipo pueden considerarse el arroyo Colorado, cerca del rancho Tepetate, mencionado por A. Heim y el Arroyo de Liebres, donde se encuentra la sección que fué descrita por F. Mina (op. cit).

ii) Distribución: La Formación Tepetate, con más de 1300 m, -

de espesor expuesto, aflora en el área del rancho de Santa Rita -- (km 157 de la carretera La Paz Purfísima) hasta el arroyo del Conejo (km 89 de la misma carretera), a 72 km al sureste del rancho de Santa Rita con una anchura media de 13 km limitada al sur poniente por formaciones de edad plioleistocénica y al noreste por formaciones de edad miocénica (Las formaciones aflorantes como: F. Comondú (Tmsc); F: San Isidro (Tmmsi); F: Monterrey (Tmim).

Estos sedimentos de la Formación Tepetate no afloran en la zona de interés (San Juan de la Costa); pero posiblemente estén constituidos por secuencias de areniscas de grano fino; ya que se localizan en la zona de Tembabiche cercana a la zona de interés (al -- NW). El barreno 78 la perforó, esta unidad la cual se calcula un espesor de 1500 metros aproximadamente, y se ha definido una edad Eoceno.

iii) Ambiente de Depósito: Esta formación se depositó en mares someros, posiblemente en condiciones deltáicas, en la zona de interés tuvo un ambiente similar.

**B. FORMACION MONTERREY. Mioceno Inferior (Tmim). Darton - (1921).**

i) Definición: Debido a su similitud con "Monterey Formation" de California, Darton en 1921 la llama "Monterey Beds". Heim (1922, pag. 538) por la misma situación la eleva a rango de formación basándose en una sección sobre el arroyo la Purísima a la que la nombra La Ventana, Lozano (1975) supone un error de construcción y propone utilizar el nombre en español, o sea formación Monterrey como se usará en este trabajo, porque sería incorrecto llamarla Monterey, ya que en la lengua española el nombre correcto es Monterrey. Como se observa en la definición el López Ramos (1978).

ii) Distribución: Aflora en la cuenca Purísima Iray en diversas localidades, también ha sido reconocida en la parte oriental de la zona de interés en la U. de San Juan de la Costa, además ha sido reconocida en las inmediaciones del rancho San José de la Costa (24°34'N - 110°40'W) y en la zona de Tembabiche (25°16'N-110°58'W). En el arroyo de la Purísima se observaron secciones parciales, de la unidad.

En las columnas estratigráficas 40, 196, 197, 198, 200, 201 se describen las capas más importantes que constituyen ésta formación, así como las capas fosfatadas.

Descripción de las principales capas que constituyen esta formación.

iii) Litología y espesores: Darton (1921), en Lozano (1975, pag. 202) en el arroyo San Gregorio, la describe como una unidad constituida por areniscas tobáceas y lutitas arenosas con abundantes escamas de peces, así como capas de diatomitos y lentes de tobos vítreas; el espesor calculado es de 170 metros aproximadamente. Heim (1922, - pag. 539) dice no haber medido el espesor, pero lo supone superior a los 50 metros. Beal (1929, pag. 57) en el arroyo La Purísima mide 109 metros de lutitas silicificadas que intemperizan a un color blanquecino y lutitas silicificadas verdes (Alatorre, en 1977), en la Figura 7 se describen las diferentes capas fosfatadas, así como espesores promedio y leyes promedio, para una mayor explicación de la cuidud de las capas descritas como se está trabajando en el yacimiento.

Reyes y Rodríguez (1955), en Lozano (1975, pag. 203), la dividen en dos miembros; el Inferior aflorando en el arroyo Guadalupe, - constituido por lutitas bastantes plegadas y falladas; El Superior -- aflora en el arroyo San Hilario en discordancia de 3° a 6° sobre el - Inferior y son lutitas silicificadas de color negro y gris con fractura concoldea, escamas de peces, material orgánico; estos autores suponen que el espesor varía de 60 a 110 metros.

Mina (1957), también divide en 2 miembros esta formación; el - Inferior constituido por 70 metros de lutitas arenosas de color verde olivo, con intercalaciones de limolitas de color amarillo y areniscas - de grano fino de cuarzo de color verde o pardo y conglomeráticas - en su base. El Miembro Superior con 30 metros de espesor constituido de lutitas silicificadas color negro con intercalaciones de diato

mitas hasta de 1.5 metros de espesor. En el subsuelo de los pozos de Pemex se calcularon los siguientes espesores:

P O Z O		E S P E S O R	
Purísima	1	145	m
Purísima	2	210	m
Iray	1	20	m
Iray	2	85	m

E. López Ramos -  
(1978)

Dadas sus características litológicas Alatorre (op cit) propone - dividir en tres miembros a la Formación Monterrey, en la siguiente - forma:

Miembro A. Comprende la base de la Formación (conglomerado - discordante sobre la Formación Tepetate), hasta la base de una capa de calcilitita (lutita calcárea) conocida con el nombre de Lajas de - Palo Verde, por ser el cerro de Palo Verde donde se observa más -- claramente. Este miembro está constituido por lutitas y limolitas tobáceas sumamente delgadas de color verde claro, interestratificadas con delgadas capas de yeso con microfauna mal preservada (no identificable) y en ocasiones areniscas arcillosas del mismo color. En el - arroyo San Hilario afloran también 2 capas de diatomita con espeso-- res de 0.30 y 1 metros.

Miembro B. Comprende desde la capa de calcilitita hasta la -

base de la capa índice (primera capa fosfatada) constituida por lutitas -- ligeramente tobáceas de color verde. (que en algunos horizontes presentan abundantes pelecípodos), interestratificadas con biomicritas arenosas en capas delgadas; la cima está formada por lutitas negras ffsiles con -- abundantes lentes fosfatadas e intercalaciones muy delgadas de diatomi-- tas.

Miembro C. Este es el más importante desde el punto de vista económico por estar contenido en él las dos capas de fosforita. Abarca de -- la base de la capa índice al conglomerado que constituye el contacto entre esta formación y la suprayacente San Isidro.

La litología de este miembro está constituida por lutitas de color -- gris negro que intemperizan a crema, ligeramente silicificados con restos de microfaua mal conservada, las lutitas muestran estratificación delgada con abundantes fracturas transversales rellenas de calcita y algunas veces de pirita. En su base existen dos horizontes de fosforitas, de los -- cuales el superior se acuña para desaparecer al NW del cerro Colorado; -- alcanzan espesores máximos en afloramiento de 1.70 metros. No obstante algunos pozos cortaron espesores mayores de 3 metros. Se observó tam-- bién en el cerro Palo Verde un horizonte de 4 metros, de diatomita. Así mismo en toda el área al NW de la ciudad de la Paz abundantes lentes -- con espesores variables de roca fosfórica de 33 a 99 metros.

iiii) Ambiente Sedimentario: Heim (1922) considera que es un depó-- sito de aguas oceánicas frías (sic). Rodríguez (1955) opina de un depósi--

to desarrollado en mares someros, aunque el último autor considera que esta idea no coincide con la litología mencionada. Analizando la microfauna presentada, constituida casi en su totalidad por foraminíferos bentónicos y considerando además la estratificación delgada que se observa en toda la columna se puede concluir que el depósito ocurrió en mares someros -- con escaso aporte de terrígenos a la cuenca así como material piroclástico que también contiene esta unidad. La circulación de corrientes era -- restringida y se alternaba en frías y templadas, esto último es evidente -- por la presencia de diatomitas y biomicritas dentro de un mismo miembro de esta unidad se consideró un sistema de corrientes ascendentes ricas -- en fosfatos, que precipitaron este mineral en condiciones ligeramente reductoras debido a procesos físico-químicos.

En la zona de interés, esta formación se encuentra descrita en los -- barrenos que se perforaron en esta zona. Además se puede decir que es -- está constituida por alternancia de arenisca de grano fino a medio, con -- lutitas; con intercalaciones entre ellas. Además las capas de arenisca con contenido de fósforo que se observa en la Figura 7.



### C. FORMACION SAN ISIDRO

Heim (1922, pag. 539), define a esta formación tomando como localidad tipo una sección sobre el arroyo Cadesomo a 3.6 kilómetros, al NW - de la Purísima.

i) Distribución: Se observa a lo largo del área de San Hilario principalmente en su margen oriental. Beal (1948, pag. 56), menciona también afloramientos en el flanco poniente de las sierras entre San Ignacio y el arroyo de la Purísima.

ii) Litología y Espesores: La sección tipo de Heim (1922, pag. 54), está formada por 200 metros o más de areniscas verdes (areniscas glauconíticas) parcialmente cubiertas por conglomerados del cuaternario. Beal (1948, pag. 58), en el flanco poniente del cerro Colorado entre los arroyos Colorado y San Hilario midió una sección de 150 metros de espesor, a partir de la cual se distinguieron los siguientes miembros:

Miembro Inferior Lutítico. Su mejor afloramiento existe en el arroyo Colorado formado por 90 metros aproximadamente, de arcillas y lutitas - interestratificadas con lutitas diatomáceas y calizas impuras blancas muy resistentes a la erosión.

Miembro Superior Arenoso. Areniscas finas de color pardo en la base cambiando su coloración hacia la cima a azules y verdes, con horizontes de caliza en la parte superior (?). Este mismo autor describe 100

metros de areniscas pardas y amarillas muy compacta en la base y delez  
nables en la cima.

En la zona de interés, esta formación está constituida por capas de areniscas de grano fino a medio, aún areniscas verdes (arenisca glauconí-  
tica), que en su base está constituida por una capa de coquina, que vi  
ne siendo el contacto entre ambas formaciones. Además de su cima, cons-  
tituida por un aglomerado (aglomerado San Juan); que indica el contacto  
entre la Formación San Isidro y la Formación Comundú.

iii) Ambiente de Depósito. Se observa prácticamente en toda la -  
unidad constituida por alternancia de arenisca de grano medio a fino, -  
además por areniscas glauconíticas (areniscas verdes). Con un espesor -  
aproximado de 145 metros. Por la uniformidad de los granos que consti-  
tuyen las capas de esta formación, se puede decir que se depositó en un  
ambiente de mares someros; nerítico de acuerdo a los fósiles encontrados  
en esta formación.

D. FORMACION COMONDU. Heim, Arnold, 1922. Del Mioceno Superior-Plioceno Inferior.

i) Descripción general. Heim considera a la siguiente formación - que yace en discondancia angular sobre la Formación San Isidro (aglomerado). El nombre Comondú es tomado del gran poblado el OASIS, el cual está situado en el fondo del valle profunda y angosto, las paredes del - cual están formadas de areniscas pardas y conglomerados. Estas capas es tán casi horizontales y parecen ser las mismas que cubren a la Formación San Isidro de la Purísima. En Comondú estas areniscas y conglomerados - son coronados por lava basáltica de aparentemente del mismo carácter y - de edad de aquellos de la Purísima. Existe duda respecto a la extensión de las capas de la Formación Comondú hacia la región de la Purísima, es dado con reserva, ya que no ha sido probado con certeza.

Hacia el interior de la península en el valle Codegomo, así como en el distrito de Comondú, las areniscas gradúan a conglomerados formados principalmente por fragmentos de rocas basálticas.

Los altos muros de la montaña de la Sierra de la Giganta, en el par-teaguas entre Comondú y Loreto, constituidos de brechas basáltica. Indu-dablemente los conglomerados y areniscas provienen del Este y Noroeste, donde ahora se encuentra el golfo de California. Esta idea fue sugerida - primeramente por Gabb, Wilson y Rocha (1957) en su columna estratigrá-fica de los alrededores de Santa Rosalía, considera "500 metros, aproxima-damente de corrientes andesíticas y basálticas, tobas, brechas, aglomera-dos, conglomerados volcánicos y areniscas tufáceas; pasan en forma de -

cuña a sedimentos terrestres, principalmente arenisca, hacia el centro de la península. A todo esto le denominaron rocas volcánicas Comondú. Lozano (1975) menciona haber observado a través de la carretera que une a las poblaciones de Villa Insurgentes y Liguí, series volcánicas, aglomerados, tobas y brechas bandeadas. Los constituyentes de los aglomerados son mayores de 20 cm.

Por la zona que se encuentra, al NW de la Cd. de La Paz, se observan pequeños afloramientos de la parte basal, localizados en las partes - provenientes y constituídos por tobas arenosas de color verde claro a rosado. Sobre la carretera La Paz-Pichilingue, existen varios afloramientos constituídos por tobas, conglomerados y aglomerados; los cuales según - las descripciones de los autores antes mencionados parecen corresponder a la porción media superior de la formación.

ii) Espesor. Este aumenta rápidamente hacia el interior de la península. En la cabeza sinclinal de la Purísima se midieron 65 metros, en el - Pilón de la Purísima 150 metros, al sur de Ojo de Agua del arroyo Cade-gomo se han estimado cerca de 300 metros, en la parte occidental del yacimiento de San Juan de la Costa se han calculado alrededor de 235 metros aproximadamente.

El espesor total de las capas no plegadas de la montaña de la sierra de la Giganta es aún más importante incluyendo la brecha basáltica.

F. Mina U. (op cit), dividió a la Formación Comondú en dos unidades, cada una de las cuales tiene una distribución bien definida, "La pri

*mera y de mayor importancia, dado el volúmen de los sedimentos y rocas que entran en su composición es aquella formada por rocas piroclásticas y volcánicas, que forma el espinazo de la sierra de San Borja y de la Giganta. Esta unidad está compuesta por la acumulación de más de 1000 metros de espesor de un conjunto de rocas lávicas y piroclásticas de magmas basálticos, andesíticos y riolíticos, así como por aglomerados procedentes de estos magmas.*

*Junto con las anteriores rocas se pueden observar además conglomerados lenticulares y brechas de talud cubiertos por rocas ígneas. La primera unidad tiene una variación lateral, al poniente, hasta convertirse en una segunda unidad con características litológicas y sedimentológicas bien marcadas. Se compone en forma predominante por conglomerados, areniscas y algunas argilitas; estas últimas probablemente fueron depositadas en aguas salobres, lagunares o aluviales. Presentan por lo general buena estratificación; el espesor máximo es posible que llegue a los 2000 metros esto no sucede en la zona de interés probablemente se encuentren erosionadas (el U. de San Juan de la Costa); sin embargo, es sumamente difícil calcular su espesor por la cubierta de lavas cuaternarias que no permiten conocer y seguir la unidad hacia el oriente.*

*Lo anterior es la definición admitida en nuestro país. La posición estratigráfica de la Formación Comondú se determina sólo por sus relaciones dentro de la columna estratigráfica local, ya que carece de fósiles.*

*Esta unidad descansa aparentemente en discordancia sobre la Formación San Isidro en el área al NW de la Cd. de La Paz (U. San Juan de -*

la Costa) que se encuentra cubierta en forma discordante por la Formación Salada del Plioceno (esta formación no aflora en San Juan de la Costa) en la zona al NW de La Paz y en Santa Rosalía, en Baja California - Sur, se considera que la Formación Comandú tiene una edad del Mioceno Superior. De acuerdo a su posición estratigráfica, ya que esta formación carece de fósiles.

En la tabla 1 se puede observar la correlación de las formaciones - existentes en el estado de Baja California Sur.

En la Fig. 7.a. se observa la correlación de las diferentes formaciones existentes en el estado de Baja California Sur.

ESCALA DEL TIEMPO			SAN JUAN DE LA COSTA, B.C.S	SAN HILARIO, B.C.S R. MONTVOYA 1979	CUENCA PURISIMA IRAY F. MINA 1958	CUENCA PURISIMA IRAY BEAL-HEIM 1922	CUENCA DEL VICCAINO F. MINA 1959	
ERA	SIST.	SERIE						
CENOZOICO	TERCIARIO	RECIENTE	ALUVION	ALUVION	TERRAZAS	REC. T. COAHUILTEPEC	TERRAZAS	
		FLEISTOCENO 2 1/2 m.a	<del>BASELITOS de 1900-2000 años</del>	TERRAZAS con los niveles X. 650 y 1.025	ALUVIALES	PLEIS.	ALUVIALES	
		PLIOCENO 12 m.a	COMODU	F. SALADA	FORMACION COMODU	FORMACION SALADA	F. SALADA	FORMACION ALMEJAS
			SUPERIOR	COMODU	FORMACION COMODU	FORMACION COMODU	F. ALMEJAS	FORMACION COMODU
			MEDIO	FORMACION SAN ISIDRO	F. SAN ISIDRO	F. SAN ISIDRO	F. SAN ISIDRO	F. SAN IGNACIO F.
		INFERIOR	FORMACION MONTERREY	FORMACION MONTERREY	FORMACION MONTERREY	F. SAN IGNACIO F. SAN IGNACIO F. SAN IGNACIO F. SAN IGNACIO F.	TORTUGA F. LA ZORRA F. S. F. ZORRA	
		OLIBOCENO 37 1/2 m.a	SUPERIOR			FORMACION TEPETATE		
			MEDIO	FORMACION TEPETATE	FORMACION TEPETATE	FORMACION TEPETATE	FORMACION TEPETATE	FORMACION BATEQUE
			INFERIOR			FORMACION TEPETATE		
			PALEOCENO 11 1/2 m.a	?				FORMACION MORENINA ?
MESOZOICO	CRETACICO 71 m.a	SUPERIOR			FORMACION VALLE	FORMACION ROSARIO	FORMACION VALLE	
		MEDIO		FORMACION VALLE				
		INFERIOR		?		F. SAN FDD. BATO LITO B.C.S.	?	
JURASICO 56 1/2 m.a							FORMACION SAN HIPOLITO	

NOTA: m.a = MILLONES DE AÑOS, SEGUN HOLMES, ARTHUR (1964) Y LA SOCIEDAD GEOLOGICA DE LONDRES, 1964

TABLA. I. CORRELACION ESTRATIGRAFICA DE LAS FORMACIONES EN BAJA CALIFORNIA SUR.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
CORRELACION ESTRATIGRAFICA DE LAS FORMACIONES EN B.C.SUR	
LA PAZ, B.C. SUR	
TESIS: JOSE ALFREDO MONJARAZ OCHOA	
ASESOR: ING. ALFREDO VICTORIA M.	



### III.4. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las Formaciones Monterrey y San Isidro presentan echados que varían de 1° a 2° de inclinación hacia el norte, por lo que para fines prácticos, pueden considerarse horizontales. De esto se deduce que no han existido fuerzas compresionales desde su depósito. Sin embargo existen tres sistemas de fallas debidas a levantamientos que sufrió la península de Baja California. Cabe destacar que existen echados de 15° en las cercanías de las fallas, como consecuencia del arrastre que un bloque ejerció sobre otro.

El primer sistema de fallas que es el más importante, (por la magnitud de sus saltos) presenta un rumbo hacia el noroeste. La mayor falla es la falla Potosí, localizada en la parte SE del área de interés, que presenta un echado de 70° SE y un salto de más de 200 m. Constituye el límite sur del área, pues a partir de ella aflora únicamente la Formación Comondú; - otras fallas importantes son: La del Barco y la de Salvatierra, las cuales forman un graben en la Mesa del Junco con un hundimiento máximo de 17 metros. La mayor parte de las fallas son de charneño y sus saltos varían entre 2-10 metros (plano No. 1)

El segundo sistema de fallas tiene un rumbo norte y se manifiesta - principalmente en los flancos de la sierra de la Giganta, al noroeste del - área de interés. No se ha encontrado ninguna falla de este sistema que - afecte a las capas fosfatadas (plano No. 1).

El tercer sistema de fallas presenta un rumbo irregular, pero con - tendencia al norte, parece limitar el área de volcanes que se presentan -

*en la desembocadura del arroyo del Junco (plano No. 1).*

*El fallamiento se efectuó durante el Plioceno-Reciente. La evidencia que se tiene para afirmar esto, es que las fallas afectan toda la columna estratigráfica, esto se puede observar en la sección que realizó de barreno a barreno (plano No. 2).*

*Los procesos a que fue sometida la zona de interés, dando como resultado el fuerte fracturamiento y fallamiento, se observan en la Figura 8.*

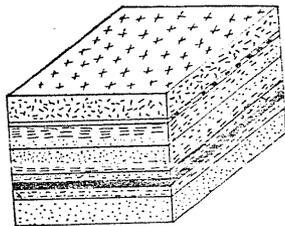


FIG. A : REPRESENTA UNA ZONA DE DEPOSITACION SIN HABER SUFRIDO DEFORMACION

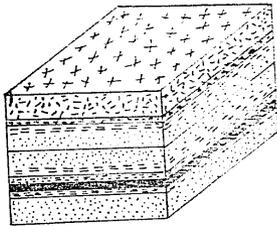


FIG. E: REPRESENTA LA ZONA DE DEPOSITACION AFECTADA POR FUERZAS COMPRESIONALES CON LEVANTAMIENTO.

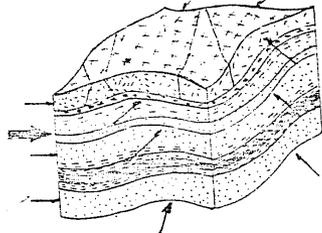


FIG. B. PROCESOS TECTONICO QUE DIERON ORIGEN AL FALLAMIENTO.

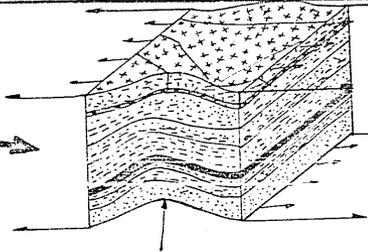


FIG. C. REPRESENTA LA ZONA DE DEPOSITACION AFECTADA POR FUERZAS DISTENSIONALES CON LEVANTAMIENTO.

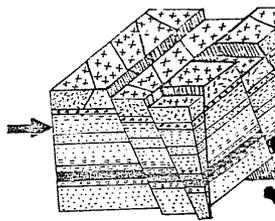


FIG. F. REPRESENTA UN AFALLAMIENTO POR UN AFALLAMIENTO.

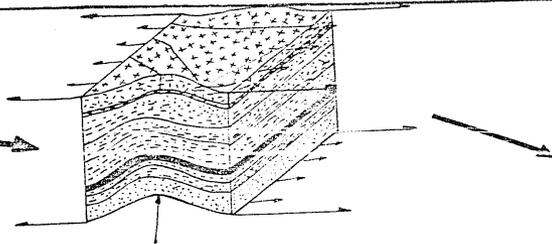


FIG. B. REPRESENTA LA ZONA DE DEPOSITACION AFECTADA POR FUERZAS DISTENSIONALES CON LEVANTAMIENTO.

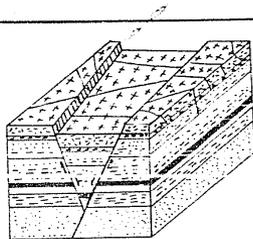


FIG. D. COMO RESULTADO DE LOS EFECTOS DE DISTENSION Y DE LEVANTAMIENTO ZONAS DE FALLAMIENTO DE CURA

PRESENTA LA ZONA DE POSITACION AFECTADA POR FUERZAS COMPRESIONALES CON LEVANTAMIENTO.

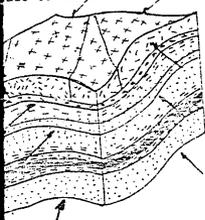
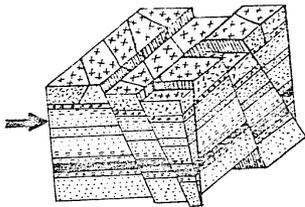


FIG. F. REPRESENTA UNA ZONA AFECTADA POR UN AFALLAMIENTO ESCALONADO.



TECTÓNICO QUE DIERON ORIGEN AL FALLAMIENTO.

LEYENDA:

— FRACTURAS  
 - - - PLANO DE FALLA  
 - - - CONTACTO LITOLÓGICO  
 - - - ESTRATIGRAFIA

CAPA DE VULCANOCLÁSTICOS  
 FORMACION SAN ISIDRO  
 CAPA INDICADORA  
 FORMACION TEPETATE

U N A M FACULTAD DE INGENIERIA

REPRESENTACION DIAGRAMAL Y POSIBLES FUERZAS CAUSANTES DEL FALLAMIENTO EN LA UNIDAD DE SAN JUAN DE LA COSTA.

TESIS PROFESIONAL: J. ALFREDO MONJARAZ O. LA PAZ B. C. SUR.

ASESOR: ING. ALFREDO VICTORIA MORALES

### III.5. PALEOGEOGRAFIA DEL MIOCENO INFERIOR

*El Mioceno Inferior se encuentra representado por la Formación Monterrey, la cual se definió en el capítulo de estratigrafía. Escandón - - (op cit) comparando las diferencias litológicas de la Formación Monterrey encontrada en San Hilario (al noroeste de la zona de interés) y en San Juan de la Costa propone evidencias que definen esta paleogeografía, del Mioceno Inferior. Estas se resumen a continuación: (Fig. 9).*

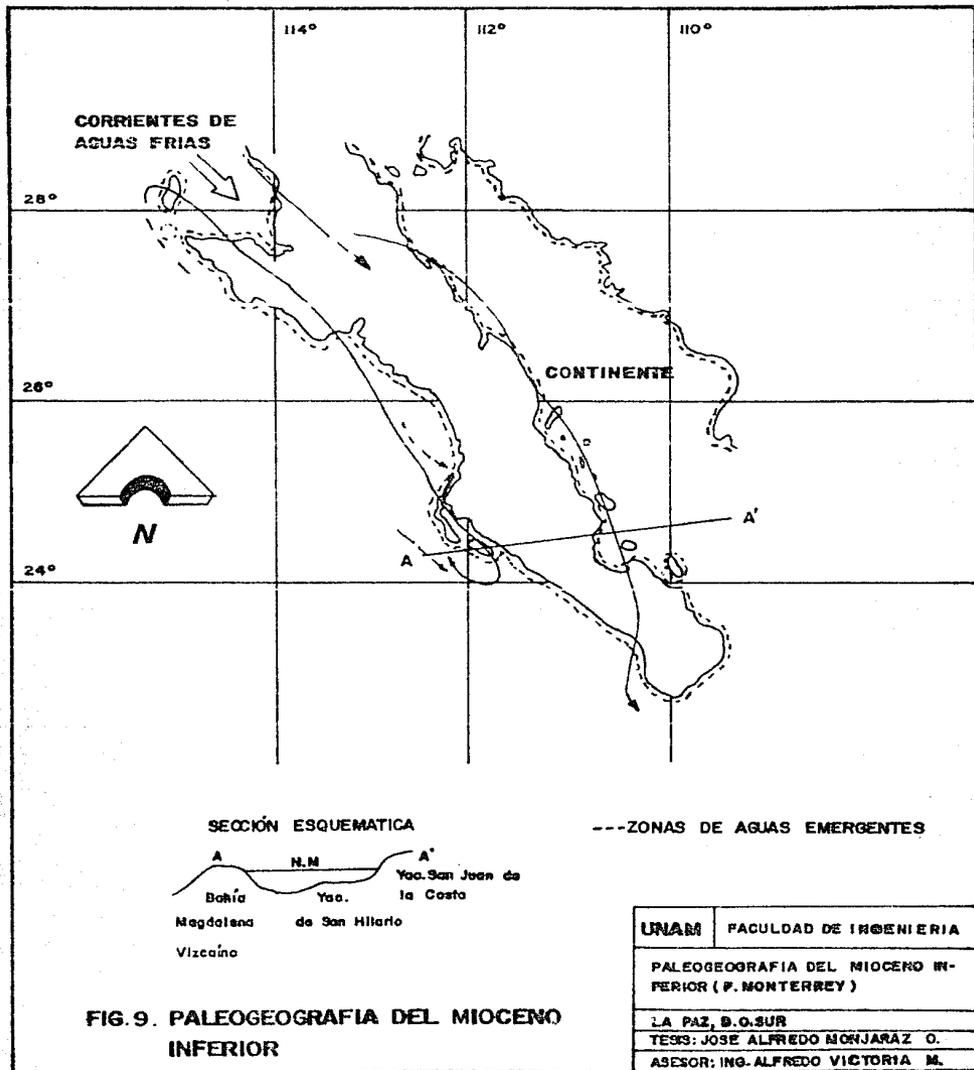
*A). El incremento de conglomerados de poniente a oriente indica una costa cercana, la cual es afirmativa por lo que se pudo observar esta evidencia en San Juan de la Costa.*

*B). El aumento de diatomitas de SE a NW que sugieren un aumento en la profundidad en esa dirección. Considerando la posición de la costa y la dirección de las corrientes, es muy probable que en el fondo marino haya tenido lomeríos orientados al NW, algunos de los cuales pudieron estar emergidos constituyendo cuencas separadas, pero con alguna comunicación entre ellos. La incipiente estratificación cruzada (se puede observar en la descripción del BNO. # 197) en la Formación Monterrey en la zona de interés, señala que la costa estuvo próxima.*

*Mientras que la ausencia en San Hilario y la presencia de fósiles - como Bulimina, radiolarios, etc., indican un ambiente de depósito batial. Esto puede explicar las diferencias entre las fosforitas de San Juan de la Costa y las de San Hilario. De acuerdo con esta teoría, las zonas --*

*favorables para encontrar fosfatos de buena calidad, y en favorables espesores, son las vecinas a la antigua costa continental, pues reúnen las siguientes condiciones requeridas para su depósito:*

- 1) Surgencia de aguas calientes provocadas por las corrientes --- frías provenientes del NW;*
- 2) Aporte de flúor en los productos piroclásticos lo que permite la precipitación del fósforo;*
- 3) Movimiento del oleaje y mareas que ocasionaron la formación de oolitos a partir de lodos fosfáticos;*
- 4) Poco aporte de sedimentos terrígenos.*



**FIG. 9. PALEOGEOGRAFIA DEL MIOCENO INFERIOR**

#### **IV. YACIMIENTOS MINERALES**

## A. DATOS GENERALES SOBRE FOSFORITAS

Definición y clasificación: La fosforita es una roca que contiene uno o más minerales fosfatados de calcio, que constituyen más del 50% de la roca que lo contiene.

El término comercial de fosforita, es aquella roca de la cual puede extraerse comercialmente, un concentrado mayor del 32% de  $P_2O_5$ .

Los fosfatos como rocas pueden clasificarse de diferentes maneras. De acuerdo con su origen, se clasifican en: Igneos, orgánicos y sedimentarios.

a) Origen igneo. El mineral portador principal es la apatita, que se encuentra en filones pegmáticos y generalmente diseminados en rocas igneas; es frecuente su asociación con magnetita, por lo que es llamado "fosfato magmatógeno". Este tipo de yacimiento es escaso y restringido, por lo que se consideran económicamente inexplorables, por no ser redituable su explotación.

Un ejemplo en México de este tipo de yacimiento es el del cerro del Mercado en el estado de Durango.

b) Origen orgánico. Se dividen en primarios y secundarios, dependiendo de la forma en que se verifique el depósito.

Primarios: Ciertos organismos, principalmente peces, crustáceos y

algunos braquiópodos; estos organismos utilizan el ácido fosfórico disuelto en el mar para construir sus conchas y esqueletos. Sus restos son acumulados en el fondo y forman depósitos de fosfatos de baja ley.

En las islas desérticas, donde la lluvia es escasa o prácticamente nula, existen acumulaciones de fosfato a partir del excremento de aves marinas y murciélagos. Estas concentraciones son ricas en material nitrogenado, por lo que son buscados y codiciados cuando las concentraciones son importantes. Ejemplos que se pueden citar en México, son las concentraciones existentes en las islas de la Baja California.

Secundarios: Los depósitos marinos adquieren enriquecimiento secundario mediante la disolución del fosfato original y su depósito original alrededor de núcleos; estos núcleos enriquecidos son cementados por calcita o arcilla, dependiendo del depósito. La lixiviación del cementante por medio de aguas superficiales deja los fosfatos menos solubles como depósito residual.

c) Origen sedimentario. Son conocidos en general como fosforitas; los tipos más comunes son areniscas y calizas que contienen al fosfato. De acuerdo con el ambiente de depósito, se clasifican en fosforitas de geosinclinal y de plataforma.

Fosforitas de Geosinclinal. Se forman en ambientes profundos y se depositan como consecuencia de corrientes oceánicas ascendentes, ricas en fosfatos; el factor de precipitación puede ser muy variado.

Como ejemplo de este tipo de yacimiento en México y en el mundo se pueden citar los siguientes: San Juan de la Costa en Baja California Sur (la zona de interés), Podolía, U.R.S.S., Florida, E.U.A.

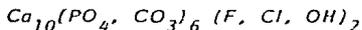
Fosforitas de Plataforma. Se forman en ambientes lacustres, pantanos o estuarios; su asociación con facies terrígenas carbonatadas indican un ambiente generador y otro acumulativo, unidos por un medio de transporte.

Ejemplos más significativos de yacimientos en el mundo de este tipo son los siguientes: Túnez, Marruecos (los más importantes por su extensión), parte de la península de la Florida.

Los yacimientos de origen orgánico se han separado de la clasificación sedimentaria a la cual pertenecen, para darle mayor énfasis a los "sedimentarios" de origen Geosinclinal, que son los más importantes por su extensión.

## A.1 ASOCIACIONES MINERALOGICAS DEL FOSFORO

Los estudios geoquímicos han revelado la existencia de un anión -- separado que forma parte esencial de la estructura de la apatita junto -- con el grupo del fosfato. Este anión suele consistir en Cl, F, OH ó CO<sub>3</sub> y cuya fórmula general sera:



y de acuerdo con lo cual se tendrá cloroapatitas, fluoroapatitas, hidróxi--loapatitas y apatitas carbonatadas.

La estructura de la apatita favorece una amplia variedad de sustituciones menores. Por ejemplo, cantidades pequeños de VO<sub>4</sub>, O<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>, ó CO<sub>3</sub> pueden sustituir a cantidades equivalentes de PO<sub>4</sub>. El reemplazo del flúor puede ser parcial o total por Cl ó OH; y cantidades menores de Mg, Mn, Sr, Pb, Na, U, Ce y Y, al igual que algunas tierras raras pueden sustituir al calcio.

La apatita 3Ca<sub>3</sub> (PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, CaF<sub>2</sub>, es el representante genuino y el -- más difundido de los minerales fosfatados. Se encuentra como mineral accesorio común en la mayoría de las rocas ígneas. En opinión de Huang -- (1968) es un mineral magnético tardío. Existen otros minerales fosfatados de presentación rara en los que se pueden citar los siguientes: monacita que es un fosfato de tierra raras (Ce, La, Na, Pr) PO<sub>4</sub>, y contiene entre 26 y 30% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; y la xenotima YPO<sub>4</sub>, que contiene entre 29% y -- 35% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Estos dos minerales son componentes secundarios de los

granitos y en particular de las pegmatitas graníticas. El fósforo forma, - en los granitos y en las pegmatitas de sienita nefelínica, varios fosfatos de litio, berilio, aluminio y manganeso. Por ejemplo; la berilonita, - -  $\text{Na Be PO}_4$ , la trifilita,  $\text{Li (Fe, Mn) PO}_4$ , y la ambligonita,  $\text{LiAl (F, OH) PO}_4$  esta última con alguna importancia como mena de litio, conteniendo fosfato que varía entre el 46% y 49% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

La forma más común del fosfato sedimentario es el COLOFANO - - (Roger, 1922) que generalmente es considerado como una variedad amorfa de la apatita puesto que en los rayos X produce el mismo efecto. Para Kerr (1965) el colofano debe de ser clasificado por separado como un mineraloide. Para Pettijohn (1975) el colofano, mas que un mineraloide, es el nombre bajo el cual se agrupan ciertas variedades, particularmente los fosfatos de calcio:

FLUOR-APATITA,	$\text{Ca}_{10}\text{F}_2 (\text{PO}_4)_6$
HIDROXIDO-APATITA,	$\text{Ca}_{10} (\text{OH})_2 (\text{PO}_4)_6$
CLOR-APATITA	$\text{Ca}_{10}\text{Cl}_2 (\text{PO}_4)_6$
OXI-APATITA	
(VOELCKENITA),	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6$
CARBONATO-APATITA,	$\text{Ca}_{10}\text{CO}_3 (\text{PO}_4)_6$

## A.2 TEORIAS SOBRE LA GENESIS DE LOS YACIMIENTOS DE FOSFORO

Existen numerosas teorías que pretenden explicar los procesos genéticos de estos yacimientos, los cuales se resumiran los aspectos más sobresalientes. Goldschmidt sugiere que las aguas profundas de los océanos están enriquecidas con fósforo. La actividad biológica de los organismos marinos, regula en gran parte las condiciones químicas de las aguas oceánicas. Así, el carbono, el nitrógeno y el fósforo, que se consideran elementos nutrientes, son extraídos de las soluciones existentes en los 100 metros superiores del océano, en donde penetra suficiente luz para la fotosíntesis; lo que se puede observar en la Figura 10. (Ciclo del fósforo).

El resultado de estos acontecimientos es que las aguas superficiales se empobrecen en cuanto a sus elementos nutrientes disueltos, mientras que las aguas profundas son enriquecidas, por tal motivo, aumenta el contenido de fosfatos disueltos. De lo anterior se deduce que el volúmen de material fosfatado diluido en las aguas del mar se incrementará conforme aumenta la profundidad. Pero la precipitación del fosfato de calcio en las profundidades del mar es improbable, debido a que se encuentra sujeto a temperaturas muy bajas, presión del  $\text{CO}_2$  y ambientes reducidos con un PH bajo; por lo tanto, para que el fosfato iónico sea precipitado, será necesario transportarlo hacia las regiones cálidas de la superficie, como en el caso de los yacimientos de Baja California Sur (San Juan de la Costa, San Hilario, Sto. Domingo y Pta. Abreojos). Algunos de estos aspectos se pueden observar en la Figura 11.



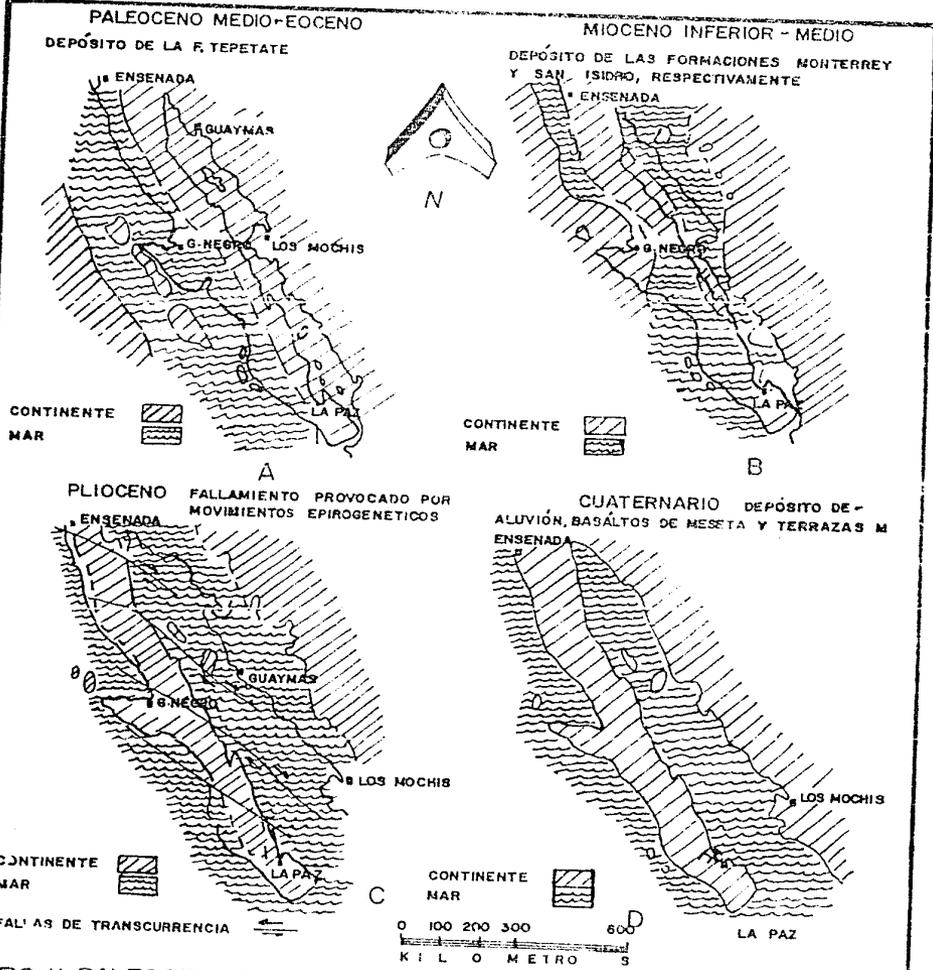


FIG. II PALEOGEOGRAFIA DEL PALEOCENO AL CUATERNARIO

POR G. GARCIA D. (1976), F. LOZANO (1975) Y E. LOPEZ RAMOS (1975)

En esto se basó Kasakov (1937) para relacionar el origen de los depósitos de fosforitas a corrientes marinas ascendentes de baja temperatura y explicar de que la mayoría de estos depósitos se localizan en la franja entre los 30° latitud norte y los 30° latitud sur, según se puede observar en la Figura 12.

Kasakov observó que los depósitos de fosforitas se localizan, generalmente, en el límite entre zonas de plataforma de aguas someras y los profundos taludes continentales. Asimismo dedujo que los sistemas de corrientes marinas profundas, originadas por el movimiento de rotación de la tierra, llevan una gran cantidad de nutrientes y al llegar a la base de la plataforma continental, se flexionan hacia arriba y siguen su camino ascendente en forma paralela al talud continental.

Llegando a la zona que se denomina capa de oxígeno mínimo, en el cual los perfiles verticales de  $O_2$  disuelto exhiben un valor mínimo.

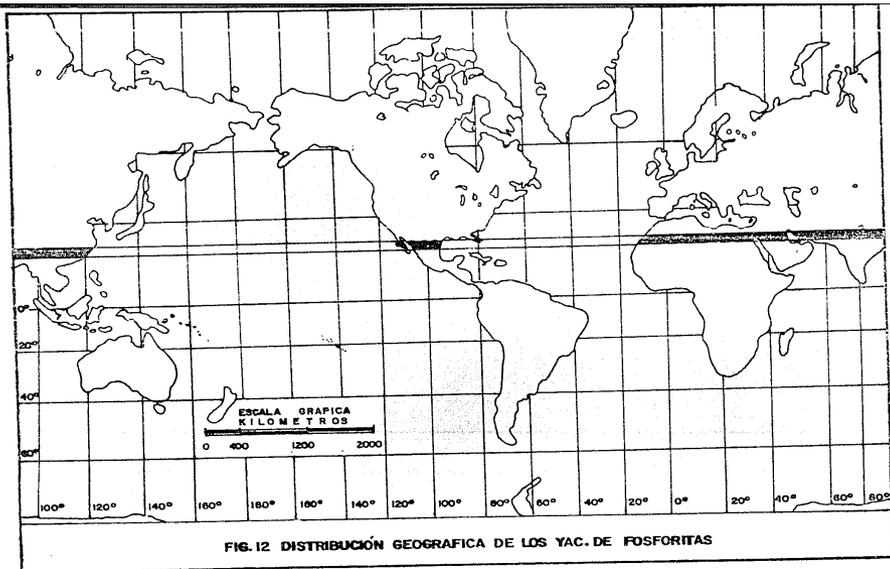
Fig. 13 Procesos que dieron origen al depósito de los Fosfatos en la zona de interés.

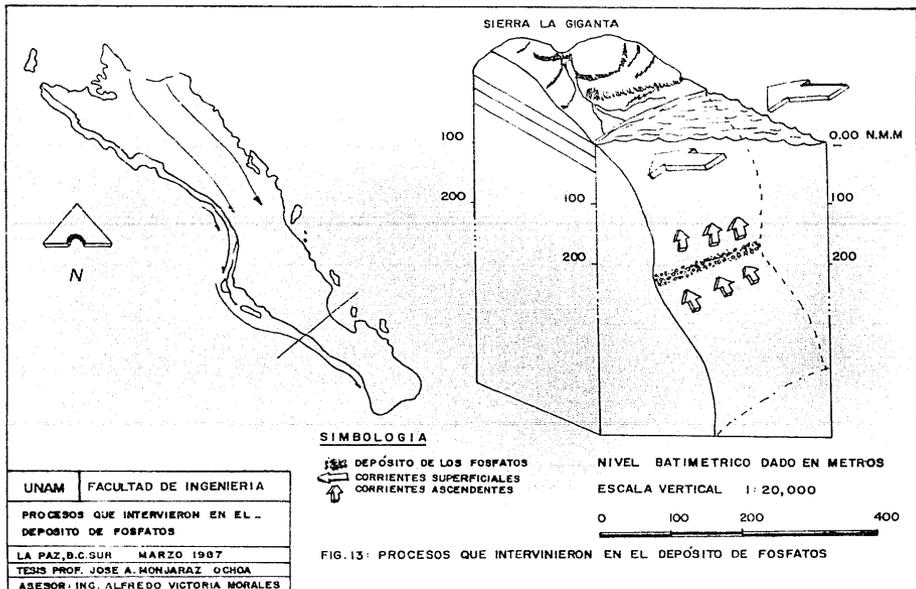
Kasakov limita la zona de  $O_2$  mínimo a profundidades entre los 50-200 metros, pero Dietz, Emery y Shepard en tesis de Gutiérrez Soto, sugieren que esta zona es mucho más amplia, posiblemente entre los 200 y 1500 metros de profundidad. La hipótesis de Kasakov, se puede apoyar con la Figura 13, en donde se encuentran limitadas la zona de precipitación de los fosfatos. Al ir ascendiendo las corrientes de agua fría, entrarán a la cálida superficie de  $O_2$  mínimo, cediendo el exceso de  $CO_2$  a

la atmósfera, encontrando zonas con amplios valores de desnitrógenización y un PH que varía de 7.4 a 7.9, apropiado para la precipitación de fosfatos.

Este material en forma de lodo fosfórico o de coloide es lanzado por medio de corrientes ascendentes; hasta la cima del talud, si al llegar a este punto se encuentra con una cuenca de acumulación cerrada, con circulación restringida de aguas como sería el caso de San Juan de la Costa, los lodos fosfóricos recubrirán granos de arena y se asentarán en el fondo de la cuenca (formando aloquímicos como los oolitos), donde estarán sujetos a una fértil lluvia de materia orgánica, dado que en esta zona la fauna es muy abundante, permitiendo que las aguas alcancen el grado de supersaturación en fosfatos. Estos restos de organismos contribuirán ampliamente a la saturación ya que al descomponerse liberan amoníaco que servirá de intermediario, dando lugar, al fosfato de amonio - que precipitará como fosfato de calcio, por reacción con el carbonato de calcio durante su depósito.

El material lanzado por la corriente ascendente hacia la cuenca cerrada traerá una cierta cantidad de fósforo diluido el cual será inmediatamente asimilado por el plancton. Esto significa que el fósforo estará sujeto a un filtrado biológico, y de esta forma se explica la abundancia de fosforitas peletoides en algunos yacimientos.





### A.3. YACIMIENTOS DE FOSFORITA EN MEXICO

Yacimiento del NE del estado de Zacatecas. El yacimiento del NE - del estado de Zacatecas es de origen sedimentaria marino y se encuentra en rocas del jurásico (Tithoniano-Kimeridgiano) perteneciente a la Formación La Caja, esta formación se divide en cuatro unidades: A, B, C y D - en orden ascendente. El depósito de fosforita se encuentra en la unidad "C", la cual está constituida de calizas fosfatadas, fosforitas con cementante silíceo, calizas arcillosas y calizas arcillo-fosfatadas, siendo las dos primeras las de mayor ley, con 14-16.2%; respectivamente y con un espesor promedio de 1.77 metros. Se calcula una reserva explotable de 50 millones de toneladas (Segura, 1976).

Existen otros yacimientos en los estados de Coahuila y Nuevo León se encuentran fosforitas derivadas del Guano, pero sus reservas no son grandes, utilizándose sólo para la elaboración de forrajes.

Yacimientos de San Francisco, Hidalgo. Se encuentran dentro de la caliza Cerro Ladrón del Cretácico Inferior con leyes de aproximadamente 28% de  $P_2O_5$ .

Esta zona fosfática aparece dentro de una gran óvula; ocupando un biotroma dentro de las facies Cerro Ladrón, por lo que su extensión es - limitada. Se cree que durante la formación de la Sierra Madre Oriental, - la zona fue intensamente plegada, fracturada y fallada. Así como afectada por actividad ígnea intrusiva e hidrotermalismo que originó el depósito de

fluorita morada en la caliza fosilífera y probablemente el yacimiento de -  
fosforita, eliminando por disolución los carbonatos de las calizas y disol--  
viendo en las fracturas (Leo Quintus Bosz, Roger Leo 1972) tomando de  
tesis Gutiérrez Soto. Se estimaron 516,800 toneladas de fosforita con una  
ley de 28.6% de  $P_2O_5$  y 2.88% de Flúor.

#### A.4. YACIMIENTOS DE FOSFORITA EN EL MUNDO

1. Estados Unidos de Norteamérica. Se considera el país más importante en producción de fosfatos en el mundo, aunque no el de mayor exportación debido a su gran consumo interno. Son tres las principales áreas productoras: Florida con 70% de su producción total; Phosphoria - con 20% y Tennessee con 10%.

a) En Florida los sedimentos fosfatados son de edad del Mioceno - Medio, están constituidos por arcillas y areniscas que contienen, grumos pellets, moldes de fósiles, fragmentos de huesos fosfatados y dientes de tiburón, coprolitos y oolitos, depositados en un ambiente de aguas someras sobre el zócalo continental.

El mineral fosfatado es la fluor-apatita carbonatada. Dentro de la Península de Florida se tienen diferentes zonas mineras:

- Carolina del Norte. Estos yacimientos se encuentran en el tramo de Punto River; son materiales fosfatados, retrabajados en parte, de edad Mioceno Medio, con una ley de 18% de  $P_2O_5$ .

- Carolina del Sur. Los depósitos se encuentran en Beaufort y Ridgeland, constituyen parte de la Formación Hawthorn del Mioceno, con una Ley que varía del 15% al 25% de  $P_2O_5$ .

- Centro Meridional de Florida. Estos depósitos se encuentran en -

la Formación Bone-Valley del Plioceno, pero los fosfatos se derivaron en gran parte por la erosión de la Formación Hawthorn del Mioceno, Su ley promedio es: 18% de  $P_2O_5$ .

Se calcula que las reservas de fosforitas en el estado de Florida pasan de los 5000 millones de toneladas. Dadas sus condiciones geológicas - se explotan a cielo abierto.

b) En los estados de Montana, Idaho, Wyoming, Utah y Colorado, - se encuentra parte de un importante conjunto sedimentario, constituido - por tres miembros; de abajo hacia arriba son: Park City, Sherdhorn y - Phosphoria\* de edad Pérmico y Mississípico.

Los fosforitas de estas áreas son duras y compactas, se encuentran en calizas y dolomías, contienen oolitos, pseudo-oolitos, gránulos, materia carbonatada con baja radioactividad. Contiene además cuarzo, limos, minerales arcillosos y feldespatos. Su ley promedio varía del 20% al 30% de  $P_2O_5$ ; su depósito es del tipo de plataforma.

Los tres miembros constituyen unos yacimientos de gran importancia por su extensión y sus reservas que se han calculado en 8000 millones de toneladas. En la tabla No. II se anotan algunos datos de la Formación Phosphoria.

Se practica la minería sobre todo a cielo abierto en grandes canchales, mediante voladuras.

T A B L A II  
ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO DE FOSFATOS

INSOLUBLE	I	II	III	IV	V
SiO <sub>2</sub>	1.82	6.69	3.05	36.65	15.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.30	....	....	1.20	5.19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26	0.61	0.64	....	1.40
MgO	0.22	0.33	0.57	0.50	0.78
CaO	50.97	46.03	48.58	29.43	42.40
Na <sub>2</sub> O	2.00	....	0.09	1.01	0.87
K <sub>2</sub> O	0.47	....	0.09	0.47	0.54
H <sub>2</sub> O -	0.48	0.79	....	17.14	0.27
H <sub>2</sub> O +	0.57	3.47	....	3.14	0.27
CO <sub>2</sub>	1.72	3.93	4.60	1.46	....
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	36.35	31.50	29.74	5.19	24.60
SO <sub>3</sub>	2.98	....	2.75	....	0.56
Cl	....	....	0.11	2.08	....
F	0.40	1.86	2.12	0.05	....
Orgánico	....	....	7.45	....	....
	99.04	97.35	100.79	98.34	92.24

LUGARES EN DONDE SE MUESTREO:

- I.- Montañas Crawford, Utah
- II.- Florida, Isla Pebble
- III.- Gafus, Túnez
- IV.- Formación Phosphoria, entre los estados de Idaho, Utah y Montana
- V.- Capa Humboldt, San Juan de la Costa, en Baja California Sur.

c) Venezuela. En este país se cuenta con fosforitas en dos distritos:

1) Orinoco y 2) Maracaibo-Falcón.

1) En el Orinoco se ha considerado como de poca importancia económica, por lo que no tienen datos precisos de esa región.

2) Maracaibo-Falcón. En esta región se tienen por orden de importancia, los depósitos Riecito y los de Lobatera.

- Riecito, Municipio de Jacura. Se encuentra ubicado en el estado de Falcón, extendiéndose además en los de Lara y Jaracuy. Esta región se encuentra entre el flanco septentrional del sistema Andino y el Mar Caribe.

El yacimiento se encuentra en la base de la Formación Riecito del Mioceno Medio, esta contenido en una marga arenosa, fosilífera cuyo color varía de gris a amarillo rojizo. Su textura es predominantemente brechoide con fragmentos angulosos de cuarzo en una matriz de colofano, lo que le da la dureza a la roca no presenta oolitos y su ley es del 30% de  $P_2O_5$ .

Se estima que tiene una reserva de 20 millones de toneladas. La explotación se realiza a cielo abierto tiene bajo contenido de carbonato de calcio, implica poco consumo de ácido sulfúrico para su transformación.

- Lobatera. Está situado en el localidad del mismo nombre, en el esta

do de Tachira, al SW del lago Maracaibo, en dirección con la frontera - con Colombia.

d) Perú - Sechura. Se localiza al norte de éste país, en el desierto de Sechura, entre la cadena andino y la costa.

La fosforita se encuentra en la Formación Zapayal del Mioceno, constituida por diatomita pizarrosa de color verde claro, intercalada con arenisca, diatomita blanca y calcita con lentes delgadas de fosforita; esta última contiene gránulos fosfóricos, abundantes dientes de raya, tiburón y huesos de mamíferos, acompañados de diatomita, sílice, yeso, halita y pequeñas cantidades de rutilo y materia carbonosa; su ley varía entre los 5% y 23% de PENTOXIDO DE FOSFORO ( $P_2O_5$ ), con un espesor máximo de 40 metros y a una profundidad de 56 metros.

El mineral se concentra por flotación a 31% de PENTOXIDO DE FOSFORO y por calcinación hasta el 34% de PENTOXIDO DE FOSFORO. Sus reservas son de 552 millones de toneladas con ley promedio del 14% de PENTOXIDO DE FOSFORO.

e) Marruecos. Son fosforitas de origen marino de Cretácico Superior-Eoceno, constituyen depósitos casi horizontal (como en el caso de San Juan de la Costa) contiene una alta ley, hasta 34.3% de  $P_2O_5$ .

El área se divide en tres sectores:

1. Alad-Abdum, donde se encuentra el yacimiento y la mina de Kuribya siendo este el de mayor importancia por su producción.

2. En Ganntur, al occidente, en dirección a Safi en la costa, donde se encuentran las minas de Yussufia y la de Ben-Buerrir de reciente explotación.

3. En Chichauna, Imintamit y Meskala al SW del sector anterior, de menor importancia y por lo tanto inexplorable.

El mineral se encuentra en margas interestratificadas con calizas del Eoceno. Se presenta en gránulos que miden de 0.1 a 2.0 mm en una matriz calcáreo-arcillosa, conteniendo además coprolitos y muy raramente - cuarzo, presentan un aspecto arenoso y deleznable.

El contenido de  $P_2O_5$  varía entre 29.75% a 34.33%. Muchos de los granos se componen de Fluorocolofanita con trazas de calcita, ocasionalmente Staffelita y en algunas localidades se encuentran restos de radiolarios, foraminíferos y, muy raramente diatomitas. Los coprolitos de hasta 1.5 cm de largo, alcanzan un contenido del 35% de  $P_2O_5$ .

En Kuribqa se explota a cielo abierto y obras subterráneas a una profundidad de 40 metros. Es la explotación de fosfatos más importante del mundo, se estima que en 1972 se produjo 12.3 millones de toneladas. Sus reservas se calculan en 500 millones de toneladas, de 35% de  $P_2O_5$ .

En Yussufia La mayor parte de la producción se obtiene mediante explotación subterránea en capas con una pendiente casi horizontal. Estas rocas tienen un contenido alto en materia orgánica.

Se estima que en 1972 su producción fue de 3.4 millones de toneladas. Sus reservas se calculan en 500 millones de toneladas con una ley del 32% de  $P_2O_5$ .

Ben-Guerfir se explotan las mismas Formaciones de Karibga y Yussufia, a cielo abierto. Sus reservas se calculan en 900 millones de toneladas con una ley del 29.7% de  $P_2O_5$ .

f) Argelia y Túnez. Sus fosfatos son de origen sedimentario marino y pertenecen a una misma cuenca. Su depositación es más desordenada que la de Marruecos lo que ocasiona una variedad en la composición de las formaciones que implica además una falta de continuidad en los horizontes.

El fosfato es de textura arenosa gris-pardo a veces casi negra - pseudo-oolítica con gránulos que varían de 0.05 a 0.5 mm. De edad Albiano Maestrichtiano y del Paleoceno-Eoceno. La depositación corresponde con facies marino-lagunar, con un contenido de 15.18% de ley de  $P_2O_5$  como promedio.

En Argelia la fosforita es de tipo pseudo-oolítica, interestratificada, con capas margosas y en forma de gránulos. Se calcula que el depó

sito tiene un contenido de aproximadamente 120 millones de toneladas con una ley de 28% de  $P_2O_5$  y 420 millones de toneladas con 24.7% a 26.5% de  $P_2O_5$ .

En Túnez los depósitos se dividen en diversos conjuntos, entre los cuales los principales están situados en la faja meridional, en el arco de Radeyef-Metlavi, que contienen una ley del 30% de  $P_2O_5$ .

g) Sahara Español. Pertenecen a la rama atlántica de la gran "Provincia Mediterránea" y de origen marino, de edad que varía del Cretácico Superior al Eoceno Inferior. Su contenido de  $P_2O_5$  aumenta desde Laabdi ta con 22.5% en dirección a Izic y a Imesieguen con 23% para alcanzar su máximo en Bu-craa con 31%, extendiéndose en dirección sur, donde se puede apreciar la sustitución gradual del fosfato por arena. El espesor de bu-craa es de 5.6 m, con una ley promedio de 31% de  $P_2O_5$ , calculándose una reserva de 1400 millones de toneladas de mineral con una producción de 10 millones de toneladas por año.

El mineral de Izic y Laabdi es oolítico, pseudo-oolítico en ganga - margosa fétida, acompañada de restos de peces, sobre todo dientes y coprolitos que son de facies profundas.

En Imesieguen y Bu-Craa son parecidos, pseudo-oolíticos pero en rocas amarillentas mucho más claras y deleznales, por lo que se consideran de facies de litoral.

*La explotación se lleva a cabo a cielo abierto mediante grandes dragas para descapotar y una pala mecánica para el fosfato. Una planta de preparación elemental se encuentra en la mina. Se pueden observar las localidades más significativas, así como su metalurgia. En la tabla III se ve su tratamiento metalúrgico.*

YACIMIENTOS	TIPOS	YACIMIENTOS RELACIONADOS A COMPLEJOS AL CALIZOS		YACIMIENTOS DE ORIGEN MARINO			
	EJEMPLOS	ISLA DE JUBA, U.R.S.S. PALABORA; SUDAFRICA, CANADA, INDIA, ZAIRE, BRASIL.		FLORIDA; U.S.A., MEXICO; J.C.SUR ARGELIA, MAROC, SAHARA ESPAÑOL; AFRICA DEL NORTE, GENEVAL, TOBA, INDONESIA.			
	ASOCIACION MINERAL	IL-APATITO, TIERRAS RARAS RUTILO, ZIRCON, PIRROCLORO. 2) APATITA, MINERALES DE COBRE, VERMICULITAS.		FLUOR-APATITO CARBONATADA FOSFATO DE ALUMINIO (R PRESENCIA DE FLUOR Y URANIO).			
	ELEMENTOS EXPLOTADOS	FOSFATOS, NIOBIO, TITANIO, ZIRCON, TIERRAS RARAS, COBRE		FOSFATO Y EN CASOS COMUNES RECUPERACION DE URANIO			
	IMPORTANCIA ECONOMICA	LA PRODUCCION GLOBAL MEDIA ANUAL ES DE 18 A 35% P.O. ES DEL ORDEN DE 100 LAS RESERVAS MUNDIALES SON DEL ORDEN DE 50x10 <sup>6</sup> TONELADAS EN P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> EN RESERVA					
	% PRODUCCION	10-15		30			
	% RESERVAS	0-7		50			
	MODO DE EXPLOTACION	CIELO ABIERTO		CIELO ABIERTO 80 % SUBTERRANEO 20 %			
	MINERAL DE GANGA	SILICATADA (CUARZO-FELDES PATO)		SILICATADA	ARCILLOSA	CARBONATADA Y LIGERAMENTE SILICEA.	
	EJEMPLO DE IMPORTANCIA	PENINSULA DE KOLA, U.R.S.S.		FLORIDA U.S.A.	MARRUECOS	ARGELIA	
TRATAMIENTO METALURGICO		$P_2O_5$ 33-35 % $Al_2O_3$ 1-2 % $Fe_2O_3$ 0.5-1 % $SiO_2$ 0.5-1 % $CaO$ 2-3 % [FRACTURADO MOLIDO] [CLASIFICACION] [CLASIFICACION TALLA DE OJO] [FLOTACION] [FILTRACION] [SECADO] CONCENTRADO ESTERILES $P_2O_5$ 34-47 % RECUPERACION 94 %		$P_2O_5$ 27-33 % YACIMIENTO DE SAN JUAN DE LA COSTA R.C.SUR [CRISA] [MOLIDO] [CLASIFICACION] [FLOTACION DE FOSFATO] RELAVADO FLOTACION DE $SiO_2$ [FILTRACION SECADO] ESTERILES CONCENTRADO		[CRISA] [CLASIFICACION] [DESLAMINADO] [LAVADO SECADO] ARCILLAS CONCENTRADO $P_2O_5$ 35-37 %	[MOLIDO] [CRISA] [CLASIFICACION] [DESLAMINADO] [CALCINACION] [LAVADO] [SECADO] CONCENTRADO $P_2O_5$ 33-35 %
		[ATAQUE SULFURICO]		[ATAQUE FOSFORICO]			
		[ATAQUE SULFURICO]		[ATAQUE FOSFORICO]			
		[ATAQUE SULFURICO]		[ATAQUE FOSFORICO]			
		[ATAQUE SULFURICO]		[ATAQUE FOSFORICO]			
		[ATAQUE SULFURICO]		[ATAQUE FOSFORICO]			
		[ATAQUE SULFURICO]		[ATAQUE FOSFORICO]			
		[ATAQUE SULFURICO]		[ATAQUE FOSFORICO]			
		[ATAQUE SULFURICO]		[ATAQUE FOSFORICO]			
		[ATAQUE SULFURICO]		[ATAQUE FOSFORICO]			

TABLA. III. Principales Yacimientos de Fosforita e

YACIMIENTOS DE ORIGEN MARINO				YACIMIENTO TIPO "GUANO"	POTENCIALES
FLORIDA: U.S.A, MEXICO: J.C.SUR		CUENCA DE PARIS		ISLAS DEL PACIFICO	NODULOS SUBMARINOS DE METALES- COSTA OESTE U.S.A Y SUDAN, FRANCIA: FOSFATO DE LOS PIRINEOS Y MONTANA NEGRA.
ARGELIA, MARRUCCO, SAHARA ESPAÑOL, AFRICA DEL NORTE, SENEAL, TONKIN, INDONESIA				CHRISTMAS, NURU.	
FLUOR-APATITO CARBONATADA FOSFATO DE ALUMINIO (IRARC); PRESENCIA DE FLUOR Y URANIO.				COLOFANO, FOSFATO DE ALUMINIO.	
FOSFATOS Y EN CASOS COMUNES RECUPERACION DE URANIO Y FLUOR					
<p>PRODUCCION ANUAL ES DE 18 A 35% P.O. ES DEL ORDEN DE <math>100 \times 10^6</math> TONELADAS  RESERVA DEL ORDEN DE 5000 TONELADAS EN <math>P_2O_5</math> EN RESERVAS POTENCIALES.</p>					
CIELO ABIERTO 20 % SUBTERRANEO 20 %				CIELO ABIERTO	
SILICATADA	ARCILLOSA	CARBONATADA Y LIGERAMENTE SILICEA.	ARCILLOSA Y FERRUGINOSA		
FLORIDA U.S.A (2)	MARRUECOS	ARGELIA	TOGO	CHRISTMAS	
YACIMIENTO DE SAN JUAN DE LA COSTA RICA SUR	$P_2O_5$ 27-33%			$P_2O_5$ 23-37%	
[CRISA] [MOLIDO] [CLASIFICACION]	[CRISA] [CLASIFICACION] [DES laminADO] [LAVADO-SECADO]	[MOLIDO] [CRISA] [CLASIFICACION] [DES laminADO] [CALCINACION] [AVADO] [SECADO]	[MOLIDO] [CRISA] [MOLIDO] [LAVADO-SECADO] SEPARACION MAGNETICA	[SECADO] [DESCIMPOLVE]	
FLOTACION DE FOSFATO RELAVADO FLOTACION DE $SiO_2$ [FILTRACION SECADO]	[ESTERILES] CONCENTRADO $P_2O_5$ 35-57%	[CONCENTRADO] $P_2O_5$ 35-35%	[CONCENTRADO] $P_2O_5$ 36-2% $SiO_2$ 3-0%	[CONCENTRADO] $P_2O_5$ 37.7% $Fe_2O_3$ 4.3% $Al_2O_3$	
[FOSFATO CONCENTRADO]					
[REDUCCION TERMICA]			[TRATAMIENTO TERMICO BAJO REDUCCION]		
[ATAQUE FOSFORICO + AMONIACO]	[REDUCCION AL HORNO ELECTRICO]	[CALCINADOR CON $NO_2$ ]	[CALCINADOR CON $SiO_2, HPO_4$ y $H_2O$ ]	[FUSION CON SERPENTIN]	
[FOSFORICO]	[SILICATO DE CALCIO FOSFORO]	[HIERRO-FOSFORO]			
[FOSFATOS T.S.P.]	[FOSFORO DE AMONIO]				

TABLA III. Principales Yacimientos de Fosforita en el mundo.

## A.5 USOS

Una parte relativamente pequeña del fosfato extraído de los depósitos es usado directamente como fertilizantes; y sobre suelos de carácter ácido en regiones tropicales, éste sería el método más eficiente de aplicación. Para la mayoría de los suelos, y para usos químicos, la roca fosfórica debe ser procesada para obtenerlo en un estado soluble (Waggamon y Ruhlman, 1960).

Por lo tanto, los diferentes usos que se le dan a los productos derivados de las fosforitas, dependen del tratamiento químico posterior a los tres derivados esenciales que son: Fósforo elemental, Acido fosfórico, Fosfato de Sodio.

1. Con el fósforo elemental se produce: Fósforo Rojo para la industria cerillera; Cloruro de Fósforo con el que producen insecticidas y plásticos; Fósforo de Cobre, como fósforo elemental para usos militares en la fabricación de balas, bombas incendiarias, granadas de mano y gases lacrimógenos; Oxido de Fósforo, para la fabricación de agentes deshidratadores; Fósforo y Sulfuro de Zinc, para la fabricación de cerillos y lubricantes y sobre todo para la elaboración de ácido fosfórico.

2. Acido Fosfórico. Se produce utilizando el 90% de la producción de fosforita. Se usa para el tratamiento de fosforitas y como materia para la elaboración de: Fosfato Cálcico, el cual se usa como acondicionador de sol en la elaboración de forrajes, levaduras, dentríficos, papel y en la

industria de fertilizantes que es la de mayor consumo: Fosfato de Amonio, utilizado para fertilizantes, así como en fermentación de cultivos y en hornos. El ácido fosfórico, como tal, se usa en pinturas metálicas, refinación de azúcar, bebidas alcohólicas, también como fertilizante, así como la elaboración de fosfatos de sodio.

3. Fosfato de Sodio. Tiene aplicación en la fotografía, fabricación de jabones, refinamiento de sedas, acondicionamiento de aguas en la industria farmacéutica, en la elaboración de levaduras y detergentes.

En la figura 14 se presenta un diagrama con los principales usos del fósforo, algunos ya descritos en esta sección.

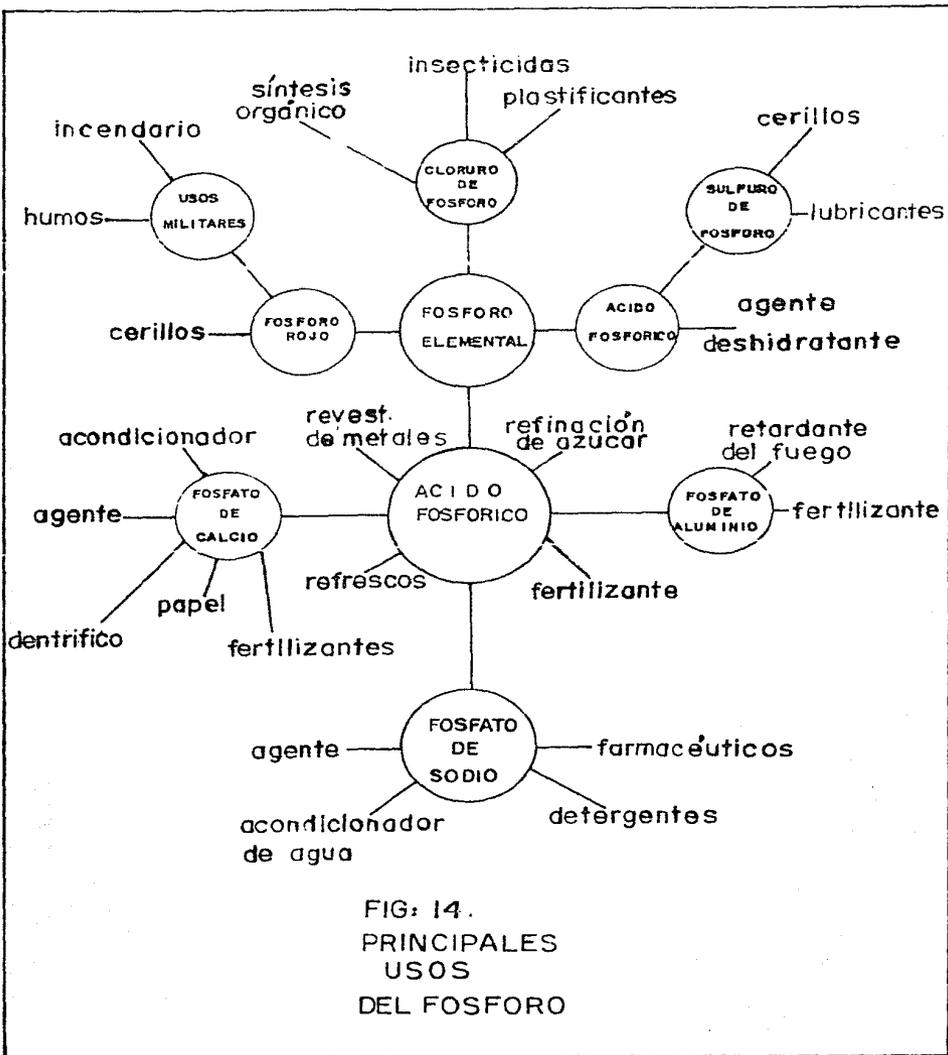


FIG: 14.  
 PRINCIPALES  
 USOS  
 DEL FOSFORO

## A.6. METODOS DE EXPLOTACION Y BENEFICIOS

Métodos de Explotación. Para la explotación de la fosforita se utilizan los siguientes métodos: Minado a Cielo Abierto (Tajo) y Minado Subterráneo (Cuartos y Pilares; Frentes Largos).

- Minado Subterráneo. Se explota la fosforita de las capas Humboldt y Humboldt Superior más la base; se cuenta con dos métodos para su explotación que son: Cuartos y Pilares (el cual se está utilizando actualmente en su explotación en San Juan de la Costa) y el de las Frentes Largos\*.

Este tipo de minado se utiliza cuando la relación de descapote re basa 1:12, de mineral de interés contra estéril. Además este método consiste en una explotación detallada y sistematizada en donde casi en su totalidad de extracción va a ser el mineral de interés, ya sea en húmedo o seco. Primeramente de acuerdo al interés prevaecido de an temano se comenzará la extracción del cuarto, formado por algunas capas de la formación que contiene al mineral de interés (Formación Monterrey), dejando caminos para la circulación de vehículos que transportarán y recogerán el mineral arrancado de las paredes de la mina y de los cuartos derrumbados para llevarlos a la salida del tiro principal, y después ser transportado por los camiones (Dompes) a la planta de beneficio. Posteriormente conforme se va desarrollando la explotación, se recogerá el mineral que sirve como sostén (pilar) del frente de la mina a la salida de ella para que después sea transportado a la planta de beneficio :

- Ventajas de la explotación a cielo abierto.

- a) Bajo costo de operación.
- b) La utilización de menor cantidad de equipo caro.
- c) Mayor cantidad de mineral transportado.

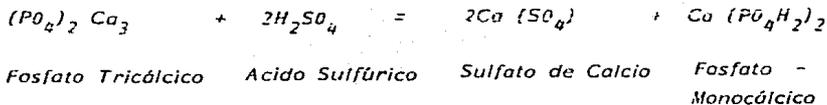
- Desventajas de la explotación a cielo abierto.

- a) La distancia de recorrido de los camiones es mayor que el que realiza en el minado subterráneo.
- b) Es cierto que se transporta mayor cantidad de mineral, pero juntos el mineral estéril y el mineral de alta ley. Sin embargo en la explotación subterránea la mayor parte corresponde al mineral de alta ley, (mineral de interés).

\* Frentes Largos. Por las características de la topografía y la distribución de la capa de interés sería de mucho mayor beneficio el uso de este método de explotación, por la cantidad de mineral transportado y el poco tiempo que se llevarían en llevarlo a la planta de beneficio.

Beneficios. El fósforo que era suministrado antiguamente en forma de grano, polvo de hueso y fosfatos naturales pulverizados, actualmente se suministra en forma de superfosfatos. La fuente natural para fabricarlos la constituye el fosfato tricálcico, mineral más abundante, pero no puede ser usado en forma directa, ya que este fosfato es insoluble en agua, y las raíces de las plantas no pueden asimil-

larlo. Para transformarlo en una sal soluble, se trata por medio de ácido sulfúrico que lo convierte en una mezcla de fosfato monocálcico y sulfato cálcico.



Debido a que la apatita es ligeramente más pesada que algunas de las impurezas que comúnmente vienen asociados a ésta y debido a que la matriz de muchas fosforitas es de grano más fino que el de las partículas fosfatadas, muchas rocas fosfáticas impuras pueden ser concentradas mediante un lavado. Los depósitos no carbonatados son concentrados eficazmente mediante flotación (técnica usada en San Juan de la Costa).

En resúmen, existen tres métodos principales para el beneficio de la roca fosfórica:

1. Tratamiento por ácido. Consiste en atacar a la roca con ácido sulfúrico, fosfórico ó nítrico, para obtener directamente superfosfatos simple o triple. (Este método es utilizado en San Juan de la Costa Baja California Sur).

2. Reducción térmica. Por este método la roca es fundida en hornos eléctricos ó de soplo con coque y con flujo silicoso, obteniéndose

*dose fósforo elemental, ferrofósforo y escorias Sílica-Cálcicas.*

3. *Tratamiento Térmico no Reductor.* *Este método consiste en -- tres fases:*

- a) Caldeo de la roca con una sal alcalina*
- b) Calentamiento de la roca con sílice o un poco de ácido fosfórico, en presencia de vapor de agua.*
- c) Fusión de la roca mezclada con silicato de magnesio.*

*Después de clasificarlo no requiere tratamiento posterior.*

## **B. DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO DE SAN JUAN DE LA COSTA**

### **B.1. ROCA ENCAJONANTE**

*La roca que contiene a la capa de interés corresponde a la Formación Monterrey: la cual se encuentra constituida por una alternancia de areniscas y lutitas, con horizontes de tobas, y de coquina. Esta última representa el contacto superior con la Formación San Isidro. La edad asignada mediante estudios paleontológicos para la Formación Monterrey es del Mioceno Inferior.*

*El horizonte mineralizado (Capa Humboldt) se localiza a 30 m de profundidad promedio, de la cima del contacto entre ambas formaciones.*

## B. 2 FORMA DEL CUERPO MINERALIZADO

Los cuerpos mineralizados tienen forma de mantos casi horizontales con una inclinación que oscila entre los 2° a 3°, y buzan conforme se va alejando de la costa, o sea de la línea de costa hacia la sierra.

Existen varios horizontes mineralizados, de los cuales se definirán tres horizontes en orden de importancia.

- Primer horizonte formado por las siguientes capas fosfatadas; -- Capa superior, Dos, Tres, Del Río, Humboldt Superior, Humboldt y Baja; Ordenadas de la cima a la base, respectivamente.

- El segundo horizonte se encuentra localizado estratigráficamente en el contacto de ambas Formaciones Monterrey y San Isidro respectivamente, asociado a las coquinas, lo que hace que su contenido de carbonato de calcio sea elevado. Sus espesores y sus leyes son muy irregulares en todo el yacimiento.

- El tercer horizonte está localizado dentro de la Formación San Isidro, aproximadamente a 30 metros arriba de su contacto con la Formación Monterrey y presenta solamente indicios de fósforo. Fuera de estos horizontes, existen otras capas delgadas de fosforitas de 10 a 30 cm de espesor, pero no son de interés económico.

### B.3 ESPESORES DEL CUERPO MINERALIZADO (CAPA HUMBOLDT)

*Las capas de fosforita del primer horizonte tienen espesores que varían dentro de los rangos dados:*

- Capa Superior	2.00 - 3.00 metros
- Capa Dos	0.35 - 0.60 metros
- Capa Tres	0.40 - 0.90 metros
- Capa Del Río	0.40 - 1.10 metros
- Capa Humboldt Superior	0.20 - 0.50 metros
- Capa Humboldt + Base	1.60 - 2.00 metros
 Espesor promedio =	 0.80 - 1.55 metros

*En algunas zonas estos espesores son menores y llegan a desaparecer, estas zonas son centro de la mesa del Junco y el arroyo de Tarabillas; estos rasgos tienen un rumbo de NW y probablemente coinciden con altos topográficos existentes en el Mioceno inferior. Las capas fosfatadas del segundo y tercer horizonte son más variables en cuanto a su espesor, lo que sugiere condiciones inestables de depósito.*

#### B. 4. LEYES DEL CUERPO MINERALIZADO (VALOR PROMEDIO)

La ley de cada capa, se calculó por medio de la ecuación dada por Escandón:

$$\% \text{ Ley} = \frac{\text{sum. de espesores}}{X} \times \text{Ley} \quad / \text{sum. de espesores}$$

Además la composición química de las capas fosfatadas de acuerdo al análisis hecho por RoFoMex y Tennessee tienen un peso específico de 2.3 y una ley del 18% al 23% de  $P_2O_5$  de la capa Humboldt.

## B. 5. MINERALOGIA

En la capa Humboldt, todo el fosfato se presenta como francolita ( $Ca_5 (PO_4, CO_3)_3 (F,OH)$ ). llamada también carbonato - flúor apatita. En las demás capas, es posible que exista algo de colofano original, en forma de lodos fosfáticos, se presentan en forma de fragmentos de conchas fosfatizadas.

El sílice se encuentra en forma cristalina como cuarzo. Escandón (op. cit.) reporta sílice amorfo como ópalo y cristobalita, en base a análisis hechos por RoFoMex. Kerr (1959, 1975) dice que los reemplazamientos de los minerales de colofano por ópalo o calcedonia son muy raros. La calcita se presenta libre y formando parte de la estructura molecular de la francolita. Otros constituyentes son la goethita, la Halita y el Yeso.

De acuerdo a estudios de laboratorio realizados por RoFoMex y International Fertilizer Development Center y Tennessee Valley Authority la composición química de la fosforita se resume en la tabla IV.

En la tabla V, se observa la reconstrucción mineralógica y el análisis químico cuantitativo de la capa Humboldt, realizado por el laboratorio de RoFoMex.

Nota: No se hicieron estudios petrográficos de las muestras colectadas en el campo.

T A B L A I V

COMPOSICION QUIMICA DE LA FOSFORITA \*

$P_2O_5$	18.00 - 23.00 %
$CaO$	33.00 - 38.00 %
$SiO_2$	23.00 - 32.00 %
$Fe_2O_3$	1.20 - 1.60 %
$Al_2O_3$	1.30 - 1.60 %
C	1.2

COMPOSICION QUIMICA DE LA FOSFORITA \*\*

$K_2O$	0.51
$MgO$	0.29
$Na_2O$	1.00
F	2.60
$CO_2$	3.40
Cl	0.0830
V	0.0075
Cd	0.0080
Hg	0.00001

Las demás capas presentan menor cantidad de  $P_2O_5$  y de  $CaO$ , y mayor  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$  y  $Na_2O$ , lo que es consecuencia del contenido de material volcánico.

\* Análisis efectuado por RoFoMex.

\*\* Análisis efectuado por International Fertilizer Development --  
Center and Tennessee Valley Authority.

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

<u>RECONSTRUCCION MINERALOGICA</u>		<u>ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO</u>	
<u>ESPECIE</u>	<u>% TOTAL</u>	<u>COMPUESTO</u>	<u>% TOTAL</u>
FLUORAPATITA COLOFANO	58.16	$P_2O_5$	24.60
CALCITA	8.30	CaO	42.40
FELDESPATO	6.24	$SiO_2$	15.36
BIOTITA	2.66	$CaCO_3$	8.30
LIMONITA	2.34	$Al_2O_3$	5.19
YESO	1.00	Fe	1.40
CUARZO, VIDRIO Y ZEOLITA	21.30	$Na_2O$	0.87
		MgO	0.78
		$SO_4$	0.56
		$K_2O$	0.54

TABLA V. RECONSTRUCCION MINERALOGICA  
Y ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO DE LA  
CAPA FOSFATADA HUMBOLDT (PORCENTAJE  
PROMEDIO).

## B.6. DESCRIPCION DE BARRENOS

Se describen algunos de los barrenos más significativos, como en el caso de los barrenos 40, 196, 197, 198, 200 y 201 respectivamente; posteriormente se encontrará la columna descrita.

### DESCRIPCION DEL BARRENO N 11,900-E 8,800 No. 40

De 0 - 3.00 metros se perforó con barrena tricónica, sin recuperación de muestra. De 3.00 - 6.00 metros se tiene una capa de arenisca de grano fino. A continuación de 6.00 - 7.4 metros se presenta una arenisca de grano fino con fragmentos de ostrácodos. De 7.4 - 11.4 metros se tiene una capa de 4 m de espesor de coquina que marca la base de la formación de San Isidro. Además representa el contacto litológico entre las Formaciones San Isidro y Monterrey, respectivamente. De 11.4 - 12.8 metros se presenta una lutita con fragmentos de rocas. A continuación se presenta una capa de arenisca de grano medio a grueso que va de 12.8 - 15.4 metros con un espesor de 2.6 metros. De 15.4 - 22.6 metros se presenta una capa de 7.2 metros de espesor de arenisca de grano fino a medio con algunas intercalaciones de lutitas muy fragmentadas. De 22.6 - 25.0 metros se tiene una arenisca de grano fino con contenido de lutitas. De 25.0 - 25.4 metros una capa delgada de lutitas. De 25.4 - 52.4 metros se tiene un paquete de intercalaciones de arenisca de grano fino con lutitas, arenisca de grano medio con fragmentos de rocas y lutitas con intercalaciones de ostrácodos, arenisca de grano fino con indicios de fósforo. De 52.4 - 53.0 metros se tiene una capa de fragmentos de rocas. De 53.0 - 53.8 metros una capa



de lutitas. De 53.8 - 57.5 metros se tiene una arenisca de grano fino con contenido de fósiles. De 57.5 - 67.10 metros una capa de lutitas. De 67.10 - 70.2 metros se tiene una arenisca de grano medio a grueso con intercalaciones de lutita. A continuación se tiene 70.2 - 72.8 metros una capa de lutitas. De 72.8 - 89.8 metros una capa de arenisca de grano medio. De 89.8 - 89.12 metros una capa de fragmento de roca. De 89.12 - 96.12 metros un paquete de 10 m de espesor de arenisca de grano medio con algunos lentes de lutitas, y por último un paquete de 4 m de espesor de lutitas con concreciones calcáreas y una capa de 0.04 metros de espesor de arenisca de grano fino.

CAPAS FOSFATADAS:

CAPA SUPERIOR	ESPESOR	PROMEDIO =	.03 m
CAPA DOS	ESPESOR	PROMEDIO =	.06 m
CAPA HUMBOLDT	SUPERIOR	EO	= 2.0 m
CAPA HUMBOLDT	EP		= 0.6 m

DESCRIPCION DEL BARRENO 196

De 120.4 m a 122.8 m de profundidad, con un espesor de 2 m se tiene un conglomerado andesítico con fragmentos de ostrácodos y rocas. De 122.8 m - 125.2 m, con un espesor de 2.4 m se tiene intercalaciones de lutitas y areniscas, en donde también se observan fragmentos de rocas. De 125.2 - 127.2 metros, con un espesor de 2 m se presenta un conglomerado andesítico con matriz arenosa. De 127.2 - 133.2 metros, con un espesor de 6 m, se presentan areniscas de grano fino, con es-



*stratificación cruzada con restos de fósiles y fragmentos de rocas, además lutitas. De 133.2 - 139.0 metros con un espesor de 5.8 m, se tiene una alternancia de lutitas con areniscas con contenido de fósiles y fragmentos de rocas. De 139.0 - 141.0 metros, con un espesor de 2 m lutitas. De 141.0 - 149.0 metros, con un espesor de 8 m se tiene una arenisca de grano fino, con intercalaciones de lutitas, presentando estratificación cruzada. De 149.0 - 150.0 metros, con 1 m de espesor se tiene arenisca de grano fino con contenido de fósiles. De 150.0 - 153.6 metros se tiene 3.6 m de espesor arenisca de grano fino, con estratificación cruzada, presentando piritización. De 153.6 - 154.6 metros, con 1 m de espesor se tiene la capa fosfatada llamada capa superior. De - 154.6 - 155.2 metros, se tiene un espesor de 0.6 m de arenisca de grano fino. De 155.2 - 160.0 metros, con espesor de 0.8 m una capa de - lutitas. De 160.0 - 161.4 metros, con un espesor de 1.4 m se presenta la capa superior e inferior del Rio, capa fosfatada. De 161.4 - 162.6 - metros se tiene un espesor de 1.2 m de lutitas calcáreas. De 162.6 - - 163.6 metros, se tiene 1 m de espesor de las capas fosfatadas Tres y Dos. De 163.6 - 164.6 metros, con un espesor de 1 m con intercalaciones de lutitas con areniscas. De 164.6 - 166.2 metros, con un espesor de 1.6 m se tiene arenisca con indicios de fósforo. De 166.2 - 167.4 - metros, con espesor de 1.4 m se tienen las capas fosfatadas Humboldt Superior, Humboldt + base que son las capas de interés, que están - explotadas actualmente.*

#### *DESCRIPCION DEL BARRENO 197*

*De 0 - 50 metros, se perforó con barrena tricónica, con la cual -*

no se recupera núcleo. De 50.0 - 50.6 metros, con espesor de 0.6 m - de lutitas muy alteradas. De 50.6 - 52.8 metros, con un espesor de 2.2 m se tiene una alternancia de lutitas y areniscas. De 52.8 - 56.6 metros, se tiene una alternancia de arenisca glauconítica con lutitas. De 56.6 - 57.2 metros se tiene arenisca de grano fino. De 57.2 - 59.8 se tiene una capa de arenisca de grano medio con contenido de fósiles. De 59.8 - 61.4 metros, se tiene un conglomerado coquinaoide. De 61.4-64.0 metros, se tiene una arenisca de grano fino. De 64.0 - 66.0 metros, se tiene alternancia de arenisca de grano fino y lutitas. Además se presenta un contacto brusco de una arenisca de grano medio a grueso. De 66.0 - 67.0 metros, se tiene una capa de 1 m de espesor de arenisca de grano medio. De 67.0 - 68.4 metros, se tiene una alternancia de arenisca de grano fino con lutitas. De 68.4 - 70.8 metros, se tiene una capa de arenisca de grano fino con estratificación cruzada. De 70.6 - 72.0 metros, una capa de lutitas. De 72.0 - 73.2 metros, un espesor de secuencia de arenisca de grano grueso con lutitas, con estratificación cruzada. De 73.2 - 75.0 metros, se tiene una capa de arenisca de grano fino. De 75.0 - 75.2 metros, se tiene una capa de lutitas. De 75.2 - 75.6 metros, arenisca de grano medio. De 75.6 - 78.0 metros, un conglomerado andesítico. De 78.0 - 79.8 metros, se tiene una capa de conglomerado formado por fragmentos de rocas en matriz calcárea. De 78.0 - 78.4 metros, una capa de lutitas. De 78.4 - 79.8 metros, una capa de arenisca de grano medio con fragmentos de rocas y ostrácodos. De 79.8 - 81.6 metros, se tiene una capa de grano medio con fragmentos de fósiles y rocas. De 81.6 - 81.9 metros, arenisca de grano grueso con fragmentos de rocas angulosas.-

De 81.9 - 84.1 metros, se tiene una capa de arenisca de grano fino. - De 84.1 - 85.3 metros, una capa de arenisca de grano grueso con fragmentos de fósiles. De 85.3 - 93.2 metros, una capa de arenisca de grano medio con fragmentos de rocas. De 93.2 - 93.6 metros, una capa de arenisca de grano fino. De 93.6 - 97.0 metros, una capa de arenisca de grano fino. De 97.0 - 97.6 metros, arenisca de grano fino con estratificación cruzada. De 97.6 - 98.0 metros, capa de arenisca de grano fino con contenido de fósiles. De 98.0 - 99.0 metros, alternancia de arenisca y lutitas. De 99.0 - 101.0 metros capa de arenisca de grano grueso con fragmentos de rocas. De 101.0 - 102.8 metros, alternancia de lutitas y arenisca de grano fino. De 102.8 - 105.0 metros, arenisca de grano fino con estratificación cruzada. De 105.0 - 108.0 metros, arenisca de grano fino con contenido de fósiles. De 108.0 - 109.6 metros, arenisca de grano fino con fósiles, además presenta estratificación cruzada. De 109.6 - 111.2 metros, capa superior, que es una arenisca de grano fino que presenta indicios de fósforo. De 111.2 - 113.8 metros, se trata de una arenisca de grano fino con estratificación cruzada. De 113.8 - 114.0 metros, una capa de arenisca de grano fino con indicios de fósforo. De 114.0 - 114.6 metros, se tiene una lutita compacta con lentes de arenisca de grano fino con contenido de fósforo. De 114.6 - 116.0 metros, se tienen las capas de arenisca fosfatada del Río Superior, Medio e Inferior. De 116.0 - 116.4 metros, se presenta una alternancia de lutita y caliza. De 116.4 - 116.8 metros, se tiene una arenisca de grano fino con fósiles y con indicios de fósforo. De 116.8 - 117.2 metros, se tiene una capa de arenisca de grano fino con estratificación cruzada. De 117.2 - 120.0 metros, se presenta una alternancia de arenisca de grano fino y una capa de lutitas compactas.

0.00 metros  
S. de M. M.

0.00 metros  
perforación con hilanço

60	Litita muy arenosa
61	litita arenosa con intercalaciones arenosas
62	arenosa de grano fino con intercalaciones de litita
63	arenosa de grano medio con intercalaciones arenosas
64	arenosa de grano grueso con intercalaciones arenosas
65	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
66	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
67	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
68	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
69	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
70	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
71	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
72	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
73	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
74	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
75	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
76	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
77	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
78	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
79	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
80	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
81	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
82	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
83	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
84	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
85	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
86	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
87	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
88	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
89	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
90	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
91	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
92	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
93	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
94	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
95	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
96	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
97	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
98	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
99	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
100	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
101	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
102	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
103	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
104	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
105	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
106	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
107	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
108	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
109	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
110	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
111	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
112	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
113	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
114	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
115	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
116	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
117	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
118	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
119	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
120	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
121	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
122	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
123	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
124	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
125	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
126	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
127	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
128	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
129	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas
130	arenosa de grano muy grueso con intercalaciones arenosas

PROFUNDIDAD DEL BARRENO 120.02 METROS  
ELEVACION DEL CENITRO 06.000 METROS S. de M. M.

LINAM FACULTAD DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD SAIS JOSE DE LA COSTA  
COLUMBA ESTADUNIDENSE DEL BARRENO 120.02 METROS  
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
LA FOLIA DE LA  
NO. 120.02 METROS  
ACUATAMBIENTE

*De 120.0 - 120.4 metros, se tiene una arenisca fosfática con lutitas. -  
De 120.4 - 121.2 metros, se presenta una capa de lutitas y por último  
se tiene de 121.2 - 123.2 metros, un espesor de 2 m que representa  
a las capas de mayor interés económico que son las siguientes: Hum--  
boldt Superior, Humboldt y Humboldt + base.*

*Profundidad del barreno 120.82 metros S.N.M.M.*

*Elevación 98.050 metros S.N.M.M.*

#### *DESCRIPCION DEL BARRENO 198. DESCRIPCION POR TRAMOS*

*De 112.00 - 113.45 metros, durante los primeros 5 cm se observa  
un material molido, con arenisca de grano medio a fino. De los 42 cm -  
en adelante (112.42) se observa una capa de lutitas con un espesor de  
aproximadamente 45 cm con pequeños lentes de arenisca. A partir de -  
esos 45 cm de lutitas en adelante se empieza a observar la arenisca de  
grano medio con contenido de fósiles. A partir de los 112.64 metros, -  
se observa algo de fracturamiento y de nuevo aparece un horizonte de  
lutitas de aproximadamente 12 cm de espesor, posteriormente una alter-  
nancia de lutitas con areniscas con una recuperación del 70% con pre-  
sencia de yeso con un espesor aproximado de 35 cm. En adelante se -  
empiezan a observar areniscas con presencia de fósiles con espesor -  
aproximado de 42 cm. A partir de ahí se observa una alternancia de  
calizas con lutitas, con presencia de fragmentos angulosos de huesos.*

*De 113.45 - 115.05 metros, se observa una alternancia de arenis-*

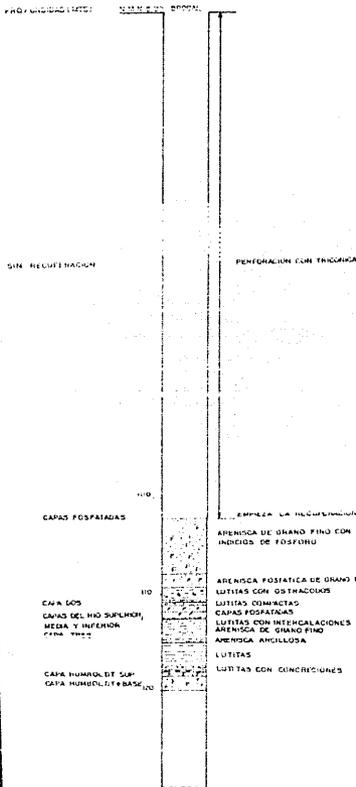
ca con lutitas, primero la presencia de arenisca y gradualmente la de lutitas, la recuperación es fuera del 115.05 metros, sigue el predominio de lutitas hasta los 116.50 metros, perforados del 116.50 metros - en adelante se nota la presencia de calizas con un espesor de 24 cm - aproximadamente. Continúa la alternancia de areniscas con lutitas con espesor aproximado de 10 cm, a continuación las areniscas predominan con una recuperación del 75% hasta los 118.6 metros, perforados. Continúa un espesor de 1.03 metros de material quebrado, con una recuperación mala; a partir de los 118.10 - 119.5 metros, se observa la presencia de lutitas con una recuperación de 90% y R.Q.D= 95% -- muy bueno. A partir de los 119.5 metros en adelante continúa la pre presencia de lutitas hasta los 120.02 metros (0.52 m); en adelante se observa una roca muy fracturada probablemente por la presencia de - una falla.

A partir de los 120.02 - 121.15 metros, continúa la alternancia de areniscas con lutitas. De 121.15 - 122.60 metros, se observa lutitas más fracturadas que las anteriores hasta una profundidad de -- 121.85 metros. A partir de 121.85 metros en adelante empieza a observarse un cambio transicional de arenisca con abundantes ostrácosos; después de los 122.60 metros, se observan únicamente areniscas con abundantes contenidos de fósiles, las capas de areniscas con contenido de fósforo, con un espesor aproximado de 44 cm. Empiezan las capas de areniscas fosfatadas de los 124.20 - 125.25 metros, - - siendo la más significativa la capa Humboldt, el barrenó terminó su perforación hasta los 125.65 metros de profundidad.

## DESCRIPCION DEL BARRENO 200

*Empieza la perforación con barrena tricónica, en donde se recupera a los 102.20 metros de profundidad. (capa superior) además se observa una arenisca de grano fino con presencia de ostrácodos, la competencia de la roca es buena, casi del 90% muy consolidada. De 102.20 - 103.80 metros, se observan márcas de corrientes. De 103.8 metros, se observa la misma roca, pero mas fracturada con una recuperación - del 70% y un R.Q.D. bueno, con un espesor de 1.45 metros bien clasificados los granos con indicios de fósforo. De 105.35 - 106.85 metros no se observan muchas variaciones, misma litología, buena competencia, al empezar los 106.85 metros existe una zona de fracturamiento, - la roca muy fracturada, recuperación del 80% al 85%. De 106.85 - - - 109.35 metros litología idéntica, recuperación del 80%, R.Q.D. bueno - 70%. Además se observan fósiles, estructuras primarias, como son las impresiones de corrientes. De 109.35 - 110.50, recuperación 70% en - los primeros 16 cm se observa la roca muy fracturada, empiezan a observarse las variaciones litológicas con la presencia de ostrácodos, con color claro, con alternancia de lutitas. De 110.40 - 112.00 metros la - arenisca presenta granos más gruesos con intercalaciones de lutitas, - con una recuperación del 86% y R.Q.D. regular, a los 11.63 metros - se empieza a observar arenisca de grano medio a fino con el predominio del fino, en los últimos 37 cm existe una zona muy fracturada de arenisca, se recuperaron fragmentos que indican la presencia de una falla.*

*Recuperación= 65%, R.Q.D. malo*



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD SAN JUAN DE LA COCER	
SERVICIO METEOROLOGICO DEL BARRIO	
TESO PROFESORAL JOSE ALFREDO MORALES JIMENA	
LA PAZ, B. C. S. N.	ENE 1970
ASESOR	ALOTACIONES EN
ING. ALFREDO VICTORIA M.	1 METRO

### DESCRIPCION DEL BARRENO 201

De 0 - 102.2 metros se perforó con barrena tricónica, sin recuperación de muestra. De 102.2 metros en adelante empieza la recuperación. De 102.2 - 107.8 metros se presenta una capa de arenisca de grano fino con indicios de fósforo. De 107.8 - 109.2 metros se tiene una arenisca fosfática de grano fino. De 109.2 - 111.0 metros se presentan dos capas; Una de lutitas compacta y otra de lutitas con ostráccidos. De 111.0 - 115.8 metros se presentan capas de lutitas con intercalaciones de arenisca de grano fino y arenisca arcillosa y lutitas compactas. De 115.8 - 116.4 metros se tiene una capa de lutitas con concreciones, las cuales varían de 0.45 - 1.8 metros a lo largo y de 0.25 - 0.58 metros a lo ancho y 0.18 - 0.25 metros de espesor aproximadamente, todo esto en valor promedio. De 116.4 - 120.0 metros se presentan las capas fosfatadas de interés Humboldt Superior y Humboldt + base.

## B.7. HIPOTESIS GENETICA

La mayoría de las capas de fosforita gradúan rápidamente a lutitas fosfáticas, areniscas y tobas, presentando sus contactos como una superficie ondulada. La diferencia de la capa Humboldt es que en su base se inicia gradualmente con una matriz heterogénea de fosforita y arenisca tobácea de grano muy fino y, en su cima pasa en forma -- abrupta a una lutita que contiene grandes concreciones calcáreas. En la base y en la cima de la lutita subyacente, se presentan fragmentos de fosforitas dando una impresión de que existió erosión y depósito -- "in situ" de una capa fosfatada anterior.

A este proceso siguió un depósito abundante de fosfatos (ocasionado por el flúor aportado por los sedimentos tobáceos) y su transformación a oolitos por la acción del oleaje o mareas de un mar tranquilo; esto explica la uniformidad en el tamaño de los granos de arena, se puede ver en la descripción de los barrenos.

El cese abrupto de la sedimentación de los fosfatos pudo deberse a una pequeña oscilación marina (transgresión) que trajo como consecuencia aumento en la profundidad y cambio en la temperatura del agua. Al respecto, Escandón (1977) cree que este cese de sedimentación de los fosfatos pudo deberse a un aumento en su solubilidad debido a la falta de flúor, lo que explicaría la abundancia de carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ) en esas capas.

*Las concreciones presentes en esas capas de lutitas son de origen diagenético, se formaron por la segregación y precipitación del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) entre los poros de las lutitas.*

*Las cuales se encuentran dentro de las lutitas, que se hallan en la parte superior de la capa fosfatada Humboldt, además las concreciones oscilan en tamaño de 0.48 - 1.45 metros a lo largo y como 1.5 metros de ancho aproximadamente,*

## B.8. CLASIFICACION DE RESERVAS

*Por su interés económico, la fosforita se clasificó como reservas y como mineral de interés, (Escandón, 1977).*

a) Reservas. Fosforita que se estima, que se podría explotar con métodos planeados como son: Explotación a cielo abierto (Tajo); y el - minado Subterráneo; cuartos pilares y las llamadas frentes largas. Incluye a las capas Humboldt y Humboldt Superior para explotarse con - minado subterráneo y con frentes largas, cuando el espesor de la capa Humboldt sea superior a 1.4 metros, o cuando menos varíe de 1.0 a -- 1.4 metros si su contenido (espesor por ley) sea al menos del 28%. La capa fosfatada del Río se explotará a cielo abierto (Tajo).

b) Mineral de interés. Fosforita que no se considera explotable - con los métodos planeados, pero que pudiera serlo si se modifican precios y costos del mineral. Incluye a las capas del Río en la zona en - donde se explotará a cielo abierto y también las capas Humboldt y Hum - boldt Superior en este tipo de explotación tomando en cuenta la incli - nación a la que se está clavando la formación que las contiene (Forma - ción Monterrey) ya que se ha observado a la línea de costa hacia el - continente, la formación se va clavando y por lo tanto más adentro se pierde, entonces el método a cielo abierto es económicamente inexplota - ble porque también se rompe la relación 1:6 y 1:12, entonces se opta por la explotación de Minado Subterráneo.

Minado a Cielo Abierto (Tajo). Condiciones para llevar a cabo - su diseño: El diseño de este tipo de minado se basa en cualquiera de estas condiciones:

Las condiciones a la que se opega más el yacimiento de San Juan de la Costa hasta una profundidad en donde la utilidad es marginal, - y el método de Minado Subterráneo no es económicamente permisible, - este tipo de minado consiste de cuatro operaciones fundamentales que son: Barrenación, Voladura, Movimiento de Tierras, Transporte y Acarreo de Material.

La fosforita explotable debe de cumplir la relación de tepetate - (material estéril) a mineral de interés de  $6 \text{ m}^3/\text{ton.}$ , en promedio y - de  $12 \text{ m}^3/\text{ton.}$ , como máximo, respectivamente. Esta relación se hace en descapote, para que la explotación sea redituable debe cumplir esta relación, si no, el método sería incosteable.

## 8.- CLASIFICACION DE RESERVAS

- Ejemplo Ilustrado -

- Cálculo de Reservas idealizado de la zona de interés

Datos: Tomando en cuenta la capa que existe en toda la zona

$$A = 14.5 \text{ Km}^2 = 14.5 \times 10^6 \text{ m}^2$$

- Espesor promedio = 1.6 m, sin tomar en cuenta las deformaciones que puede sufrir la capa Humboldt

- Peso específico de 2.3 Ton/m<sup>3</sup>, dado por RoFoMex

- Volúmen<sub>T</sub> = Area<sub>T</sub> X Espesor Promedio

$$V_T = (14.5 \times 1.6) \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$P.e = \frac{W (\text{Peso})}{V \text{ Volumen}}$$

$$W (\text{Toneladas Fuerza}) = (3.68 \times 14.5) \times 10^6 \text{ Tonelada - Fuerza}$$

$$W_T = 53.36 \times 10^6 \text{ Ton - Fza.}$$

$$W_T = m \times g$$

$$m (\text{ton - masa}) = \frac{W_T}{g} = \frac{53.36 \times 10^6}{9.81} \text{ Toneladas}$$

$$\text{Tonelaje Total} = 5.439 \times 10^6 \text{ Toneladu}$$

$$\text{Tonelaje Seco} = \text{Tonelaje Total} - \text{Humedad}$$

En RoFoMex, se calculó una humedad del 23% para la fosforita.

$$\text{Tonelaje Seco} = (5.439 - 1.251) \times 10^6 \text{ Toneladas}$$

$$\text{Tonelaje Seco} = 4.188 \times 10^6 \text{ Toneladas de mineral}$$

*Considerando una producción de 5000 toneladas diarias de mineral*

*Tonelaje (días) = 837.6 días de mineral con una producción de -  
5000 toneladas - diarias*

*Tonelaje (mes) = 27.92 meses*

*Tonelaje (año) = 2.29 años*

*Período de Reservas = 2 años 3 meses 5 días con una producción  
de 5000 toneladas diarias, trabajándose los  
365 días del año.*

## V. CONCLUSIONES

## V. CONCLUSIONES

### FALLAMIENTO :

*El patrón de fallamiento existente en la zona de interés se resume en tres sistemas fundamentales.*

*- El primer sistema y el más importante presenta un rumbo preferencial NE-SW con echadas casi verticales. Algunas de las fallas más significativas de este sistema son: La falla Potosí que alcanza un salto de hasta 200 metros, falla El Barco con un hundimiento de 17 metros; la mayor parte de las fallas de este sistema son de charneño.*

*- El segundo sistema de fallas presenta un rumbo hacia el norte y se manifiesta principalmente en los flancos de la sierra de la Giganta, al noroeste de la zona de interés, no afecta a la capa fosfatada Humboldt (la capa de interés económico).*

*- El tercer sistema presenta un rumbo irregular , pero con tendencia hacia el norte, limita el área de volcanes que se presentan en la desembocadura del arroyo el junco.*

*Tomando en cuenta al primer sistema de fallas, pues este afecta a toda la columna estratigráfica, se da mayor importancia por sus efectos trascendentes. Se concluye que este sistema presenta un rumbo preferencial perpendicular al movimiento relativo NW la Península -*

a consecuencia de la falla de San Andres. Además el fallamiento de este sistema se dice que afecta a la columna, porque fué posterior al depósito de las formaciones existentes en la zona de interés, se calcula que este fallamiento tuvo lugar durante el Plioceno-Reciente.

#### - CAPA FOSFATADA DE INTERES ECONOMICO

A la capa fosfatada Humboldt se le dió mayor importancia, ya que constituye la mayor concentración de fósforo, y de un espesor considerable. Con una ley promedio del 16% de  $P_2O_5$  para fines prácticos; con un espesor promedio de 1.6 metros aproximadamente. Considerando estos valores, con un peso específico de  $2.3 \text{ ton/m}^3$ , una humedad del 23%. Se calculó una reserva probable de 4 millones de toneladas, tomando en cuenta una producción de 5 mil toneladas diarias de mineral se tendrá producción para un período de 2 años. Origen de las fosforitas del yacimiento de San Juan de la Costa.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la descripción de los barrenos existentes y en los análisis químico y mineralógicos, al reconocimiento de todas las estructuras y de la zona en sí, se concluyó que las formaciones Monterrey y San Isidro respectivamente, son de origen orgánico marino de un ambiente de plataforma; en mares someros en condiciones tectónicas estables.

Estos datos son preliminares, será necesario complementarlos -- con un estudio geológico detallado.

## 1.- Recomendaciones

. Realizar una barrenación más completa, muestreo detallado para poder hacer los cálculos de reservas de la porción NW (área de trabajo). Elaboración de una malla de barrenación, que encierre a la zona que se levantó.

. Realizar un levantamiento a detalle de la zona de interés por el fallamiento existente. Para la utilización del método más óptimo de explotación.

. Efectuar un análisis químico cuantitativo, así como un estudio petrográfico de las muestras más significativas, en donde se encuentra -- contenido de fósforo, para conocer el comportamiento de los minerales - que forman la fosforita; y definir con claridad la presencia del colofano. ¿existe ó no?.

. Elaborar plano detallado en donde exista un seguimiento detallado de las fallas más importantes que pueden afectar una mesa de gran interés, para poder emplear el método de explotación de frentes largos, así como definirlo bien, para conocer sus ventajas y desventajas.

. Hacer un estudio más detallado de la Cuenca de depositación en - donde se depositó la fosforita, para conocer su génesis como pueden ser:

- |                               |             |
|-------------------------------|-------------|
|                               | Primarias   |
| a) Estudio de las estructuras | Secundarias |

b) Realizar un estudio de granulométrico .

. Todo esto para demostrar la hipótesis más aceptada, como es la -  
Kasakov, sobre la génesis de las fosforitas.

*BIBLIOGRAFIA*

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

- Alvarez - Jr, M. Provincias geológicas de la república mexicana. Boletín No. 2, tomo XXIV, Sociedad Geológica Mexicana, 1961, pag. 20-21.
- Anguejan, D.F.B. Presencia de fosforitas marinas frente a las - costas de Baja California Sur, Boletín Sociedad Geológica mexicana, tomo XXVI, México, 1963.
- Aubouin, J., Brousse, R., Lehman, J.P. Tectónica, tectonofísica y morfología, pag. 431-432. Tomo I Omega, Barcelona, 1980.
- Blatt, Midd, Murray Fosfatos, capítulo 17, pag. 587-595. Segunda edición, 1980 By Prentice-Hall inc; Englewood cliffs, New Jersey.
- Escandón, F.J. Bosquejo geológico de los depósitos de fosforitas de Baja California Sur, RoFoMex, Informe inédito, 1977.
- González-Gallardo, J.A. Estudio geológico del yacimiento de san juan de la costa en Baja California Sur, Tesis Profesional, UASLP, 1978.

Gutiérrez Soto, M.A. Aspectos geológicos del prospecto de san juan de la costa en Baja California Sur, Tesis profesional, UNAM, 1978.

Lindgren Mineral Deposits, Cap. XIX Depósitos producidos por procesos químicos en la concentración de yacimientos, pag. 291, 1933, MC -- Craw - Hill Book New York.

López-Ramos, E. Geología de México, Tomo II, segunda edición, pag. 48-49, 1978.

Pettijohn Rocas sedimentarias, ciclo del fósforo, pag. 471. 2da. edición 1957 Harper's Geoscience series, Carey Croneis, editor.

Silveyra-Ibarra, F. Fosfatos, beneficios de las fosforitas aluminicas, usos principales, del fósforo, Tesis Profesional, UNAM, 1978.

Valle-Alcalde, J. Yacimiento de fosfatos en santo domingo en Baja California Sur, Tesis Profesional, UNAM 1979.

## A P E N D I C E

- . PLANO No. 1: *Plano geológico - estructural de la unidad de San Juan de la Costa, incluyendo la zona de interés.*  
*Escala 1:10 000*
  
- . PLANO No. 2 : *Sección geológica de barreno a barreno de la zona de interés.*  
*Escala 1:10 000*
  
- . PLANO No. 3 : *Bloque diagramática de la zona de interés, - rasgos morfológicos y detallando el comportamiento de la capa fosfatada Humboldt.*  
*Escala 1:10 000*  
*(capa de interés económico)*  
*Nota: Los rasgos morfológicos idealizados*

- *Abreviaturas de las formaciones existentes en la zona de interés:*

<i>Tmsc</i>	<i>Terciario Mioceno Superior Comondú</i>
<i>Tmmsi</i>	<i>Terciario Mioceno Medio San Isidro</i>
<i>Tmim</i>	<i>Terciario Mioceno Inferior Monterrey</i>

- *Abreviaturas de las rocas y edades de las formaciones que existen en el estado de Baja California Sur.*

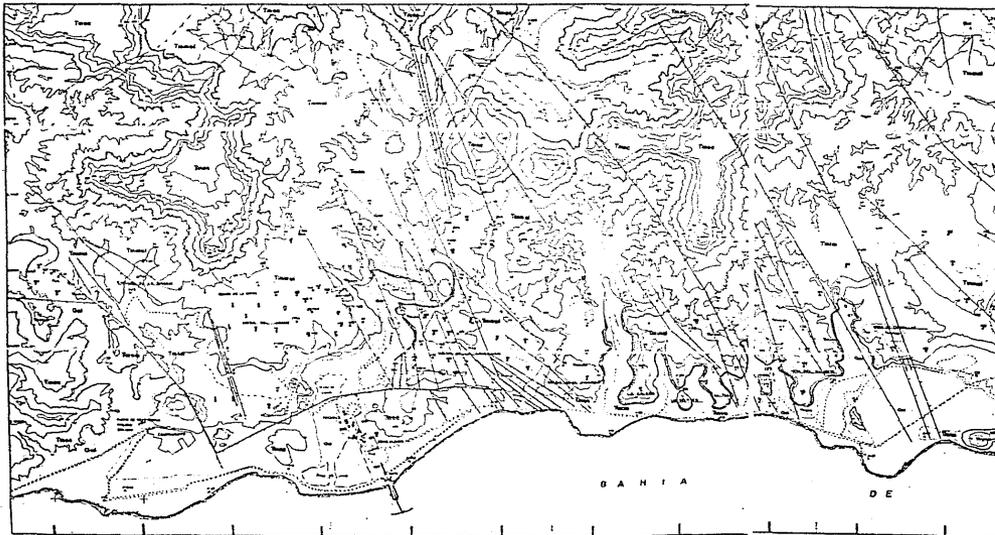
*Rocas Sedimentarias*

<i>Q</i>	<i>Cuaternario</i>
<i>P</i>	<i>Plioceno Continental y Marino</i>
<i>Plp</i>	<i>Plio - Pleistoceno</i>
<i>Tmm</i>	<i>Terciario Mioceno Marino</i>
<i>Tpe</i>	<i>Terciario Paleoceno Eoceno</i>
<i>Ks</i>	<i>Cretácico Superior</i>

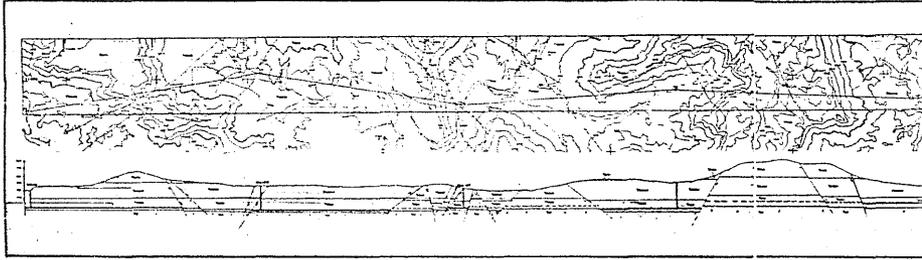
<i>Km</i>	<i>Cretacico Medio</i>
<i>Ki</i>	<i>Cretacico Inferior</i>
<i>Jvc</i>	<i>Jurásico Cretacico</i>
<i>Js</i>	<i>Jurásico Superior</i>
<i>Eoc</i>	<i>Eoceno</i>
<i>Ji</i>	<i>Jurásico Inferior</i>

- *Rocas Igneas y Metamórficas*

<i>Bq</i>	<i>Basaltos cuaternarios</i>
<i>Qv</i>	<i>Cuaternario Volcánico</i>
<i>Bm</i>	<i>Basaltos de Meseta</i>
<i>Mi</i>	<i>Mesozoico Intrusivo</i>
<i>Mzm</i>	<i>Mesozoico metamórfico</i>
<i>Csi</i>	<i>Cenozoico Superior intrusivo</i>
<i>Co</i>	<i>Complejo Ofrolítico</i>
<i>Cb</i>	<i>Complejo Basal</i>
<i>Tm</i>	<i>Terrazas Marinas</i>
<i>Tc</i>	<i>Terrazas Continentales</i>
<i>Tc</i>	<i>Terciario Cortinental</i>













1. Name of the project  
2. Date of the project  
3. Location of the project  
4. Name of the contractor  
5. Name of the engineer  
6. Name of the architect  
7. Name of the client  
8. Name of the consultant  
9. Name of the contractor  
10. Name of the engineer  
11. Name of the architect  
12. Name of the client  
13. Name of the consultant

