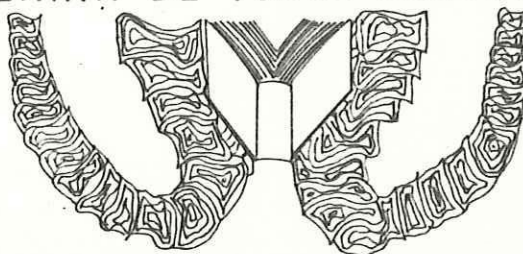


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS



" ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE LOS MINERALES
PESADOS PRESENTES EN LOS SEDIMENTOS CLASTICOS
DE LA BAHIA DE TODOS SANTOS, B. C. "



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

O C E A N O L O G O

PRESENTA

JOSE DOMINGO CARRIQUIRY BELTRAN

DEDICATORIA

DEDICATORIA

En memoria a mi padre

JOSE DOMINGO CARRIQUIRY LIZARRAGA

En Honor a mi madre

MARIA DE JESUS BELTRAN DE CARRIQUIRY

A mis hermanos

ALAN, CARLOS Y LILIA

A

NORA

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi mas profundo agradecimiento al Instituto de Investigaciones Oceanológicas y en especial al M. en C. Román Lizarraga Arciniega, Oc. Roberto Pérez Higuera y Oc. Alfredo Chee Barragán quienes desde el inicio del presente trabajo me dieron su apoyo .

Del mismo modo, quiero agradecer de manera especial a mi director de tesis Oc. Roberto Perez Higuera por su valiosa direccion y a mis sinodales M. C. Francisco Suarez Vidal, Oc. Oscar Gonzalez Yajimovich, Oc. Francisco Javier Aranda Manteca, Oc. Amilcar Levi Cupúl Magaña por sus acertados comentarios durante el desarrollo y revisión del presente trabajo.

Por ultimo quiero agradecer a los maestros del Area de Geología que influyeron positivamente en mi formación académica.

I N D I C E

RESUMEN	-----	1
INTRODUCCION	-----	4
ANTECEDENTES		
a) Generales	-----	9
b) Particulares	-----	11
OBJETIVO	-----	14
DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO		
a) Características sedimentológicas	-----	17
METODOLOGIA		
a) Técnicas de campo	-----	22
b) Técnicas de laboratorio	-----	22
c) Técnica de procesado de datos	-----	25
RESULTADOS		
a) Minerales pesados	-----	27
b) Grupos de susceptibilidad Magnética	---	29
c) Especies minerales	-----	29

I N D I C E

DISCUSIONES

a) Distribución de minerales pesados	---	39
b) variabilidad mineralógica	-----	40
c) Controles de la variabilidad mineralógica	-----	50
d) Patrón de variabilidad provincial	----	54
i) Efecto de fraccionación hidráulica causada por la forma	-----	56
ii) Efecto de fraccionación hidráulica causada por la densidad	-----	57
iii) Efecto de la susceptibilidad a la alteración química	-----	57
iv) Variabilidad con respecto a los minerales químicamente alterados	-----	58
e) Influencia de los agentes químicos y físicos en el origen de los depósitos sedimentarios	-----	60
f) Procedencia mineralógica de los depósitos sedimentarios	-----	66
CONCLUSIONES	-----	68
BIBLIOGRAFIA	-----	72

RESUMEN

Con el fin de analizar la distribución de los minerales pesados y determinar las provincias petrológicas sedimentarias presentes en los sedimentos clásticos de la plataforma continental correspondiente a la Bahía de Todos Santos, B.C., los datos mineralógicos de las 26 especies encontradas fueron normalizados y ordenados en forma matricial para posteriormente ser procesados por medio de análisis multivariados -en este caso se utilizó el análisis de grupos en modo-Q,-. Se obtuvieron cuatro provincias petrológicas sedimentarias caracterizadas por una asociación bien definida de minerales pesados.

Con el fin de examinar los factores que controlan a cada provincia, se llevaron a cabo análisis de correlación y análisis de varianza, encontrando que en el mejor de los casos (biotita), solo el 20 por ciento de la variabilidad es explicado en términos de la variabilidad del diámetro medio de la arena y que el 80 por ciento restante de la variabilidad es debida a efectos de la fraccionación hidráulica causada por la forma, la densidad y por la susceptibilidad a la alteración química.

Además, se encontró que la asociación mineralógica de la provincia II ha sido fuertemente modificada por efectos de intemperismo químico, en el cual, los minerales menos estables (hornblenda y piroxenos) disminuyeron en concentración por solución química post-deposicional, produciendo -por consiguiente- un "crecimiento" en la concentración de minerales estables y ultraestables (zircón, monacita, rutilo, etc.) lo cual sugiere que dicha provincia esté constituida por sedimentos relictos.

Las provincias I y IV están definitivamente más influenciadas por efectos continentales como aporte de sedimentos por los arroyos, erosión de cantiles, y transporte de sedimento a lo largo de la costa, mientras que la provincia III es una zona de mezcla en la cual están interactuando sedimentos relictos con sedimentos modernos.

Las rocas fuentes que proporcionan sedimento a estas provincias están caracterizadas por una fuerte dominancia de hornblenda, egirina y augita -egirina, lo cual sugiere un fuente de composición granítica o granodiorítica. Además, la abundancia de hiperstena y pigeonita en la provincia I sugiere otras fuentes como la tonalita y rocas

basálticas -andesíticas en la que estos minerales son los piroxenos mas abundantes.

INTRODUCCION

Los minerales presentes en un sedimento o roca sedimentaria clástica que son los mas indicativos de un origen particular y de la historia de el sedimento, son aquellos comunmente referidos como "minerales pesados" (Briggs, 1965), y que se caracterizan por tener una gravedad especifica mayor que 2.85 .

Los minerales pesados han sido usados desde principios de siglo para resolver problemas sedimentológicos (Royce, 1970), y aunque en un tiempo su uso decreció debido a que se sobrenfatizó en los aspectos negativos de su distribución de tamaños y a la alteración química a la que estan sujetos, es a partir de el trabajo de Van Andel y Poole (1960), sobre los sedimentos Holocénicos del Norte del Golfo de México cuando los sedimentólogos empezaron a mirar a los minerales pesados con un renovado interes basado en un mayor entendimiento de los procesos que producen la diversidad en las asociaciones de dichos minerales (Carver, 1971).

El estudio de los minerales pesados provee una base para la determinación de provincias mineralógicas y la

interpretación de las rocas fuentes que contribuyeron con sedimentos al depósito (Poole, 1958 ; Van Andel, 1959; Briggs, 1965; Pettijhon et. al., 1972).

De acuerdo a Baturin (1931) y Edelman (1933), una provincia petrológica sedimentaria esta definida como "un grupo de sedimentos que constituyen una unidad natural de acuerdo a su edad, origen y distribución".

Los factores que controlan la distribución de los minerales pesados en arenas naturales se enumeran enseguida : variación de la gravedad específica, forma, dureza, tamaño de grano de las rocas fuente, abrasión ocurrida durante el transporte, velocidades de asentamiento y el grado de clasificación de los granos . Estos factores pueden dar como resultado diferencias considerables en las cantidades relativas de los minerales en las muestras de arena que fueron derivadas de las mismas rocas fuente y en diferentes fracciones de la misma muestra (Rubey, 1933; Van Andel y Poole, 1960 ; Carver, 1971).

Los procesos de intemperismo dan como resultado la poca frecuencia, o hasta la o ausencia, de algunos minerales en sedimentos antiguos (Van Andel, 1959) y pueden

tener una influencia decisiva en las asociaciones mineralógicas. Así, por ejemplo, los sedimentos antiguos son generalmente más ricos en minerales estables como el zircón, turmalina y rutilo. En sedimentos jóvenes, los minerales pesados dominantes son la hornblenda, augita y epidota. La evidencia de corrosión, en ciertos minerales indica que parte de ellos pueden haber desaparecido como un resultado de intemperismo (Ayalón, 1976).

Una provincia está mejor definida cuando su asociación contiene minerales que no se presentan en cantidades significantes en cualquiera de las otras provincias vecinas dentro de la misma cuenca. Frecuentemente son encontrados los mismos minerales en muchas o en todas las provincias de la cuenca sedimentaria y las asociaciones tienen que ser definidas con la ayuda de las diferencias en frecuencias. Ante tal situación, puede llegar a ser muy difícil el establecer las fronteras de las provincias y la evaluación de las zonas de mezcla o transición llega a ser en cierto modo algo subjetivo (Van Andel y Poole, 1960; Ayalón, 1976). Es por esto que se han propuesto técnicas estadísticas más elaboradas para llevar a cabo una agrupación de diferentes muestras de tal forma que estas sean lo suficientemente semejantes como para

agruparlas.

El primer intento estadístico a la solución de este problema fue hecho por Dryden (1935) quien usó los coeficientes de correlación para comparar las agrupaciones de minerales pesados, hecho que despertó críticas y oposiciones por parte de K. F. Pettijohn (1938) entre otros, pues argumentaban que no había ninguna teoría estadística desarrollada por Dryden para el uso del coeficiente de correlación y a su vez proponían las pruebas X (chi cuadrado).

Un grupo de taxonomistas que querían tener un medio por el cual pudiesen deducir el linaje de los seres vivos a partir de sus características y similitudes, desarrollaron una técnica de clasificación que consistía en conjuntar a los objetos en grupos más o menos homogéneos de tal manera que la relación entre ellos fuera evidente. Solo que como esto era muy subjetivo y dependiente del taxonomista, un grupo de investigadores inconformes con la subjetividad del método, decidieron mejorar las técnicas de clasificación tomando en cuenta la idea central de los taxónomos por su analogía con la geología, creando así la técnica de análisis de grupos,

de tal manera que se puedan manejar gran número de datos por medio de las computadoras. Técnica que ha sido utilizada para agrupar una gran diversidad de unidades taxonómicas, porcentos de minerales pesados, de oolitas, de especies de foraminíferos o elementos traza, o bien, estas pueden ser tamaño de grano, porosidad o datos gravimétricos. Las muestras pueden ser secciones delgadas de rocas clásticas o calizas, muestras de fondo de sedimentos recientes, etc. (Parks, 1966).

ANTECEDENTES

a) Generales.

Trabajos como los realizados por Rubey (1933b) y por Rittenhouse (1943) han sido de los mas relevantes sobre transporte y depositación de minerales pesados, pues a partir de estos trabajos podemos hacer las interpretaciones correspondientes a la zona en que se encuentran.

Goldstein (1942), al realizar un estudio de distribución de minerales pesados en la parte Norte del Golfo de México, detecta diferencias regionales en la composición mineralógica lo cual le permite distinguir cuatro areas de sedimentos que representan cada una a una provincia mineralógica caracterizada por una asociación mineralógica bien definida.

Poole (1958) estudiando la variación de los minerales pesados en las Bahías de San Antonio y Mesquite en la costa de Texas por medio de análisis estadísticos, le fue posible dividir las bahías en areas donde las cantidades relativas de minerales pesados eran estadísticamente

homogeneas y representadas por una asociaci3n mineral3gica bien definida.

Pomerancblum (1966) al analizar y definir la distribuci3n de minerales pesados y su equivalencia hidr3ulica en los sedimentos de la plataforma continental de Israel, encuentra que se da una agrupaci3n de sedimentos de acuerdo a su capacidad a responder a diferentes condiciones hidr3ulicas, adem3s encuentra concentraciones de zirc3n de importante valor econ3mico.

Siddiquie y Mallik (1972) al realizar un an3lisis del patr3n de distribuci3n mineral3gica de los sedimentos recientes de la plataforma continental oeste de la India, definen tres provincias petrol3gicas sedimentarias. Adem3s, en base a la distribuci3n anormal de minerales pesados en una zona de dicha regi3n, concluyen que tal lugar corresponde a viejas zonas de sedimentaci3n y representan sedimentos relictos.

Ayal3n (1976) en un estudio mineral3gico de los sedimentos detr3ticos de la costa oeste del Golfo de Elat, Israel, determina la distribuci3n de minerales pesados encontrando que las diez especies de minerales pesados (no

opacos) presentes, varían significativamente de tal manera que forman cuatro provincias distintas de minerales pesados.

Flores y Shideler (1978) al hacer un estudio de minerales pesados en el Golfo de México, obtuvieron tres provincias de minerales pesados por medio de análisis multivariados. Además, con el fin de definir los factores que controlan localmente cada una de las provincias definidas por ellos, utilizaron análisis de varianza, correlación y métodos de regresión, encontrando que cada una de las provincias sedimentarias han sido influenciadas significativamente por fraccionación hidráulica debido al tamaño, forma, densidad y descomposición química selectiva de los minerales pesados inestables.

b) Particulares

Emery, Gorline, Uchupi y Terry (1957) en su estudio de sedimentos en la Bahía de Todos Santos, B.C., mencionan que los minerales pesados presentes en los sedimentos comprenden cerca del 5 por ciento del sedimento total en una amplia banda en el borde de la plataforma continental cerca del cañón submarino, y de que los sedimentos finos

del cañón, los sedimentos gruesos de la entrada (boca) norte de la bahía y de las áreas de playas contienen porcentajes aun menores de minerales pesados.

Judge (1970) al realizar un trabajo de procesos litorales utilizando a los minerales pesados como indicadores de la dirección de transporte, analiza las provincias de minerales pesados a lo largo de la costa de California mencionando que seria razonable extender la provincia de hornblenda (en la cual la hornblenda constituye el 60 por ciento de la agrupación de los minerales pesados) desde palos verdes, E.U.A hacia el sur, hasta mas allá de la frontera mexicana en un punto indefinido.

Baca (1981), al hacer un estudio de procedencia de minerales pesados, concluye que las fuentes de procedencia de estos en la Bahía de Todos Santos, B.C., son los arroyos que drenan en épocas de lluvias la cuenca de drenaje de Ensenada y sus alrededores.

Pérez (1982), haciendo un estudio de relación mineralógica entre al area drenada por el arroyo El Carmen y su depósito, concluye que en base a la dominancia de

ciertos minerales en la mayoría de las muestras analizadas, sugieren una fuerte tendencia a que la fuente principal sea de composición leucocrática como lo son la granodiorita, granito y tonalita. considerando claro, que la influencia de las rocas batolíticas es determinante en la composición mineralógica de los sedimentos la cual está representada por la asociación hornblenda -hiperstena -biotita.

Aranda (1983) al hacer un estudio de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, B.C., estudió la mineralogía de los arroyos que desembocan a ella encontrando que las asociaciones mineralógicas presentes están caracterizadas principalmente por hornblenda -biotita. Además, concluye que la fracción 3.0 ϕ y 3.5 ϕ son muy semejantes composicional y proporcionalmente en lo que respecta a minerales pesados.

OBJETIVO

Analizar y definir la distribución de los minerales pesados mas abundantes presentes en los sedimentos clásticos de la plataforma continental correspondiente al area de la Bahía de Todos Santos, B.C. Además, como objetivo secundario se plantea definir provincias de minerales pesados en base a las asociaciones de estos, presentes en el area de estudio.

AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Todos Santos, B.C., está localizada aproximadamente a 100 Kms. al sur de la frontera México-E.U.A., sobre la costa oeste de la península de Baja California, entre $31^{\circ} 40'$ y $31^{\circ} 56'$ de latitud Norte y de $116^{\circ} 36'$ a $116^{\circ} 50'$ longitud oeste, presentando una superficie aproximada de 240 Kms. cuadrados (Sria. de Marina, 1974).
Figura 1 .

La Bahía de Todos Santos, B.C., limita al norte con Punta San Miguel caracterizada por playas angostas, terrazas y acantilados marinos. Al este con la ciudad de Ensenada y con el estero de Punta Banda cuya costa es de playas arenosas con tamaño medio de 2.0 \emptyset y bien clasificadas. Al sur con Punta Banda, cordón montañoso que corre normal a la orientación general de la península de Baja California y caracterizada por ser irregular y rocosa con cantiles cortados casi verticalmente. Al oeste limita con las Islas Todos Santos, las cuales están separadas de punta banda por un profundo valle submarino (cañón) que alcanza a tener hasta 400 metros de profundidad. La topografía submarina de la Bahía de Todos Santos está caracterizada por encontrarse cerca del 80

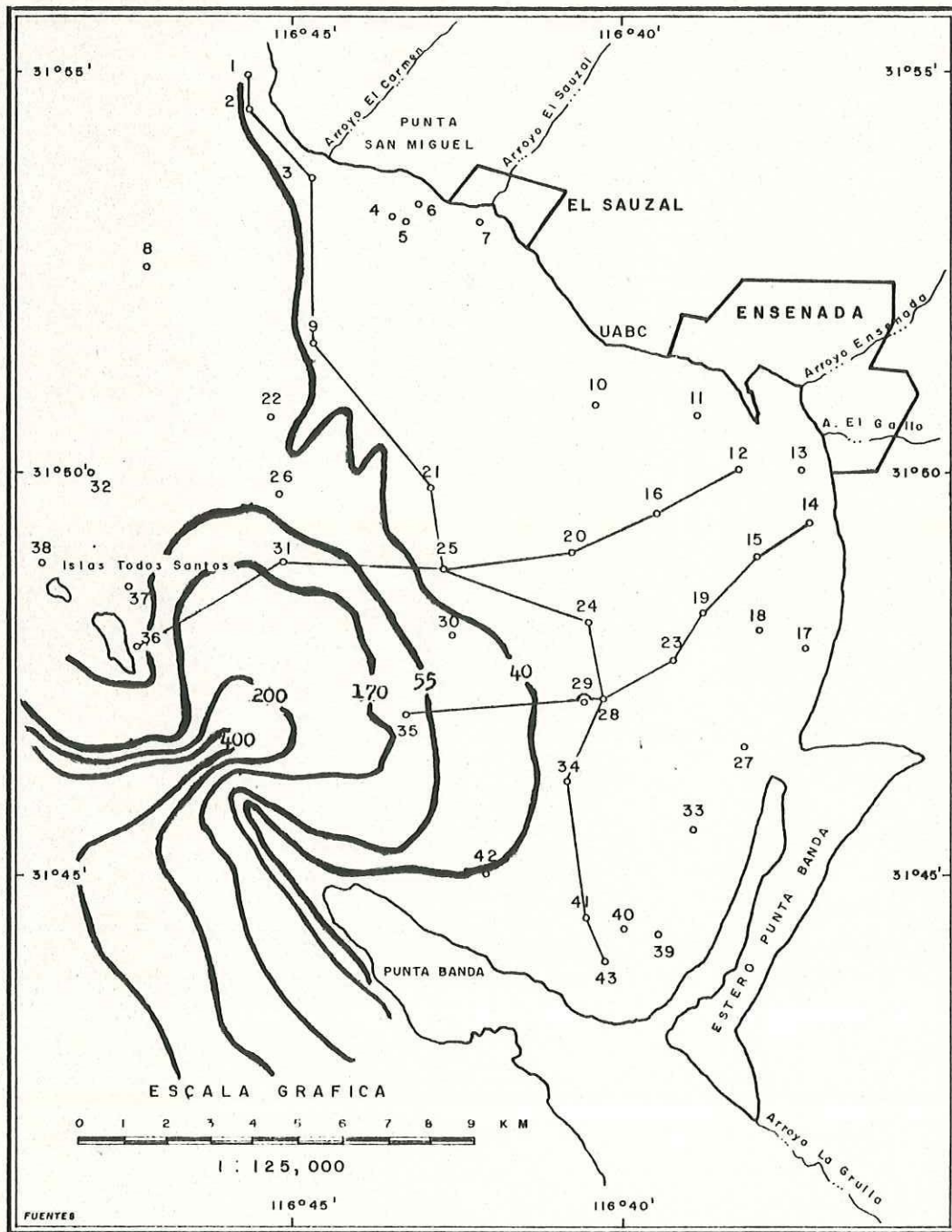


Fig. I. LOCALIZACION DEL AREA Y ESTACIONES DE MUESTREO

por ciento de el área del fondo a menos de 50 metros de profundidad. (Emery et. al., 1957).

La geología de las rocas presentes en las cuencas de drenaje de todos los arroyos que desembocan lo largo de la bahía, esta caracterizada por ser generalmente afloramientos de tonalita, granito, granodiorita, basaltos-andesíticos y rocas volcánicas prebatolíticas. El mapa geológico se presenta en la figura 2.

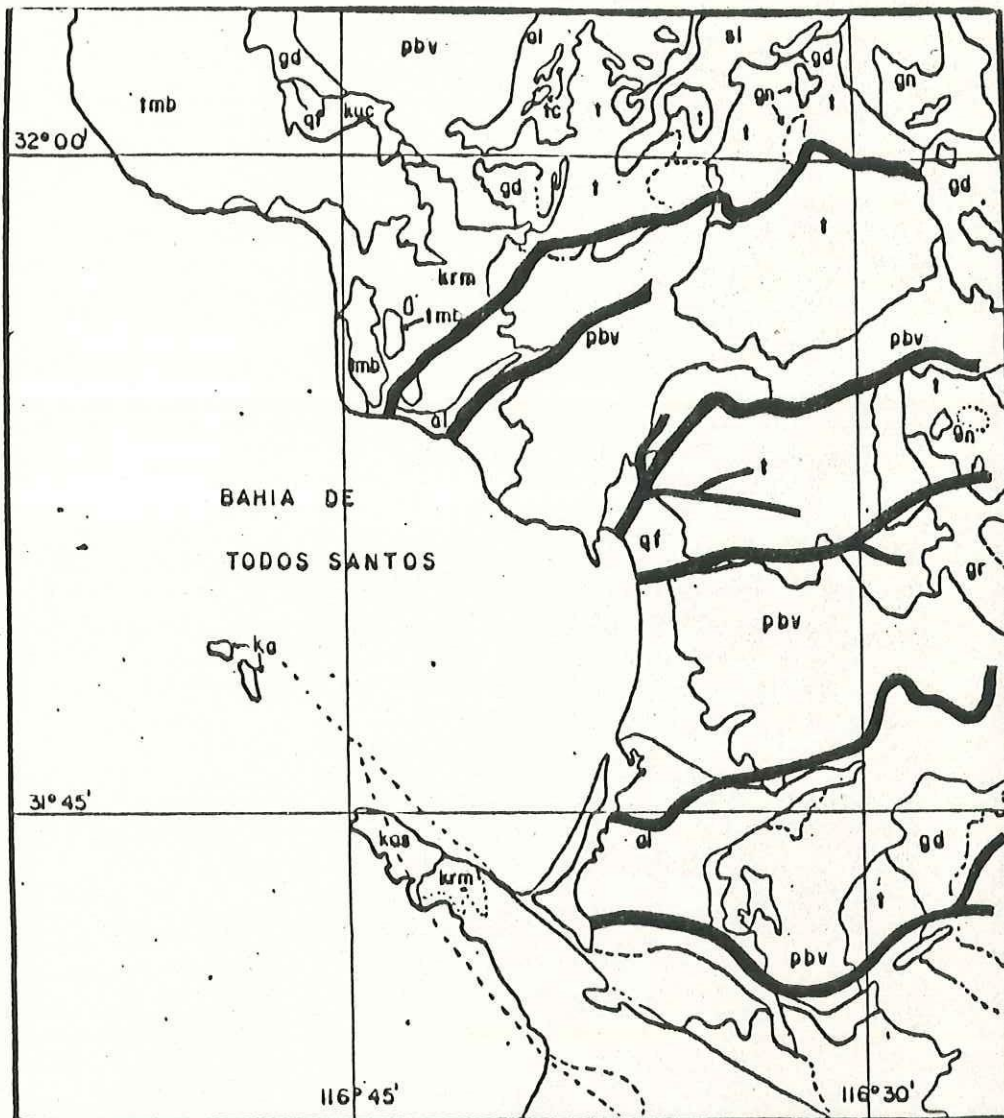
a) Características sedimentológicas.

Los sedimentos de la Bahía de Todos Santos, B.C., están arupados dentro de tres grupos sedimentológicos obtenidos a partir de graficar la mediana (Md_0) contra la clasificación (Sd_0) y de la mediana contra la asimetría (Sk_0). (Walton, 1955).

A continuación, se presentan las características de los sedimentos descritos por Walton (1955).

Grupo I

En este grupo los sedimentos son relativamente



pbv.	Prebatalítico Volcanico
t	Tonalita
al	Aluvion
tmb	Terclario Mioceno basalto
gd	Granodiorita
krm	Cretacico Rosario Marino
el	Pizarra
kuc	Cretacico redondo
qf	Cuaternario fluvial
gn	Gneiss
tc	Conglomerado

Fig. 2

MAPA GEOLOGICO DEL AREA

(Gastil, R.G. et al, 1971)

gruesos con una mediana que va desde menos que 1.0 ϕ a 3.0 ϕ y con una clasificación pobre (generalmente mayor que 0.5 unidades phi). Están caracterizados por la presencia de guijas y guijarros, abundante contenido de fragmentos de conchas y bajos porcentajes de glauconita en forma de moldes internos de foraminíferos, lo cual sugiere una sedimentación extremadamente lenta.

Grupo II

Estas arenas finas y limos de color verde cubren la mayoría del área de la bahía con medianas que van entre 3.0 y 4.0 ϕ . Están bien clasificados con una desviación estandar generalmente debajo de 0.5 unidades phi.

Grupo III

Este grupo de sedimentos parece ser una continuación del grupo II hacia mar adentro, y se presentan a partir de un rango de profundidad de 180 a 400 m, su mediana es más grande que 5.0 ϕ . Están pobremente clasificados (desviación estandar más grande que 1.0 unidades phi). Tienen un alto contenido de micas y muestran evidencias de intenso retrabajamiento. La distribución geográfica y su

gráfica se presentan en la figuras 3 y 4 .

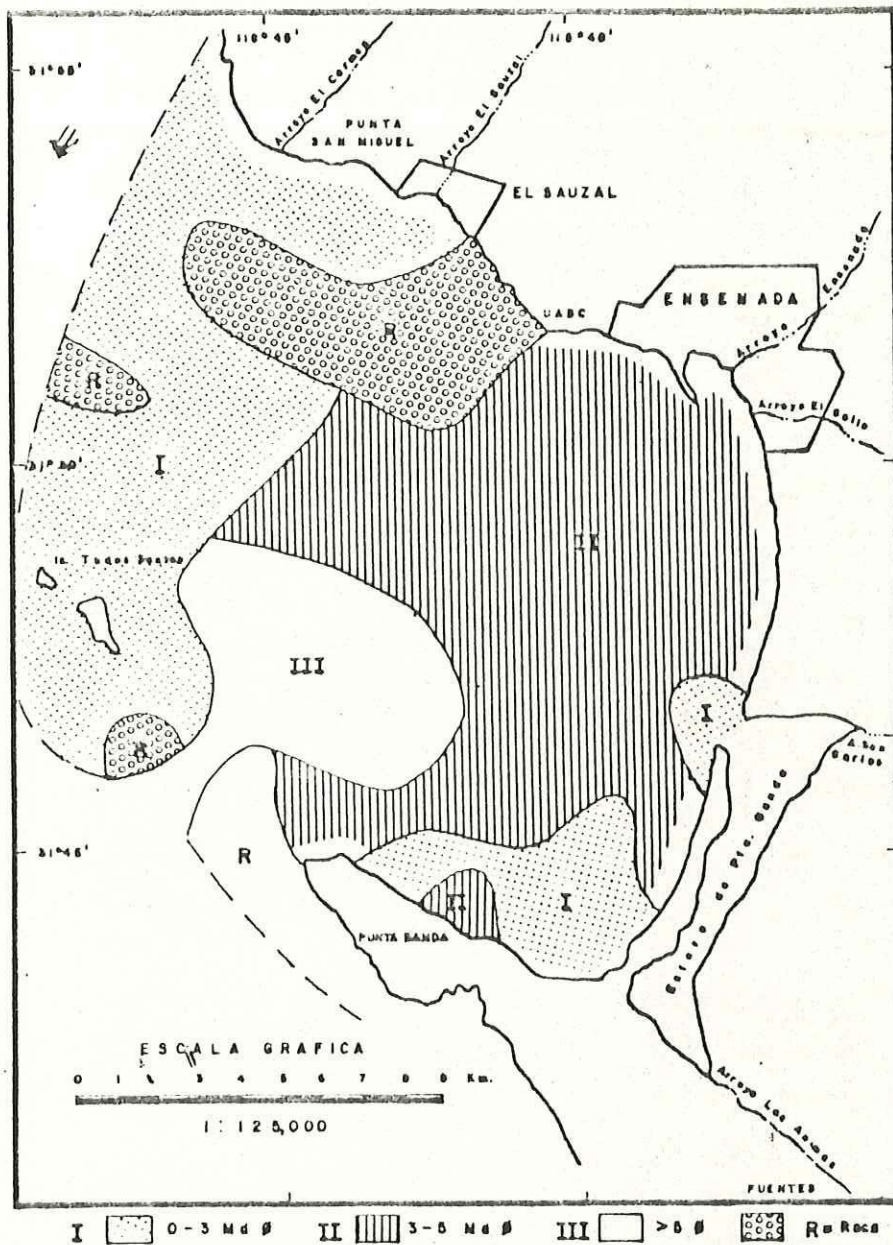


Fig. 3 - DISTRIBUCION DE SEDIMENTOS DE LA BAHIA DE TODOS SANTOS, B. C. Walton, (1955).

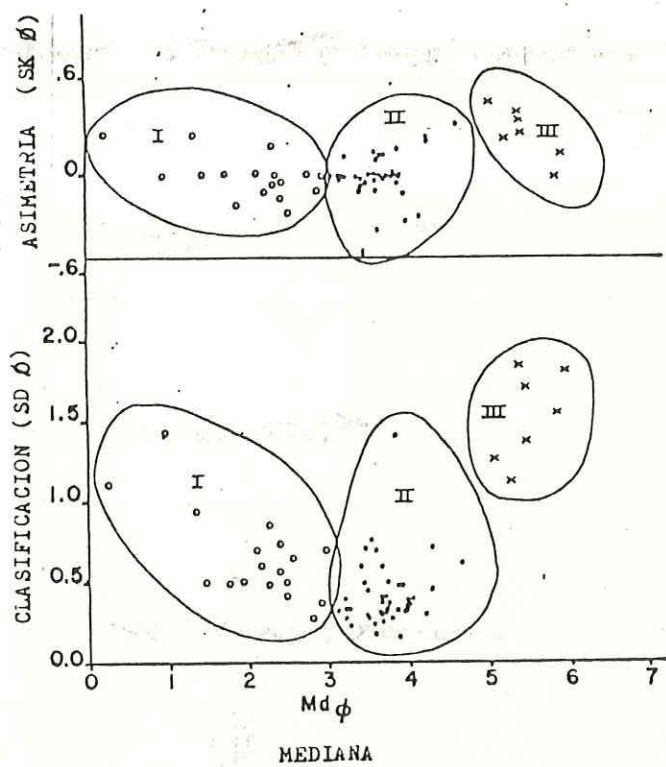


Fig. 4 . grupos sedimentarios en la Bahia de Todos Santos, B.C. obtenidos al graficar la mediana (MD Ø) contra la clasificacion (SD Ø) y contra la asimetría (SK Ø) .

METODOLOGIA

a) Técnicas de campo

Durante los dias 20, 21, 22 de mayo 1983 el Instituto de Investigaciones Oceanológicas y la Secretaria de Marina realizaron un crucero oceanográfico a bordo del B/O Mariano Matamoros donde se colectaron un total de 40 muestras de sedimentos superficiales . 3 muestras adicionales fueron colectadas en el crucero oceanográfico realizado por la Escuela Superior de Ciencias Marinas y la Secretaria de Marina en el mes de Octubre de 1983 . En ambas ocasiones fue utilizada una draga tipo Van Veen que fué lanzada desde el barco para obtener las muestras de sedimentos (figura 1) .

El patrón de muestreo fué diseñado de tal manera que fuesen lineas rectas perpendiculares a la costa este de la bahia en el que la profundidad fuese decreciendo suavemente sin haber cambios bruscos.

b) Técnicas de laboratorio

Despues de haber colectado las muestras, fueron

almacenadas para posteriormente en el laboratorio ser pretratadas y separadas por análisis de tamaños de acuerdo a Royce (1970). Se decidió tomar únicamente la fracción 3.5 ϕ debido a que Pérez (1982), Aranda (1983) y Alatorre (1985, en preparación) encuentran que desde el punto de vista mineralógico las fracciones 3.0 y 3.5 (unidades phi) son composicional y proporcionalmente muy semejantes, siendo más abundante en minerales pesados la fracción 3.5 ϕ .

Ya habiendo obtenido la fracción 3.5 ϕ de cada muestra, se procedió a aplicar la técnica de Fessenden (1959), la cual consiste en centrifugar la muestra en un líquido de alta gravedad específica (bromoforno) por lo que los minerales pesados se sedimentan en el líquido y los minerales ligeros flotan sobre él.

Los minerales pesados obtenidos fueron pesados y microcuarteados hasta obtener dos submuestras. Una se montó sobre una placa de la que se hizo directamente el conteo. A la otra submuestra se le pasó un imán de mano para atraer a los minerales susceptibles a su magnetismo. Después, de acuerdo a una técnica análoga a la propuesta por Rossemblum (1958) y adaptada por Aranda (1983) para el

separador magnético Carpco, los minerales pesados se separaron en clases de acuerdo a su susceptibilidad magnética, de tal manera que se obtuvieron cuatro grupos: Grupo I (0.4 Amps), Grupo II (1.2 Amps), Grupo III (2.5 Amps), Grupo IV (no susceptibles a 2.5 Amps o no magnéticos).

Esta separación magnética se hizo con el fin de facilitar la identificación de cada uno de los minerales para luego en la otra placa hacer mas rápido el conteo, el cual se llevó a cabo utilizando un microscópio polarizante.

Una vez que los minerales fueron identificados, se contaron entre 600 y 1200 granos por muestra utilizando un contador de nueve unidades y usando indistintamente el método de campo o el de línea (Ramessan, 1966). En ocasiones hubo la necesidad de contar todos los granos de la placa debido a la gran variedad de minerales presentes (se contaron hasta 26 especies minerales). Para el conteo e identificación de los minerales opacos se utilizó también un microscópio estereoscópico.

Es necesario aclarar que se hizo el conteo de

minerales alterados, pero los porcentos obtenidos de cada especie mineral fueron referidos a los restantes no alterados. O sea :

a) $100 \% \text{ muestra} = \% \text{ alterados} + \% \text{ no alterados}$

b) para la determinación de porcentos por especie

No Alterados = 100 %

Eso se realizó, debido a que al incluir a los alterados en la matriz de datos, era muy probable que la correlación entre las muestras fuera fuertemente influida por los minerales alterados y esto es algo "no deseable", ya que la Bahía es una zona muy conflictiva respecto al origen y equilibrio de los sedimentos, pues se encuentran interactuando sedimentos relictos con sedimentos modernos (Walton, 1955).

c) Técnica de procesado de datos

El método de análisis de los presentes datos es una técnica de análisis multivariados conocida comunmente como análisis de grupos y que consiste en agrupar muestras

(modo-Q) como variables (modo-R) que tienen altos coeficientes de similitud y que los va agrupando sucesivamente a niveles jerarquicamente mas bajos a medida que decrece el coeficiente de similitud entre ellos (Ali y Feldhausen, 1975).

Este método consiste basicamente en la técnica llamada "promedios aritmeticos" , en la que el primer paso es el encontrar la correlación mas alta entre dos objetos para formar los centros de la agrupación y asi empezar a construir un dendrograma o diagrama de arbol, el cual es la forma mas común de mostrar los resultados de la agrupación. Despues, la matriz de similitud es recalculada tratando a los elementos agrupados como un elemento sencillo y, se sigue asi hasta haber agregado al ultimo elemento con el coeficiente de similitud mas bajo. Esta técnica de promedios aritméticos es mas ampliamente descrito por Davis (1973).

RESULTADOS

Con el fin de entender el comportamiento de los minerales pesados, grupos de susceptibilidad megnética y especies mineralógicas, se decidió analizar a la Bahía de Todos Santos, B.C., a lo largo y a lo ancho por medio de perfiles para detectar si existe alguna variación en dirección perpendicular y/o paralela a la costa, de tal manera que se trazaron dos perfiles a profundidad (perfil norte 15 Km y perfil sur de 11 Km de longitud) y uno lateral (de 24 Kms. de largo) el cual sigue un patrón paralelo a las isóbatas y a la costa (figura 1)

a) Minerales pesados

Los minerales pesados presentes en la fracción 3.5 0 de cada muestra se presentan en la tabla I, en la que se incluyen los porcentos de minerales alterados, minerales opacos, no opacos, diametro medio del sedimento y la profundidad en metros. Los porcentajes de minerales pesados en la bahía van desde 0.36 % en la estación 37 (frente a las islas) hasta 56.21 % en la estación 8 (en la entrada norte de la bahía), con un promedio de 13.21 % y una desviación estandar de 11.49 %.

TABLA I . Diferentes características sedimentológicas de los sedimentos de la Bahía de Todos Santos, B.C.

ESTACION	% MINERALES PESADOS	% MINERALES ALTERADOS	% MINERALES OPACOS	% MINERALES NO OPACOS	MEDIA ($\mu\phi$)	PROFUNDIDAD (METROS)
1	16.91	12.33	11.31	88.69	02.89	21
2	16.72	21.40	12.29	87.71	02.42	28
3	19.03	13.33	09.65	90.35	01.02	30
4	23.44	12.18	27.32	72.68	02.00	22
5	26.75	12.07	19.44	80.56	02.15	20
6	20.20	23.42	28.14	71.86	02.22	19
7	26.34	17.66	28.84	71.16	02.73	14
8	56.21	11.35	42.95	57.05	02.45	45
9	17.65	21.54	25.86	74.14	02.27	25
10	09.83	20.51	68.79	31.21	01.16	17
11	07.92	25.16	18.88	81.12	05.92	10
12	01.97	23.13	13.22	86.78	04.82	11
13	34.26	17.72	19.50	80.50	02.58	3
14	26.67	34.35	11.20	88.80	02.83	4
15	03.79	19.80	14.11	85.89	04.60	15
16	12.42	47.39	19.48	80.52	04.58	18
17	37.67	28.69	20.05	79.95	02.56	6
18	09.30	38.45	14.04	85.96	04.86	15
19	06.46	16.90	08.15	91.85	04.97	16
20	04.00	20.05	17.70	82.30	05.00	20
21	27.38	28.96	32.46	67.54	01.54	36
22	16.94	23.56	43.34	56.66	01.09	38
23	03.49	36.09	19.84	80.16	04.59	20
24	10.13	33.35	17.96	82.04	06.24	25
25	00.77	42.56	33.29	67.71	05.72	33
26	10.14	15.22	67.82	32.18	00.01	33
27	11.69	18.32	09.87	90.13	00.36	16
28	00.96	47.68	40.71	59.29	04.92	27
29	02.43	20.39	14.07	85.93	05.00	30
30	00.51	30.43	25.94	74.06	04.87	29
31	13.03	22.89	22.87	77.13	04.98	41
32	09.96	06.17	83.15	16.85	01.41	38
33	11.79	14.69	19.95	80.05	03.06	23
34	04.36	19.90	21.34	78.66	04.91	99
35	09.61	33.03	18.49	81.51	05.27	56
36	02.77	17.82	41.53	58.47	02.86	150
37	00.36	30.40	36.13	63.87	05.25	67
38	07.43	45.73	56.64	43.36	00.01	49
39	15.16	17.02	10.69	89.31	04.73	8
40	19.90	18.36	07.74	92.26	02.99	18
41	09.01	16.67	14.96	85.04	03.13	28
42	03.02	17.30	10.70	89.30	05.24	66
43	11.30	23.07	12.75	87.25	00.96	8
\bar{X}	13.21	23.90	25.42	74.60		
σ_{n-1}	11.49	10.07	17.18	17.30		

b) Grupos de susceptibilidad magnética

Se obtuvieron un total de 172 láminas montadas con los cuatro grupos de susceptibilidad. Los porcentajes en peso de cada muestra pueden ser observados en la tabla II. Como puede verse, tanto en la tabla II como en las gráficas (figuras 5, 6, 7), invariablemente el grupo II fue el que se presentó en mayor proporción con valores que van desde 10.61 a 89.47 peso en por ciento. Al observar las gráficas de las figuras 5 y 6, se ve claramente que el grupo III (constituido principalmente por egirina, augita-egirina) se mantiene casi constante, mientras que el grupo II (constituido principalmente por hornblenda e hiperstena) tiende a aumentar grandemente a la profundidad. El perfil lateral (figura 7) tiene un comportamiento muy semejante a los otros dos perfiles en el cual el grupo III se mantiene casi constante y el grupo II aumenta fuertemente hacia la costa norte.

c) Especies minerales

se obtuvieron un total de 43 placas (una por cada estación) para el conteo de especies minerales. En la tabla III pueden observarse las frecuencias en por ciento

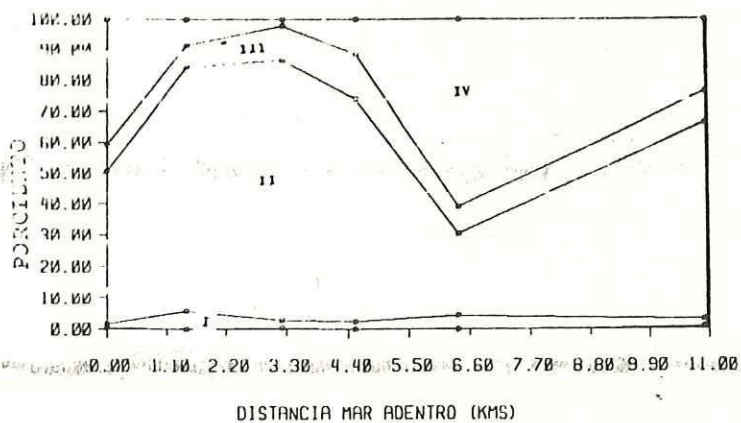


Fig. 5 COMPORTAMIENTO DE LOS GRUPOS DE SUCEPTIBILIDAD MAGNETICA A PROFUNDIDAD. PERFIL SUR.

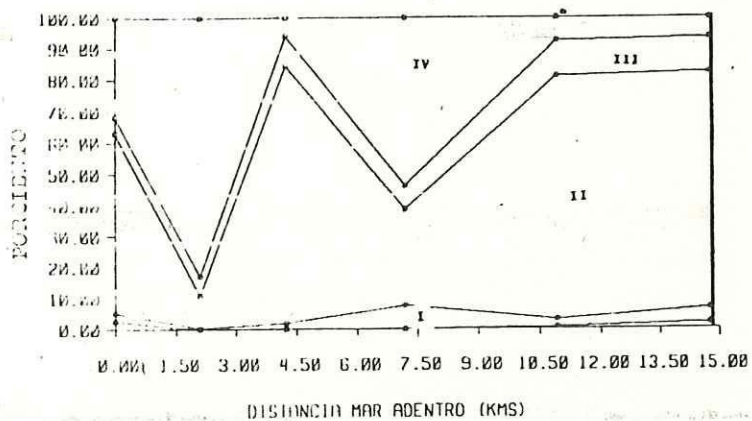


Fig. 6 COMPORTAMIENTO DE LOS GRUPOS DE SUCEPTIBILIDAD MAGNETICA A PROFUNDIDAD. PERFIL NORTE

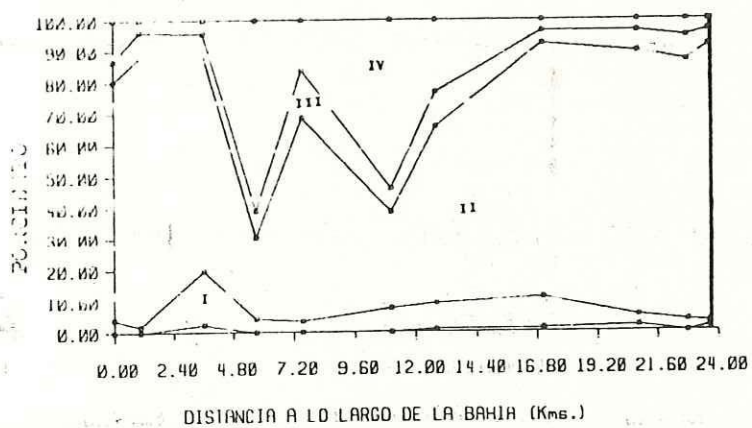


Fig. 7 COMPORTAMIENTO DE LOS GRUPOS DE SUCEPTIBILIDAD MAGNETICA A LO LARGO DE LA BAHIA

TABLA II. Peso en por ciento de los diferentes grupos de susceptibilidad magnetica para las 43 muestras.

<u>ESTACION</u>	<u>MAGNET.</u>	<u>GPO. I</u>	<u>GPO. II</u>	<u>GPO. III</u>	<u>GPO. IV</u>
1	01.75	01.34	88.66	04.95	03.30
2	00.00	03.52	83.33	07.89	05.26
3	01.79	03.56	84.35	06.75	03.55
4	00.00	02.87	82.87	09.26	05.00
5	08.56	01.44	80.45	06.10	03.45
6	06.48	07.59	41.20	12.00	32.73
7	02.50	05.95	72.67	12.93	05.95
8	02.00	12.65	73.10	08.05	04.20
9	01.20	10.02	81.09	04.00	03.69
10	03.53	27.87	46.91	10.85	14.52
11	01.34	03.46	65.05	15.22	16.26
12	02.57	02.64	57.93	05.26	31.60
13	02.38	04.59	77.01	10.31	08.07
14	00.37	01.31	49.15	08.74	40.78
15	00.00	05.72	78.57	07.14	08.57
16	00.00	00.46	10.61	06.19	82.74
17	01.74	02.81	65.63	09.39	22.15
18	00.27	01.69	43.09	12.11	43.09
19	00.41	02.52	84.03	11.34	02.10
20	00.00	01.96	82.46	09.74	05.84
21	00.85	08.34	56.49	10.93	23.39
22	02.08	14.49	65.21	00.72	19.56
23	00.00	02.30	71.75	14.50	11.45
24	00.00	03.47	65.05	15.22	16.26
25	00.00	07.70	30.76	07.70	53.84
26	01.40	08.69	76.81	04.34	10.14
27	00.00	05.28	78.94	06.57	09.21
28	00.00	04.37	26.08	08.69	60.86
29	00.00	04.96	77.77	09.87	07.40
30	00.00	06.67	53.33	20.00	20.00
31	00.62	02.49	77.98	11.64	07.27
32	18.93	79.48	15.38	02.56	02.56
33	00.22	02.50	86.81	08.18	02.50
34	02.29	17.37	69.50	06.50	04.34
35	00.75	02.27	63.25	09.88	23.58
36	01.96	04.66	75.65	11.20	06.53
37	00.00	07.69	61.53	15.39	15.39
38	11.53	17.64	47.05	29.41	05.90
39	00.00	02.29	65.28	24.32	08.11
40	00.00	01.68	82.29	09.44	06.59
41	00.00	01.79	86.09	08.28	03.84
42	01.02	05.26	89.47	02.10	03.15
43	00.00	04.05	76.20	06.45	13.30

de las 26 especies de minerales pesados contadas en la fracción 3.5 ϕ .

En las figuras 8a, 9a, 10a se muestra el comportamiento general de los minerales pesados en los cuales se incluye a "otros" que está constituido por epidota, granate, turmalina, apatita, rutilo y fluorita. Con el fin de ver como varían las proporciones de los minerales denominados "otros" se hizo una gráfica complementaria por perfil (figuras 8b, 9b, 10b).

En los perfiles a profundidad (figuras 8a, 9a) se observa un fuerte dominio de los piroxenos, anfíboles, biotita y opacos. Estos últimos, tienden a aumentar con la profundidad en el perfil norte mientras que en el sur (figura 8a) tienden a disminuir junto con los no magnéticos (zircón, monacita y esfena), siendo únicamente la biotita y los anfíboles los que tienden a aumentar con la profundidad. En el perfil lateral (figura 10a), es muy claro que son los opacos, anfíboles y piroxenos los dominantes, tendiendo a dominar los anfíboles al sur, los opacos y no magnéticos al centro y los piroxenos al norte de la bahía.

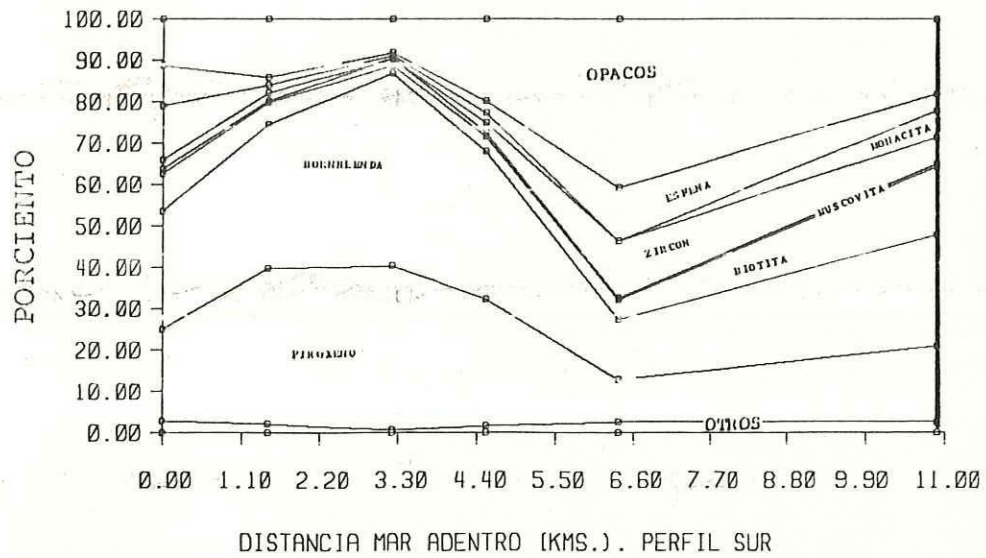


Fig. 8a . Comportamiento de los minerales pesados a profundidad, en los que se incluye a "otros". Perfil sur.

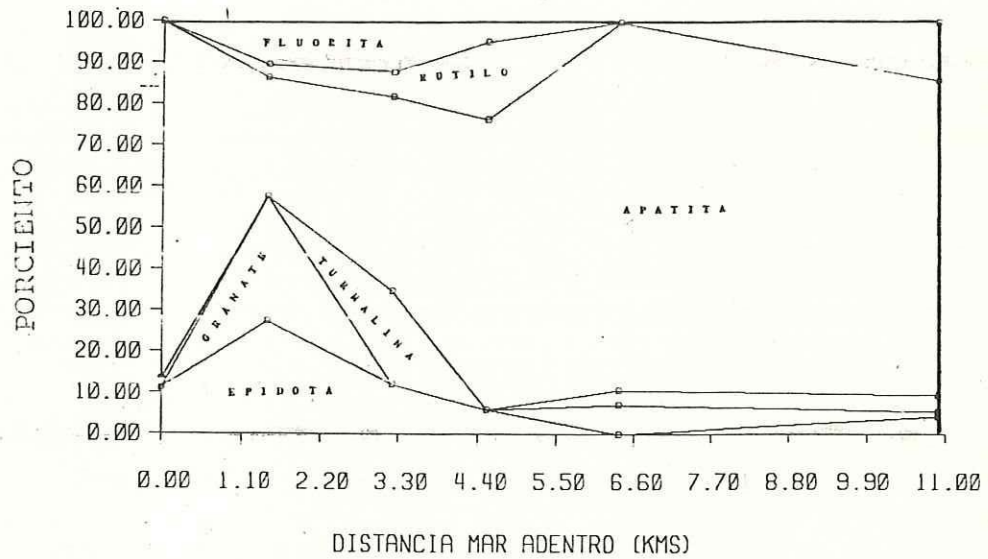


Fig. 8b . Comportamiento de los minerales pesados "otros" a profundidad. Perfil sur.

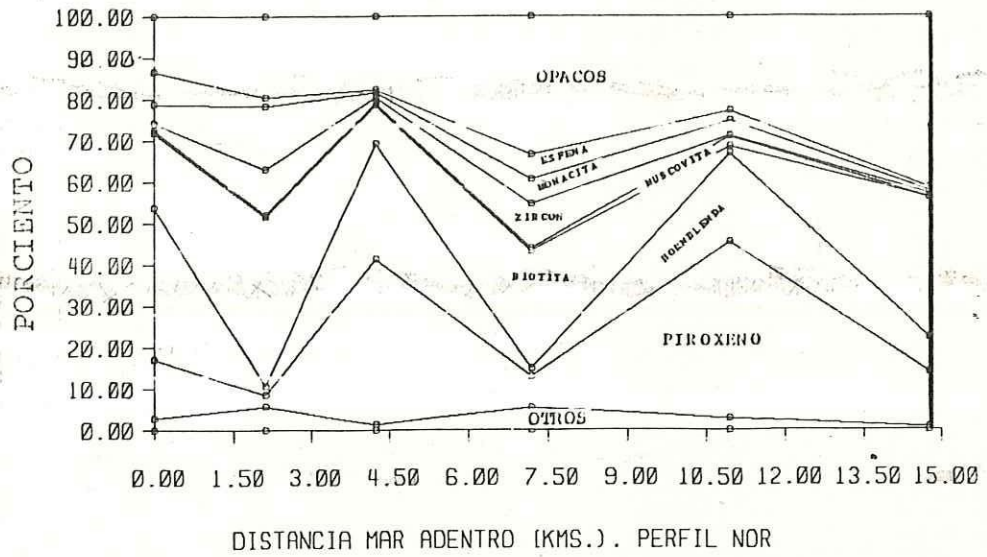


Fig. 9a . Comportamiento de los minerales pesados a profundidad, en los que se incluye a "otros". perfil norte.

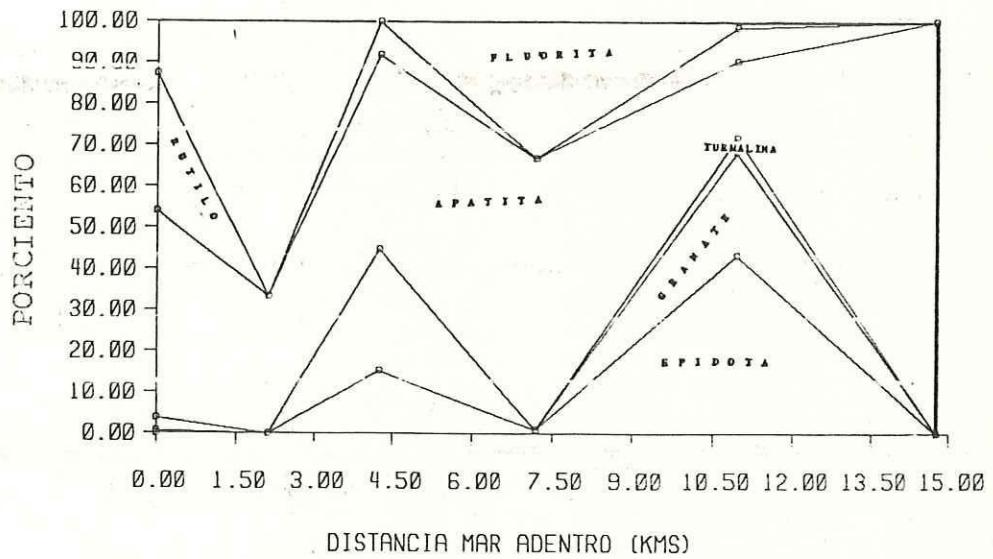


Fig. 9b . Comportamiento de los minerales pesados "otros" a profundidad. Perfil norte.

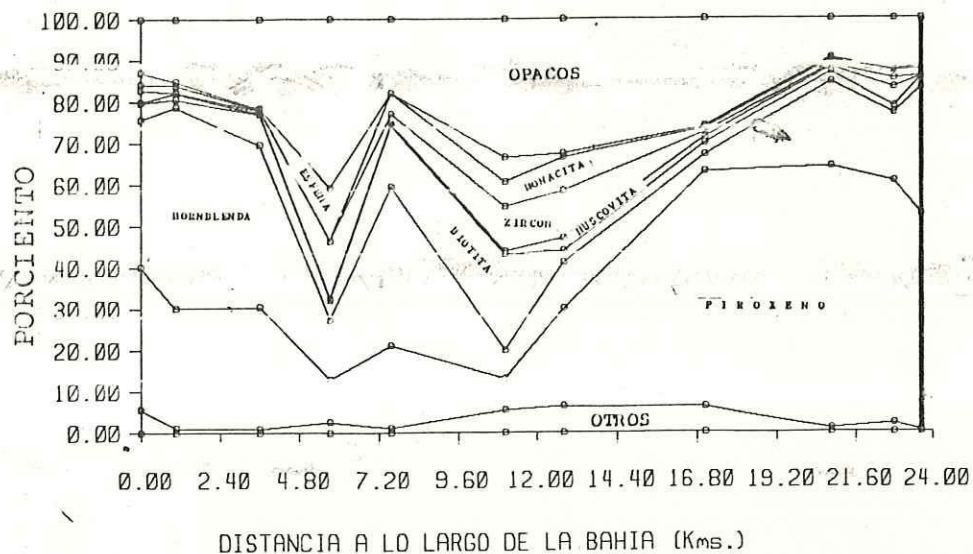


Fig. 10a . Comportamiento de los minerales pesados a lo largo de la bahia en los que se incluye "otros"

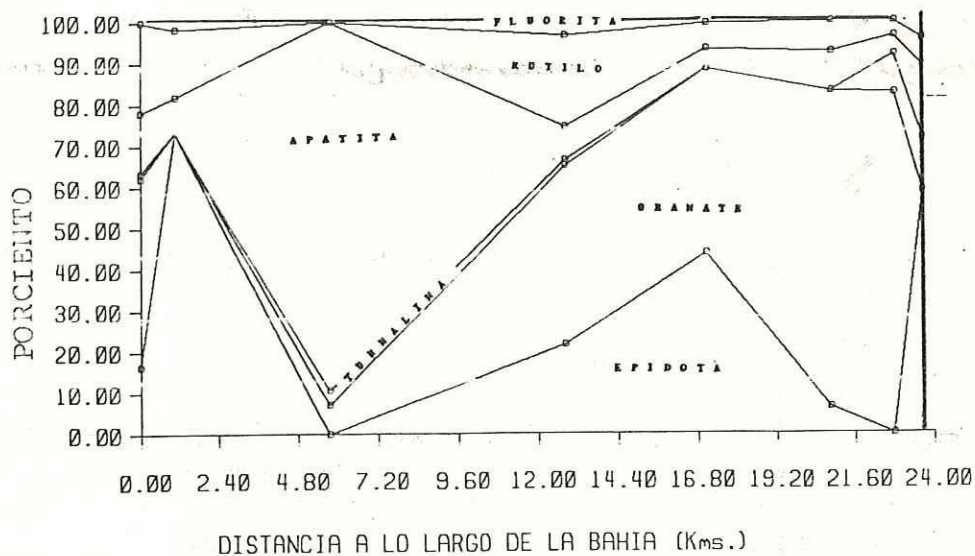


Fig. 10b . Comportamiento de los minerales pesados "otros" a lo largo de la bahia.

En los tres perfiles (figuras 8b, 9b, 10b) los minerales denominados "otros" se comportan muy semejantemente a lo largo y a lo ancho de la bahía. Observando que la apatita es el mineral dominante, seguido por el granate y la epidota. En el perfil norte se ve que las proporciones de fluorita son mayores que en los otros perfiles. Quizá esto es debido al considerable aumento de los no magnéticos al centro de la bahía.

Con la finalidad de definir grupos sedimentarios caracterizados por la dominancia de uno o varios minerales asociados, se hizo una agrupación de manera visual de los porcentajes de especies minerales, de tal manera que se obtuvieron tres grupos sedimentarios con características bien definidas. Uno está caracterizado por una fuerte dominancia de hornblenda -hiperstena con cantidades significantes de egirina y augita-egirina, el otro caracterizado por una asociación hornblenda -biotita y el último por hiperstena -hornblenda y minerales no magnéticos. La distribución geográfica de estos grupos sedimentarios está dada en la figura 11.

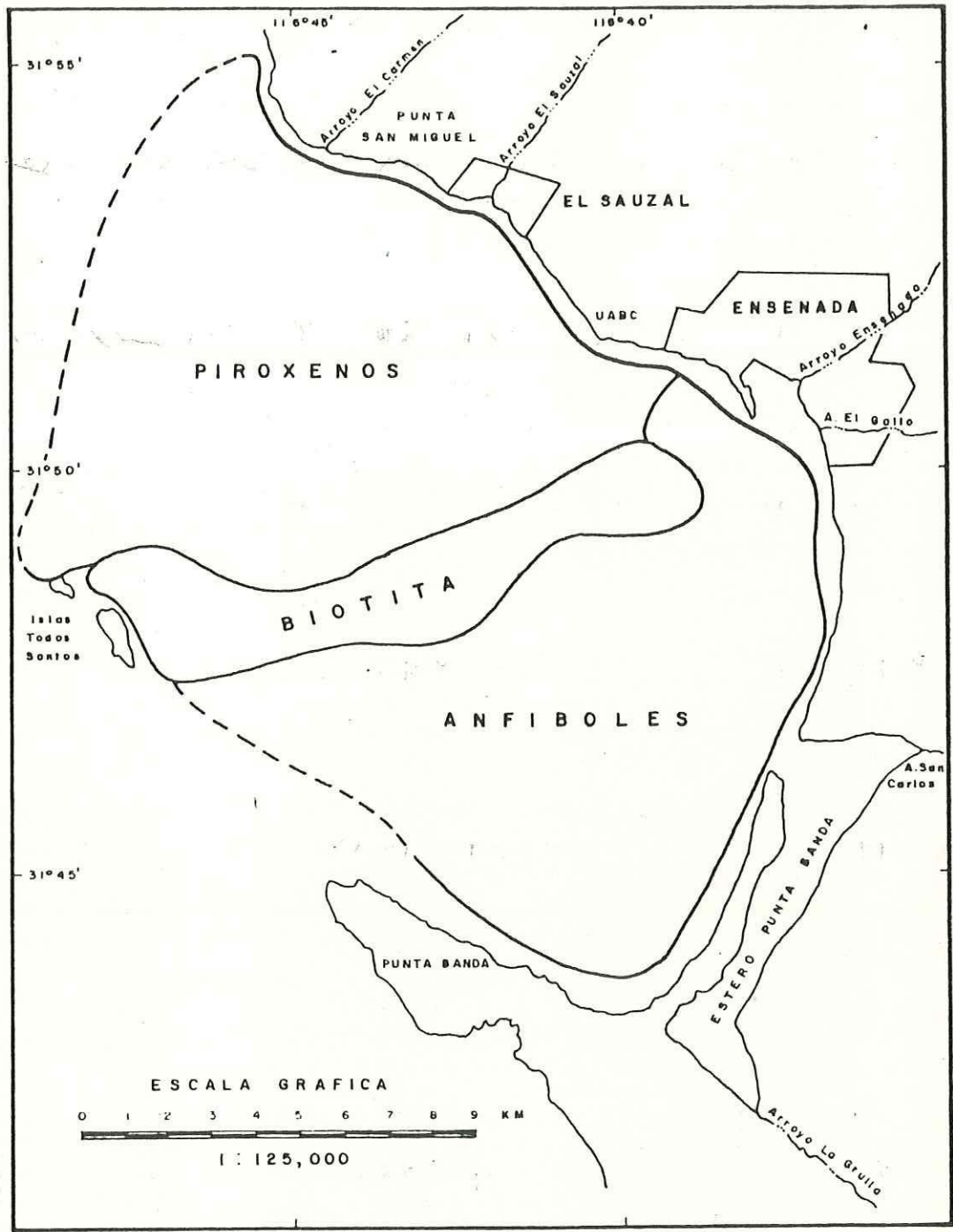


FIG. 11- DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS GRUPOS SEDIMENTARIOS CARACTERIZADOS POR LA DOMINANCIA DE UNO O VARIOS MINERALES ASOCIADOS .

DISCUSIONES

a) Distribución de los minerales pesados

La distribución espacial de la concentración de los minerales pesados en la fracción 3.5 ϕ , parece indicar que es en toda la boca norte de la bahía y detras de la zona de rompiente de la costa este de la bahía, donde se presentan las mayores concentraciones de minerales pesados que van desde un 10 % hasta un 50 %, por el contrario, es en la zona central de la bahía y alrededor de las islas donde se dan los porcentos mas bajos (0.36 % en peso). Esto parece responder a los efectos de la energía del medio ambiente, pues las zonas de alta energía están mostrando altos porcentajes y las de baja energía están mostrando bajos porcentajes. Además, es muy posible que esto esté relacionado a los cambios que han habido durante los últimos 19,000 años en el nivel del mar (Emery, 1968).

Al observar al comportamiento a lo largo de los perfiles vemos que en el perfil sur (figura 12) existe una tendencia en aumentar los minerales pesados con la profundidad, sin embargo, en el perfil norte sucede lo contrario (figura 13). Por otro lado, al estudiar la

variación lateral se observa claramente que hay una mayor abundancia de minerales pesados en la costa norte (figura 14). Aranda (1983) llega a exactamente los mismos resultados al estudiar la variación lateral de minerales pesados para las zonas de playa y zonas de rompiente.

b) Variabilidad mineralógica

Aunque la distribución sedimentaria de la figura 11 es aceptable y bien definida, es muy general y se tiene la necesidad de apearse totalmente al concepto de provincia petrológica sedimentaria, ya que posiblemente esta agrupación sedimentaria solamente esté reflejando una mineralogía regional dominante, mas no, "un grupo de sedimentos que por su distribución geográfica, edad y origen forman una unidad natural". Tomado en cuenta lo anterior, se decidió analizar los datos de porcentaje mineral ordenados en forma matricial y normalizados para posteriormente ser procesados por medio de análisis multivariados. En este caso, se usó el análisis de grupos en modo-Q.

El dendrograma obtenido por medio de tal procedimiento estadístico está dado en la figura 15, el

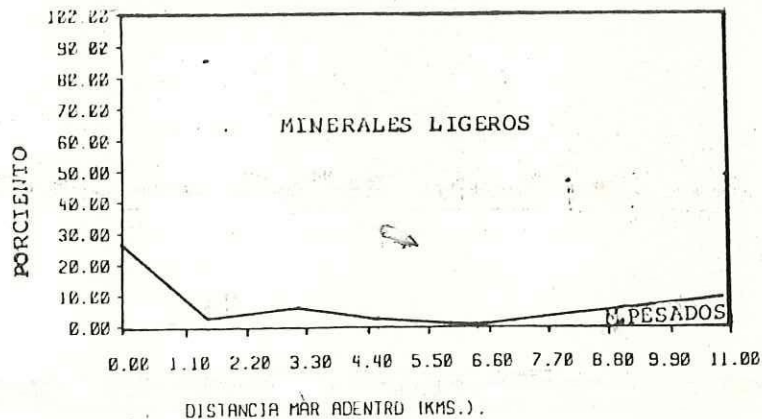


Fig. 12 . Comportamiento de los minerales pesados contra ligeros a profundidad. Perfil sur.

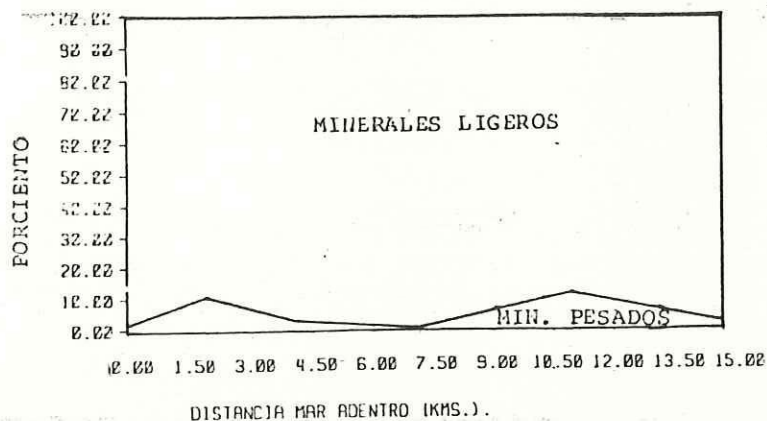


Fig. 13 . Comportamiento de los minerales pesados contra ligeros a profundidad. Perfil norte.

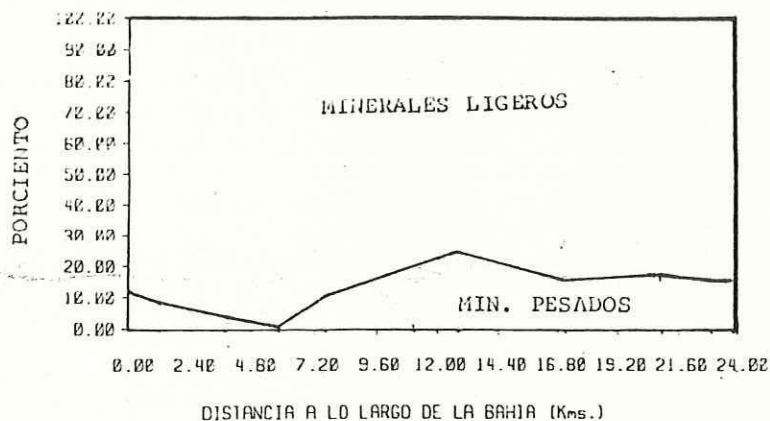


Fig. 14 . Comportamiento de los minerales pesados contra ligeros a lo largo de la bahia.

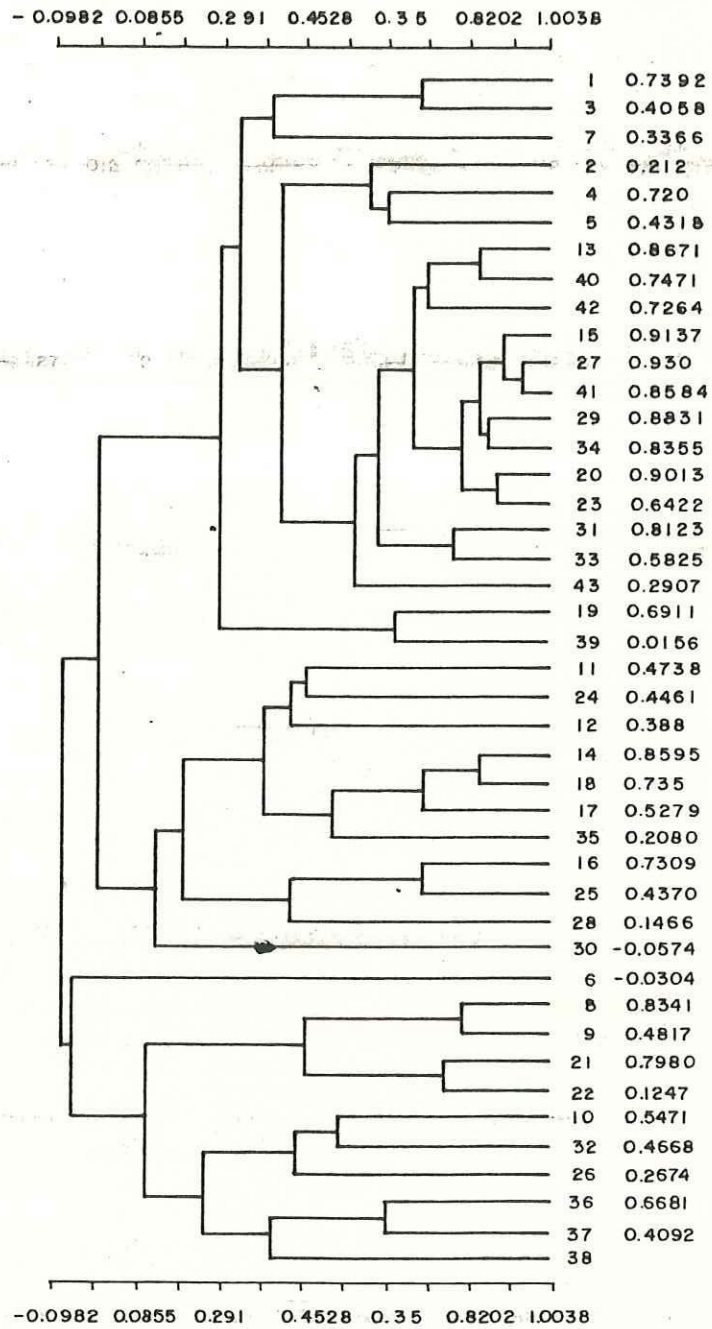


FIG. 15- DENDROGRAMA OBTENIDO POR MEDIO DEL ANALISIS DE GRUPOS EN MODO - Q

cual nos muestra claramente cuatro grupos sedimentarios representados por asociaciones mineralógicas bien definidas y con un apego más significativo a concepto de provincia petrológica sedimentaria. Las asociaciones que caracterizan a cada provincia y su distribución geográfica (figura 16) están dadas enseguida :

Provincia (I) Arroyos Norte

Caracterizada por una asociación rica en hiperstena , hornblenda y opacos con poca abundancia de minerales no magnéticos (zircón, monacita, esfena, apatita) .

Provincia II Sedimentos Relictos

Caracterizada por un fuerte dominio de minerales opacos, cantidades poco menores de hiperstena y biotita y , cantidades significantes de minerales no magnéticos.

Provincia III Central

Caracterizada por una asociación de hornblenda -biotita -opacos, con un significativo enriquecimiento de minerales no magnéticos.

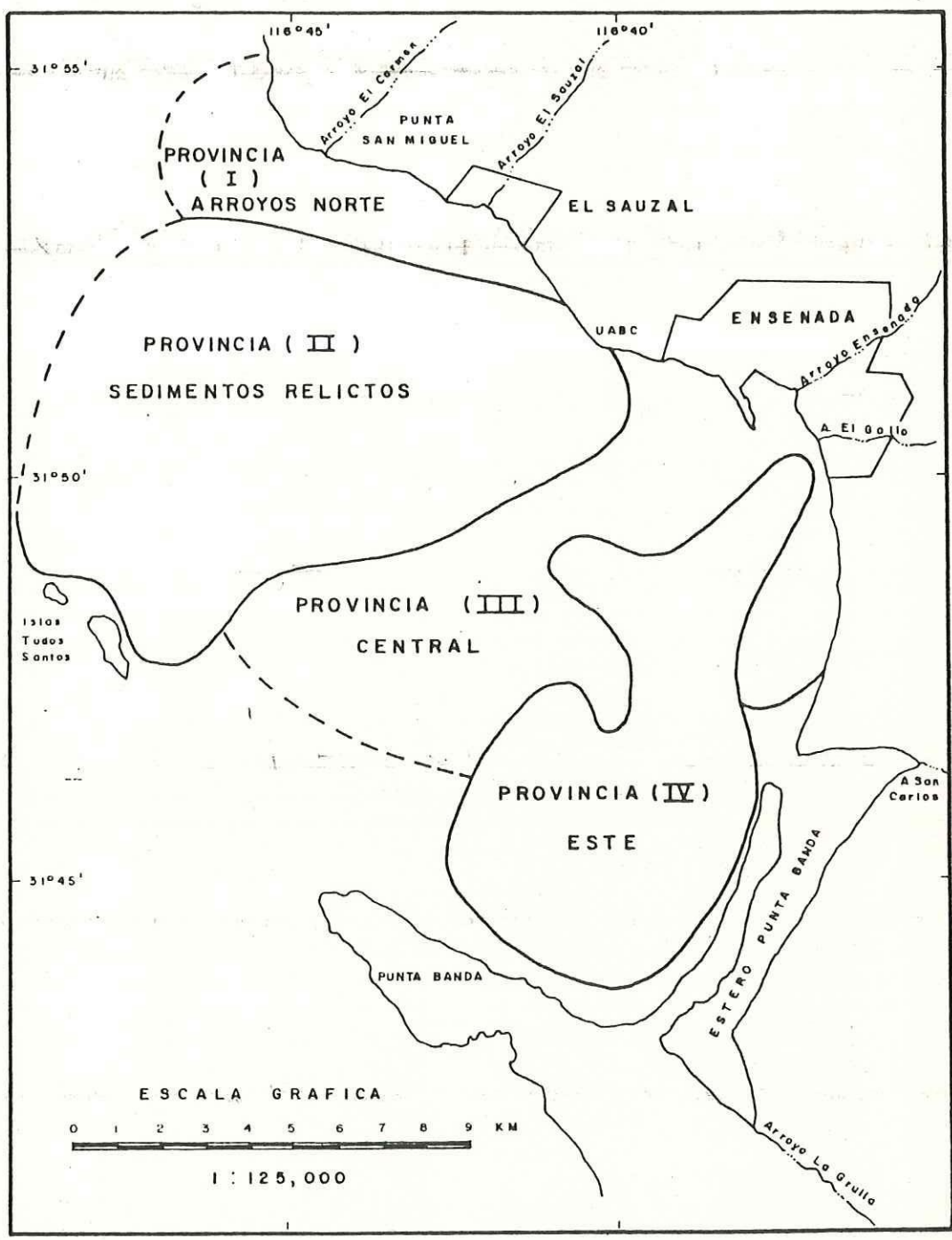


FIG. 16 - DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LAS PROVINCIAS MINERALOGICAS OBTENIDAS CON EL ANALISIS DE GRUPOS EN MODO-Q.

Provincia IV Este

Caracterizada por un enriquecimiento de hornblenda, acompañada de cantidades menores de minerales opacos y piroxenos con porcentajes bajos de minerales no magnéticos.

En perfil lateral se observa una clara disminución de la apatita en la costa norte. Esto seguramente es debido a la poca resistencia de la apatita a ser transportada o desgastada por el medio ambiente de esa zona que es energeticamente muy alta.

Como se observó que el comportamiento de las especies no es muy obvio, debido a que en un perfil tienden a aumentar y al mismo tiempo en el otro tienden a disminuir. Además, en el perfil lateral se detecta claramente la dominancia regional de una o varias especies.

Al inspeccionar los valores promedios de los minerales opacos y translúcidos de cada provincia en la tabla IV, se observa variaciones geográficas significantes entre las cuatro provincias. En general podemos decir que toda la zona de estudio está

caracterizada por una asociación piroxenos -hornblenda -biotita, como las propuestas por Pérez (1982) y Aranda (1983) para los arroyos que desembocan a la bahía. Además se presentan cantidades significantes de minerales no magnéticos como zircón, monacita, esfena y apatita.

Comparando las provincias Arroyos Norte (de aquí en adelante provincia I) y la Sedimentos Relictos (de aquí en adelante provincia II), es interesante ver que ambas provincias están constituidas por hiperstena -hornblenda -opacos. Sin embargo, este hecho no es suficiente para "unir" a estas dos provincias en una sola, pues al observar minuciosamente la tabla IV, vemos que en la provincia I los porcentajes de hiperstena y hornblenda son bastante considerables con cantidades menores de minerales opacos, pero al analizar los porcentajes de estos minerales en la provincia II, vemos que hay un considerable descenso de la hiperstena (de 38.57 a 16.00 %) y la hornblenda (de 21.36 a 6.48 %) con un bastante y considerable aumento en la concentración de minerales opacos (de 18.14 a 47.89 %). A pesar de estos cambios drásticos en porcentajes, la proporción Hiperstena/Hornblenda (Hi/Ho) (tabla V), se mantiene casi constante en ambas provincias, por lo que seguramente

Tabla IV. Porcentajes promedio de minerales pesados mas significativos en las provincias sedimentarias .

Minerales Pesados	Provincia I Arroyos Norte	Provincia II Sedim. Relictos	Provincia III Central	Provincia IV Este
Hiperstena	38.57	16.00	9.47	16.69
Egirina	7.20	3.31	5.41	12.61
Augita-Egirina	4.58	2.10	3.06	6.29
Hornblenda	21.36	6.48	23.02	42.12
Biotita	1.47	9.72	15.01	4.63
Zircón	1.06	4.24	4.61	1.14
Monacita	1.66	3.04	7.09	1.88
Esfena	0.68	0.85	6.54	1.64
Opacos	18.14	47.89	21.21	20.39
Alterados	14.84	22.67	35.43	21.41

Tabla V . Proporciones de diferentes minerales pesados presentes en cada provincia sedimentaria.

Razones	Provincias			
	I	II	III	IV
Hi/Ho	1.80	2.47	-	-
Ho/Hi	-	-	2.43	2.52
H.H./n.M.	17.62	2.76	1.78	12.62
H/B	-	-	1.53	9.09

estén reflejando la misma fuente que viene desde los arroyos. Pérez (1982) menciona que la proporción H_i/H_o es casi la misma a lo largo del arroyo del Carmen. Así mismo lo hace Aranda (1983) al definir que la asociación mineralógica para todos los arroyos que desembocan a la bahía es hornblenda -hiperstena. Sin embargo, el punto que marca la diferencia entre ambas provincias es la variación en la proporción de los minerales no magnéticos con respecto a la proporción hiperstena -hornblenda. Como se puede ver en la tabla V, en la provincia I la proporción hiperstena -hornblenda sobre los no magnéticos (H.H./n.M.) es de 17.62 (n.M. casi ausentes) y en la provincia II es de 2.76 (n.M. en considerable abundancia). Estos hechos son decisivos para concluir que se trata de diferentes provincias mineralógicas y que por consiguiente tienen una historia geológica diferente.

Al analizar las provincias Central (de aquí en adelante provincia III) y la del Este (de aquí en adelante provincia IV) vemos que la asociación ahora se invierte de hiperstena -hornblenda a hornblenda -hiperstena, siendo la hornblenda el principal constituyente. También en estas dos provincias se presenta el mismo problema que con las provincias I y II, pero ahora el mineral en cuestión es

la hornblenda, pues ambas provincias (III y IV) están principalmente constituidas por este mineral. Aunque la provincia III está constituida por la asociación hornblenda -biotita y la IV por hornblenda -hiperstena, en ambas provincias se tiene la misma proporción de hornblenda/hiperstena (2.43 para la III y 2.52 para la IV) lo cual puede sugerir que tengan las mismas fuentes. Por otro lado, existe una marcada diferencia entre ambas provincias en la proporción hornblenda/biotita (H/B), ver tabla V. Quizá esto no sea demasiado determinate pues es muy posible que esas altas concentraciones de biotita en la provincia III (tabla IV) sea un reflejo directo de los efectos de procesos físicos, ya que la biotita pudo haber sido traída por los arroyos, después de depositada en la playa, para posteriormente ser levantada por el oleaje y ser depositada en la zona energeticamente más tranquila, en este caso el centro de la bahía. Sin embargo, la variación en la abundancia de los minerales no magnéticos en ambas provincias es el punto que marca la diferencia entre ambas provincias. Si vemos la tabla V nos daremos cuenta que la proporción H.H./n.M. es muy contrastante entre ambas provincias, pues en la provincia III es mucho menor (1.78) que en la provincia IV (12.62). Además, es más significativo usar la variación de los no magnéticos

que la de la biotita pues ésta puede estar reflejando efectos físicos como el oleaje, corrientes marinas, etc.

c) Controles en la variabilidad mineralógica

Debido a que el tamaño de grano en los sedimentos influye en los minerales pesados individuales como un efecto de la fraccionación hidráulica (Rubey, 1933 Rittenhouse, 1943), se decidió graficar los porcentajes y las razones de minerales pesados más significativos contra el diámetro medio del sedimento (figura 17). Los coeficientes de correlación (r) van desde -0.41 para los opacos hasta 0.45 para la biotita. En la tabla VI se muestran los minerales utilizados para la correlación contra la media, con 40 grados de libertad a un nivel de significancia de $\alpha = .05$. Los minerales que mostraron una correlación (positiva o negativa) considerable son : biotita, opacos, hornblenda, hiperstena, y la razón O/NO (opaco/no opacos). Sin embargo, los coeficientes de determinación indican que cerca del 20 % de la variación de los minerales pesados es controlada por el tamaño de grano, el restante 80 % de la variación de los minerales pesados es debido a otros factores no conocidos del medio ambiente.

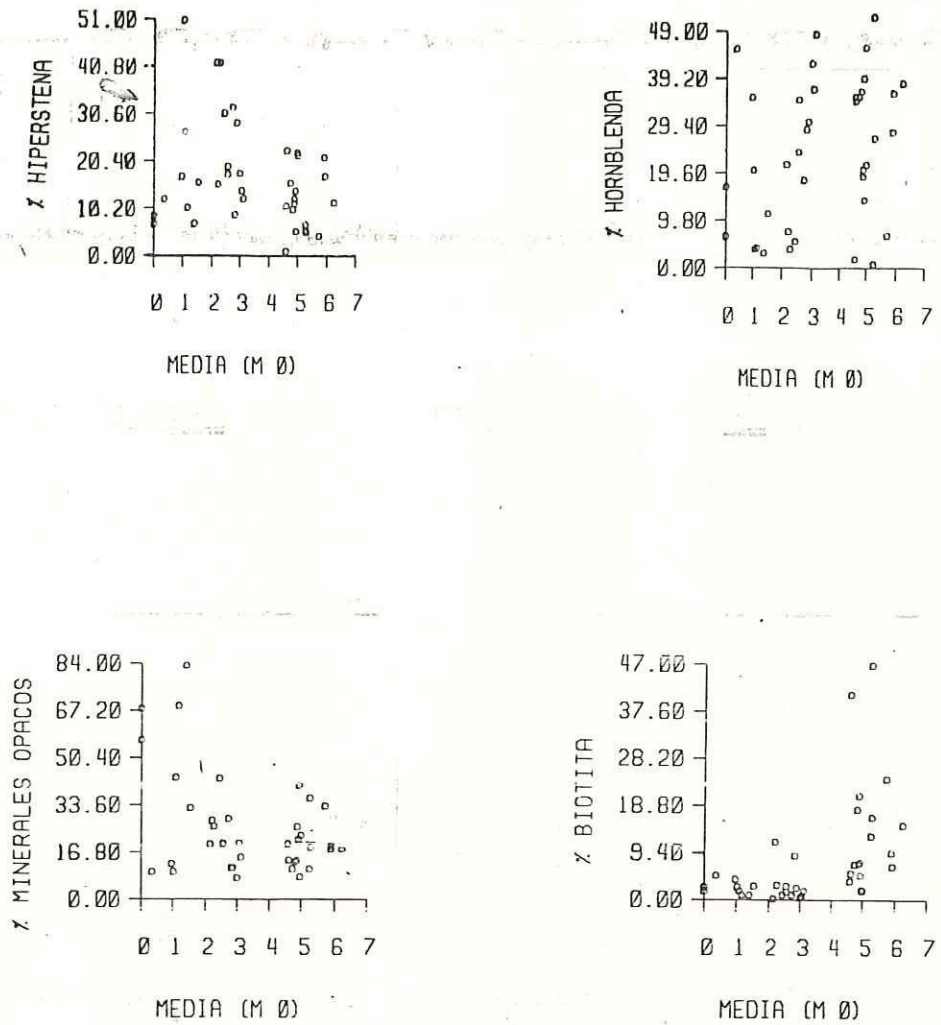


Fig. 17 . Diagramas de dispersion que muestran el comportamiento de los minerales pesados al graficarlos contra el diametro medio del sedimento.

Tabla VI. Coeficientes de correlacion y de determinacion de cada mineral Vs. el diametro medio del sedimento.

Mineral	r	r ²
Opacos	- 0.41	0.17
Hornblenda	0.30	0.09
Hiperstena	-0.30	0.09
Piroxenos	-0.19	0.04
Biotita	0.45	0.20
Zircon	0.05	0.00
Monacita	0.07	0.00
Esfena	0.27	0.07
Augita-Eg.	0.03	0.00
Egirina	0.18	0.03
MG/PHT	0.08	0.01
ZTR/PH	0.14	0.02
O/NO	-0.38	0.14

Con el fin de examinar que factores son los que están contribuyendo a la variación total de los minerales pesados y aislar los efectos de fuente de los de proceso, se decidió usar razones de minerales pesados que reflejaran la influencia de el fraccionamiento hidráulico por efectos de la forma, densidad, y descomposición química selectiva.

El índice de fraccionación hidráulica causada por la forma está expresado en razones de minerales alargados-aplanados (piroxenos, hornblenda, turmalina, zircón) sobre ecuánticos (granate, epidota, monacita). La razón usada en este estudio fue $(\text{monacita} + \text{granate}) / (\text{piroxenos} + \text{hornblenda} + \text{turmalina})$, de aquí en adelante referida como MG/PHT.

El fraccionamiento hidráulico causado por la densidad está expresado por la razón de minerales opacos (grav. esp. promedio = 4.7) sobre los no opacos (grav. esp. promedio = 3.7), de aquí en adelante referida como O/NO.

Finalmente, la contribución de la descomposición química selectiva a la variabilidad de los minerales pesados es inferida por el índice de estabilidad (zircón +

turmalina + rutilo)/(piroxenos + hornblenda), de aquí en adelante referida como ZTR/PH. Los valores promedios de las razones de minerales pesados seleccionadas para las provincias sedimentarias obtenidas por análisis de grupos, están dados en la tabla VII en los que se incluye también los minerales alterados.

d) Patrón de variabilidad provincial

En la tabla VII se muestran los valores promedio de las razones de minerales pesados para las cuatro provincias. El análisis de varianza se llevó a cabo en dos etapas : la primera consistió en evaluar la variabilidad de cada razón de minerales pesados entre las cuatro provincias al mismo tiempo, la segunda etapa fue más minuciosa pues solo se hizo el análisis de varianza entre parejas de provincias con el fin de profundizar en la variabilidad regional de cada razón de fraccionamiento hidráulico.

En la tabla VIII se muestran los valores F resultantes del análisis de varianza para las cuatro provincias al mismo tiempo (primera etapa) con 1 grado de libertad para el numerador y 10 grados para el

Tabla VII. Valores promedio de las razones de -
minerales pesados en las provincias sedimentarias.

Provincia	MG/PHT	O/NO	ZTR/PH	Alterados
I	0.04	0.24	0.01	14.84
II	0.20	1.17	0.20	17.80
III	0.11	0.22	0.06	30.83
IV	0.02	0.15	0.02	20.80

Tabla VIII. Valores F resultantes al comparar cada
razon de minerales pesados en las cuatro provincias
al mismo tiempo (primera etapa).

	MG/PHT	O/NO	ZTR/PH	Alterados
Entre las 4 Provincias	4.00	9.06	7.26	11.21

denominador V2, el cual resultó ser muy satisfactorio pues nos indica que todas estas razones de fraccionamiento hidráulico están variando considerablemente de provincia en provincia .

En la tabla IX se muestran los valores F resultantes del análisis de varianza entre parejas de provincias (etapa dos). Esta etapa se llevó a cabo con 3 grados de libertad para el numerador V1 y 20 grados de libertad para el denominador V2. Las interpretaciones verbales de la prueba F aplicada en el análisis de varianza estan expresados en la tabla X, donde SI significa que la variación de la razón de minerales pesados varia significativamente como para decir que cada provincia es diferente y está variando de diferente manera en base a la proporción usada. El NO significa que la variación es insignificante .

i) Efecto de la fraccionación hidráulica por la forma

Es evidente que la provincia II está afectada enteramente por efectos de la fraccionación hidráulica causada por la forma, pues varia significativamente con todas las provincias. Sin embargo, el efecto de la forma

entre las provincias I y IV es insignificante por lo que hace pensar que es debido a la influencia continental sobre la zona costera , ya sea por el aporte sedimentario de los arroyos , erosión de cantiles o por el transporte litoral a lo largo de la costa. Esto es apoyado por el hecho de que las provincias costeras (I y IV) si tienen una variación significativa con sus provincias vecinas al centro de la bahía (II y III). Figura 16..

ii) Efecto de fraccionación hidráulica por densidad

De nuevo se observa que la provincia II está altamente influenciada por los efectos de la densidad. Por otro lado, las provincias I, III y IV no muestran los efectos de la densidad , pues son invariantes entre ellas mismas. Si observamos la tabla IV veremos que los minerales opacos están presentes en casi las mismas proporciones en estas tres provincias a diferencia de la II en la que existen muy elevados porcentajes de minerales opacos.

iii) Efecto de la susceptibilidad a la alteración química

El efecto de la fracción hidráulica por ZTR/PH, también está diferenciando directamente a la provincia II de las otras provincias pues su variabilidad con respecto a las demás es altamente significativa. Por otro lado, la variación de la provincia II con la III fué muy baja pero apenas significativa pues su valor cayó exactamente entre la zona de rechazo y la zona de aceptación de la hipótesis de nulidad de la distribución F. Esto como veremos mas adelante, le dará cierto caracter de sedimento relictos.

iv) Variabilidad con respecto a los minerales químicamente alterados

Este parámetro fue incluido en el análisis de varianza no para ver que zona es la más (o la menos) susceptible a alterarse ZTR/PH, sino para detectar la zona mas alterada. Con esta finalidad, se determinó que es la provincia III la que está variando de una manera bastante significativa con las demás provincias, mientras que las otras (I, II y IV) son invariantes entre si.

Tabla IX . Valores F resultantes al comparar razones de minerales pesados entre parejas de provincias

Provincias	MG/PHT	O/NO	ZTR/PH	Alterados
I Vs. II	10.00	8.53	9.52	1.62
I Vs. III	0.29	0.07	3.59	54.73
I Vs. IV	2.87	1.99	25.71	2.95
II Vs. III	42.98	9.00	4.95	32.85
II Vs. IV	13.03	10.34	7.74	0.71
III Vs. IV	5.18	2.82	2.44	8.53

Tabla X. Interpretacion verbal de los resultados del analisis de varianza al comparar parejas de provincias (etapa dos). Si significa que la variabilidad es altamente significativa entre las dos provincias comparadas. No significa que la variabilidad es no significativa .

	Forma MG/PHT				Densidad O/NO				Alt. Quim. Select. ZTR/PH				% de Alterados				
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
I		SI	NO	NO		SI	NO	NO		SI	NO	SI			NO	SI	NO
II	SI		SI	SI	SI		SI	SI	SI			SI	SI		NO		NO
III	NO	SI		SI	NO	SI		NO	NO	SI		NO	SI	SI			SI
IV	NO	SI	SI		NO	SI	NO		SI	SI	NO		NO	NO	SI		

e) Influencia de los agentes químicos y físicos en el origen de los depósitos sedimentarios.

La presencia de un mineral en particular en un sedimento requiere de la presencia de ese mismo mineral en la roca madre, la habilidad a sobrevivir al intemperismo de la roca madre y a la resistencia a la abrasión y descomposición durante el transporte del sedimento, su depositación con el sedimento y su habilidad a sobrevivir a una solución post-deposicional o descomposición química (Pettijohn, 1941).

De que un mineral sobreviva a una solución post-deposicional depende de la naturaleza del mineral, el pH de las soluciones intersticiales, la permeabilidad del lecho, la velocidad de flujo de estas soluciones y la temperatura.

Pettijohn (1941), sugiere que una asociación mineralógica en un grupo sedimentario puede estar profundamente influenciada por el intemperismo químico, de tal manera que los minerales menos estables hayan desaparecido por solución.

La estabilidad de los minerales está en relación directa a la posición de los minerales en las series de reacción de Bowen. Concretamente, se puede decir que los minerales formados a las temperaturas más altas y en magmas casi anhidros son menos estables en condiciones de superficie que aquellos formados a temperaturas mucho más bajas en magmas finales ricos en agua. Así, donde las proporciones de los minerales más estables (zircón, turmalina, rutilo) son muy prominentes, la riqueza en la variedad de especies asociadas es muy baja. Pero cuando los estables son muy escasos la asociación muestra un máximo en la variedad de especies. Esta relación antipatética sugiere fuertemente una relación causada directamente por la actividad química responsable del "crecimiento" de los minerales estables y una solución de los minerales menos estables (Pettijohn, 1941).

En base a lo anterior, se decidió ver el efecto del intemperismo químico sobre las asociaciones mineralógicas de cada provincia, de tal manera que se compararon gráficamente las proporciones de minerales inestables contra los estables. En los minerales inestables se incluye a la hornblenda y piroxenos. En los estables, se incluyen a los ultraestables y a los estables según

Pettijohn, Potter y Siver (1972), en los que se incluye zircón, turmalina, rutilo, monacita, biotita, ilmenita, magnetita. Las gráficas de porcentaje de inestables contra estables de cada provincia se presentan en la figura 18.

Como podemos ver, la provincia II muestra una mayor proporción de minerales estables que de inestables, lo cual sugiere posiblemente, la desaparición de los menos estables por solución. Lo anterior, puede estar respaldado por el hecho de que las razones de H_i/H_o y de opacos/n.M. son las mismas para las provincias I y II, a pesar de que en la provincia II dominan los estables. Tomando en cuenta que las proporciones de los minerales más significativos se mantienen constantes, aunque la hiperstena y la hornblenda hayan disminuido considerablemente, las únicas posibilidades de explicar este comportamiento son: (1) la provincia II es un depósito sedimentario que tenía las mismas fuentes que las que tiene en la actualidad la provincia I, pero que los minerales menos estables (piroxenos y hornblenda) disminuyeron por solución. O, (2) que las provincias I y II no tienen ni tenían las mismas fuentes de sedimentos y que cada una está representando una procedencia mineralógica diferente. El último caso parece improbable

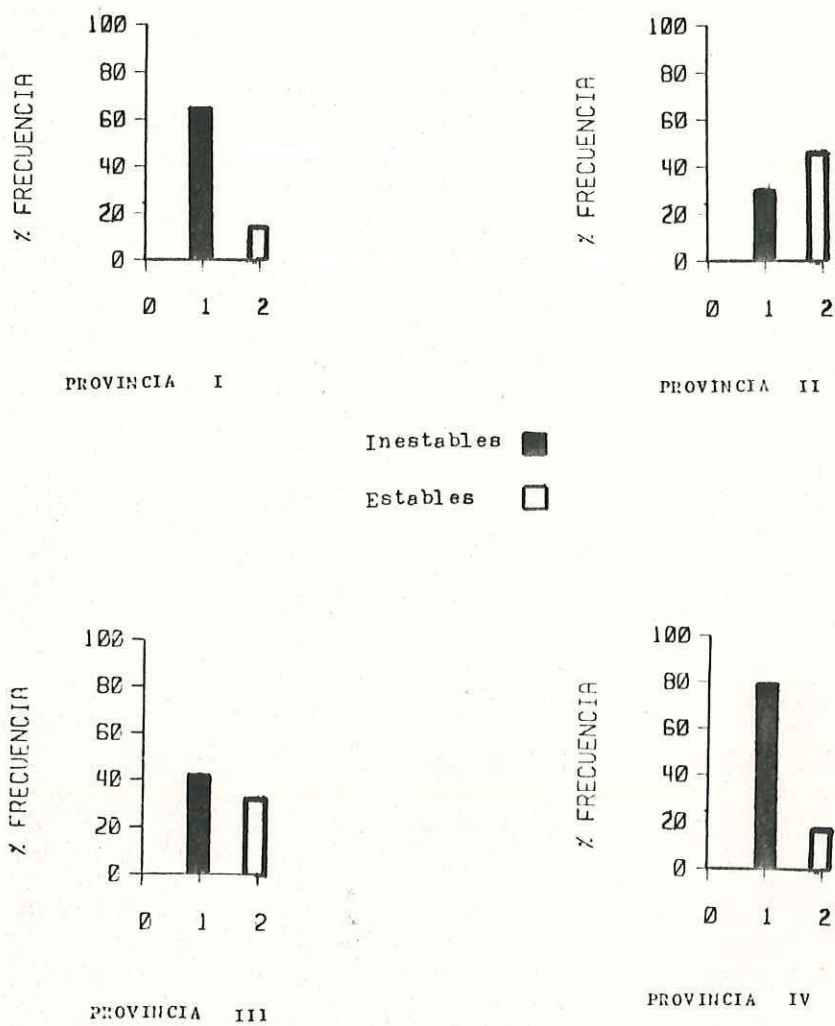


Fig. 18 . Graficas que muestran la proporcion de los minerales estables contra inestables en cada provincia

pues la mineralogía de las rocas presentes en las cuencas de drenaje que circundan a la Bahía de Todos Santos, B.C., no hay rocas lo suficientemente ricas en zircón, monacita y esfena como para proveer esas proporciones de minerales.

Parece ser muy evidente que la provincia II es un depósito de sedimentos relictos que en tiempos anteriores (durante el pleistoceno e inmediatamente después) recibió aporte de sedimentos de las mismas fuentes que recibe en la actualidad la provincia I, pero debido a condiciones diagenéticas y la interfase agua-aire a las que estuvo sujeta al ir subiendo el nivel del mar alteró químicamente a los minerales menos estables. Una evidencia clara de esto es la ocurrencia de la hiperstena con el fenómeno "diente de sierra" y un alto grado de alteración, lo que según Pettijohn (1941) señala como evidencia directa e inequívoca de la diagénesis.

Virgen (1985, en preparación) al estudiar las características morfológicas de los granos de cuarzo y feldespato en las mismas muestras del presente estudio, encuentra que es en la zona correspondiente a la provincia III y parte de la II, donde se presentan únicamente granos redondeados a subredondeados -en toda el área

restante de la bahía los granos se presentan subangulosos a angulosos-. Tomando en cuenta lo anterior y además ciertas características de la provincia III, como por ejemplo: el alto porcentaje de minerales ya alterados (profundamente), la proporción de estables-inestables, nos hace pensar que estos sedimentos son también sedimentos de segundo-ciclo (relictos). Sin embargo, al considerar el alto enriquecimiento de hornblenda y biotita "frescas", y de ser una arena muy fina y limo ($M\phi > 4.0 \phi$) nos hace pensar en sedimentos modernos. Aparentemente si englobáramos todas las características mencionadas, la historia geológica del depósito parecería muy compleja, sin embargo, dándole el peso debido a cada característica nos daríamos cuenta que la provincia III es un depósito sedimentario en el cual están interactuando los sedimentos relictos de la provincia II y sedimentos recientes. Lo anterior puede ser explicado de la siguiente manera: durante el tiempo en el que el nivel del mar dejó de subir de manera acelerada (10m/1000 años) -hace aproximadamente 19,000 años- y empezó a subir más lentamente (1m/1000 años) -hace aproximadamente 6,000 años- los arroyos estuvieron aportando sedimento a la costa de tal manera que el oleaje estuvo levantando los minerales más finos, alargados y aplanados (hornblenda y biotita) y los llevó a

la zona energéticamente mas baja (el centro de la bahía) y ahí los fué depositando , de tal manera que la provisión de sedimentos fué cubriendo poco a poco las zonas de sedimentos relictos produciendo que ésta zona esté mas influenciada por la provisión actual de sedimentos. En terminos de petrología sedimentaria esta zona representa a una zona de transición (o de interdigitación o de mezcla) que comunmente se presentan entre provincias vecinas y es extremadamente importante el definir las (Van Andel, 1959).

f) Procedencia mineralógica de los depósitos sedimentarios

La geología de las rocas presentes en las cuencas de drenaje de todos los arroyos que desembocan a lo largo de la bahía, es casi la misma , pues todos ellos cortan a afloramientos de tonalita, granito, granodiorita, roca volcánica prebatolítica , basaltos del Terciario Mioceno y depósitos de aluvi6n (figura 2). Es evidente que los arroyos de la zona norte cortan en la mayoría de su trayecto a afloramientos de tonalita y basaltos-andesíticos, con menores proporciones de rocas volcánicas. En base a lo anterior, es muy lógico explicarnos que las asociaciones en la bahía sean muy

semejantes.

Es muy posible que las provincias I y II estén o hayan estado recibiendo aporte sedimentario de las rocas basálticas -andesíticas debido a la alta presencia de la hiperstena en sus sedimentos, el cual es uno de los principales piroxenos constituyentes de estas rocas. Además, la gran abundancia de pigeonita en la costa norte indica que es el afloramiento de basalto del Terciario Mioceno el principal proveedor de este mineral y por consiguiente considerable aportador de sedimentos a esta zona (en especial a la provincia I). Por otro lado, la abundancia de hornblenda y biotita en las provincias III y IV nos sugiere que las fuentes más dominantes son de composición leucocrática como el granito, granodiorita y tonalita. Lo anterior es apoyado también por la considerable abundancia de egirina y augita-egirina que sugieren una fuente granítica o granodiorítica, sin dejar de considerar que los depósitos de aluvión son de gran importancia como fuente de sedimentos a estas provincias. Además, es importante hacer notar que este tipo de rocas (leucocráticas) están proveiendo material sedimentario en considerable pero menor proporción a las provincias I y II que como lo hace con las provincias III y IV .

CONCLUSIONES

(1) La alta concentración de minerales pesados en la costa norte es debido en gran parte a la erosión de cantiles y al medio ambiente altamente energético en el que tanto el oleaje como las corrientes marinas levantan a los mas ligeros dejando a los mas pesados depositados en el lecho marino.

(2) La separación magnética por grupos de susceptibilidad es de gran ayuda para una "primera impresión" de la composición mineralógica de la zona de estudio, conociendo de antemano los minerales dominantes de cada grupo.

(3) El uso de perfiles a lo largo y ancho de la bahía fué muy util para la detección de las zonas dominadas por asociaciones mineralógicas características. En el caso de la figura 13a nos reveló desde el principio la dominancia de hornblenda al sur, de los opacos al centro y de los piroxenos al norte.

(4) De una manera general, se puede decir que la Bahía de Todos Santos, B.C., está caracterizada por una

asociación piroxenos -hornblenda -biotita. Figura (14).

(5) El análisis multivariado (análisis de grupos) en modo-Q, resultó ser de gran ayuda para la definición de las cuatro provincias sedimentarias con asociaciones mineralógicas bien definidas.

(6) Los coeficientes de determinación (r) obtenidos de la correlación entre el porcentaje mineral y el diámetro medio del sedimento, revelan que en los mejores casos (biotita) solo el 20 % de la variación en las asociaciones mineralógicas son causadas por la variación en el tamaño de grano. Y que el restante 80 % de la variabilidad en las asociaciones es causada por otros factores.

(7) El análisis de varianza muestra que todas las provincias mineralógicas están influenciadas por la fraccionación hidráulica causada por la forma MG/PHT, la densidad (O/NO), y la susceptibilidad a la alteración química (ZTR/PH). Ver tabla X.

(8) La provincia II resultó ser significativamente diferente a las demás, pues el análisis de varianza al comparar parejas de provincias, mostró que la provincia

II varia significativamente con las demás por efectos de la fraccionación hidráulica por la forma, densidad y alteración química selectiva. Tabla X.

(9) La provincia II resultó ser una zona de sedimentos relictos en la que la prominente presencia de minerales estables sugiere una solución (o descomposición química) de los minerales menos estables. Esto es aún más apoyado por el punto (8) de estas conclusiones, en el que se demuestra que esta provincia es totalmente diferente a las demás.

(10) La provincia III central, es una zona en la que están interactuando sedimentos relictos de la provincia II y sedimentos recientes ricos en hornblenda de la provincia IV. En términos de petrología sedimentaria esta zona puede ser definida como zona de transición, de interdigitación o de mezcla.

(11) Las provincias I y IV están altamente influenciadas por los efectos continentales, aporte sedimentario por los arroyos, erosión de cantiles y transporte litoral a lo largo de la costa. Los resultados de análisis de varianza lo apoyan pues no hay variabilidad

entre ellas estando muy distantes una de la otra. Ver tabla X.

(12) La provincia II Sedimentos Relictos parece demostrar que tuvo las mismas fuentes que tiene en el presente la provincia I, pero la diferencia en las asociaciones mineralógicas entre las dos provincias se debe a la desaparición por solución de los minerales menos estables de la provincia II.

(13) Las fuentes de los minerales pesados a las cuatro provincias son muy semejantes, pero las provincias I y II están más influenciadas por la fuente de sedimentaria de los basaltos-andesíticos (donde la hiperstena junto con la pigeonita son los piroxenos más comunes), de tonalita y menores proporciones de rocas volcánicas. Y que las provincias III y IV están más influenciadas por fuentes como granito, granodiorita y tonalita.

BIBLIOGRAFIA

- Alatorre, M. A. (1985, en preparación). Constitución y origen de depósitos sedimentarios en una franja costera del Noroeste de Baja California. Tesis de licenciatura. Esc. Sup. de Ciencias Marinas -U.A.B.C., Ensenada, México.
- Ali, S. y P. H. Feldhausen. 1975. Sedimentary facies of Barataria bay, Luisiana determined by multivariate statistical techniques. Jour. Math. Geol. Vol. 14.
- Aranda, F. 1983. Estudio de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura. Esc. Sup. de Ciencias Marinas. U.A.B.C.
- Ayalón, A. 1976. The mineralogy of detrital sediments along the western coast of Gulf of Elat. Jour. of Sedim. Petrol. Vol. 46, No. 3.
- Baca, C. 1981. Procedencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura. Esc. Sup. de ciencias marinas. U.A.B.C., Ensenada, B.C.
- Briggs, L. 1965. Heavy mineral correlations and provenances Jour. of Sedim. Petrol., Vol. 35, No. 4.
- Baturin, V. 1931. Petrography of sands and sandstones of the productive series. Trans-act. Azerbaidjan Petr. Inst., papers of general and practical geol. Bull 1.
- Carver, R. 1971. Procedures in sedimentary petrology. Edit. Wiley and Sons.
- Davis, J. 1973. Statistics and data analysis in geology John Wiley and Sons. Inc. New York.
- Dryden, A. 1935. A statistical method for the comparison of heavy mineals suites. Am. Jour. Sci., 5th. Ser., Vol. 29

- Edelman, C. 1933. Petrologische provinces in het
Nederlandse Rivartair. Centon Publishing
Co., Amsterdam.
- Emery, K. O., D. S. Gorsline, E. Uchupi y R. D. Terry. 1957.
Sediments of three bays of Baja California :
Sebastian Vizcaino, San Cristobal, and Todos Santos
. Jour. of Sedim. Petrology Vol. 27, No. 2 .
- Emery, K. O., 1968. Relict sediments on the continental shelf
of the world. Bull. of Amer. Association of
Petroleum Geologist. Vol. 52, No. 3, pp 445-464.
- Fessenden, F. W. 1959. Removal of heavy liquids separates from
glass centrifuge tubes. Jour. of Sedim. Petrol.
Vol. 29
- Flores, R. and Shideler. 1978. Factor controlling
heavy-mineral variations on the south Texas outer
continental shelf, Gulf of Mexico. Jour. of Sedim.
Petrol. Vol. 48, No. 1
- Gastil R. G., Phillips R. P., Allison E. C. 1975.
Reconnaissance Geology of the state of Baja
California. Geol. Soc. of Amer. Bull. Memoir
140 .
- Golastein, A. 1942. Sedimentary petrologic provinces of the
northern Gulf of Mexico. Jour. of Sedim. Petrol.
Vol. 12, No. 2
- Judge, C. W. 1970. Heavy minerals in beach sediments as
indicators of shore processes between Monterey and
Los Angeles, Cal., U.S. Army Corps of Engineers
, Tec. Mem. No. 33.
- Krumbein, W. C. and F. J. Pettijohn. 1938. Manual of
sedimentary Petrology. D. Appleton-century Co.
Inc., New York. 549 p.
- Parks, J. M. 1966. Cluster Analysis applied to multivariate
geologic problems. Jour. of Geology. V. 74, No. 5
- Parks, J. M. 1969. Multivariate facies maps in : Symposium
on computer application in petroleum exploration.
Kansas Geol. Survey Computer Contr. Vol. 40 . p

6-11 .

- Pérez, R. 1982. Relación mineralógica entre el área drenada por el arroyo del Carmen y su depósito. Tesis de licenciatura Esc. Sup. de Ciencias Marinas. U.A.B.C., Ensenada, B.C., Mexico.
- Pettijohn, F.J. 1941. Persistence of heavy minerals and geologic age. Jour. of Geology. Vol. 49 .
- Pettijohn, F.J., P. Potter and Sievers . 1972. Sand and Sandstones. edit. Springer-Verlag.
- Poole, D.M., 1958, Heavy mineral variation in San Antonio and Mesquite Bay of the central Texas coast. Jour. of Sedim. Petrology. Vol. 28, No. 1
- Pomerancblum, M., 1966, The distribution of heavy minerals and their hydraulic equivalence in sediments of the mediterranean continental shelf of Israel. Jour. of Sedim. Petrol. V 36 ,No.1
- Ramessan, V. 1966. Improved methods of mineral separation and counting suitable for fine grained sandstones. Jour. of Sedim. Petrol. Vol.36, No.2, pp 629-631 .
- Rittenhouse, G., 1943, Transportation and deposition of heavy minerals . Geol. Soc. of Amer. Bull. Vol 54.
- Rossemblum, S. 1958. Magnetic susceptibilities of minerals in the Franz isodynamic separator. Amer. Mineralogist. Vol. 43.
- Royce, Ch., 1970, An introduction to the sediment Analysis, Arizona state univ.
- Rubey, W.W., 1933, The size distribution of heavy minerals within a waterlaid sandstone. Jour. of Sedim. Petrol. V3
- Rubey, W.W. 1933b. Settling velocities of gravel, sand and silt particles. Am. Jour. of Sci. vol.25
- Secretaría de Marina. 1974. Estudio geográfico de la región de Ensenada, B.C. Dirección gen. de señalamiento marítimo, Mexico, D.F., pp 131-156 .

- Siddiquie & Mallik .1972. An analysis of the mineral distribution patterns in the recent shelf sediments off Mangalore, India. Marine geology.
- Van Andel, Tj., 1959. Reflections on the interpretation of heavy mineral analysis. Jour. of Sedim. Petrology. Vol. 29, No. 2
- Van Andel, Tj. and D.M. Poole . 1960. Sources of recent sediments in the northern Gulf of Mexico. Jour. of Sedim. Petrology Vol. 30 , No. 1.
- Virgen, L. (1985, en preparaci3n). Variaciones morfol3gicas en cuarzo y feldespatos en relaci3n a cambios en la profundidad. Tesis de licenciatura. Esc. Sup. de Ciencias Marinas-U.A.B.C., Ensenada, M3xico .
- Walton, W.R. 1955. Ecology of living benthonic foraminifera, Todos Santos Bay, B.C. Jour. of paleontology, Vol. 29 No. 6 , pp 952-1018.