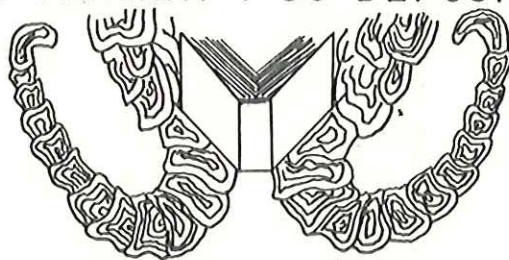


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

Escuela Superior de Ciencias Marinas



RELACION MINERALOGICA ENTRE
EL AREA DRENADA POR EL ARROYO
EL CARMEN Y SU DEPOSITO



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

OCEANOLOGO

PRESENTA

ROBERTO PEREZ HIGUERA

DEDICATORIA:

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

AGRADECIMIENTOS:

A mis compañeros y amigos del Departamento de Geología de la E. S. C. M.; Alfredo, Miguel, Oscar, Vicente, Adolfo, Lorenzo, Román, Jorge, Eduardo y Carlos, por sus acertadas críticas.

Al Dr. Gordon Gastill, por facilitarme el separador magnético isodinámico para el procesamiento de las muestras.

Al M. en C. Francisco Suarez V., por aceptar la dirección del presente trabajo.

Al Ing. Cesar Obregón M-Sanz que con su entusiasmo me despertó el interés en la Geología.

A Guillermina, por su ayuda en la elaboración del presente escrito.

I N D I C E

I.- INTRODUCCION.....	1
1.1.- ANTECEDENTES GENERALES.....	3
1.2.- ANTECEDENTES PARTICULARES.....	6
II.- IMPORTANCIA.....	8
III.- OBJETIVOS.....	9
IV.- HIPOTESIS.....	9
V.- DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	10
VI.- METODOLOGIA.....	14
VII.- RESULTADOS.....	18
VIII.- DISCUSION.....	29
IX.- CONCLUSIONES.....	34
X.- BIBLIOGRAFIA.....	35

I.- INTRODUCCION. El problema de procedencia en rocas y depósitos sedimentarios presenta gran complejidad y se han utilizado varias técnicas para poderlo descifrar.

La metodología más común está basada en el estudio de estructuras direccionales y en el análisis petrográfico del depósito (Pettijohn, Potter y Siever, 1973).

Una de las herramientas más importantes en el análisis petrográfico es el contenido de minerales pesados. En este grupo se incluyen principalmente silicatos y óxidos con una gravedad específica mayor de 2.85. Los minerales con menor gravedad específica son denominados minerales ligeros.

En la gran mayoría de los casos, los minerales pesados son los constituyentes de menor proporción en una arenisca o un depósito sedimentario, sin embargo, presentan la característica de poseer una estabilidad física y química mucho mayor que la de los minerales ligeros. Dicha propiedad permite que estos minerales puedan correlacionarse a grandes distancias o seguir su historia a través de varios ciclos de depositación. La Tabla 1 muestra el grado de estabilidad relativa de algunos minerales pesados.

T a b l a 1.

Estabilidad de algunos minerales pesados detríticos

(de Pettijohn et al 1973, P. 305)

Ultraestables	Rutilo, zircón, turmalina, anatasa.
Estables	Apatita, granate (pobre en Fe), estaurolita, monazita, biotita, ilmenita, magnetita.
Moderadamente estables	Epidota, cianita, granate (rico en Fe) Silimanita, esfena, zoisita.
Inestables	Hornblenda, actinolita, augita, diopsido, hiperstena, andalusita.
Muy inestable	Olivino.

Por más de 50 años los minerales pesados fueron utilizados como indicadores de procedencia. Este término comprende todos los factores relacionados a la producción u origen del sedimento a partir de una roca-fuente.

Cada tipo de roca tiende a producir una asociación de minerales característica, que constituye por sí misma una guía sobre el carácter de la roca original. Estas asociaciones son descritas por Pettijohn et al (1973) y se reproducen en la Tabla #2.

1.1.- ANTECEDENTES GENERALES.

Durante las décadas de 1930 y 1940 los minerales pesados fueron usados ampliamente en problemas de correlación estratigráfica aplicados a Geología del petróleo (Royse, 1970). Las aplicaciones directas de los datos de minerales pesados en problemas estratigráficos son descritos por Feo-Codecido (1956). A partir de 1950 su uso pasó a ser insignificante ya que el estudio de microfósiles proporcionó mayor exactitud y facilidad para establecer dichas correlaciones. No obstante, los minerales pesados continúan siendo de gran importancia en la solución de problemas sedimentológicos.

T a b l a 2.

Asociación de Minerales Pesados y Procedencia.

(Pettijohn et al 1973 p305)

Asociación:

Origen:

Apatita, biotita, brookita, hornblenda, monazita, moscovita, rutilo, titanita, turmalina (rosa), zircón.	Rocas Igneas Acidas
Casiterita, dumortierita, fluorita, granate, monazita, moscovita, topacio, turmalina (azul), wolframita.	Granitos Pegmatíticos
Augita, cromita, diopsido, hiperstena, ilmenita, magnetita, olivino, pectolita, pleonasta.	Rocas Igneas Básicas
Andalusita, condrodita, corindón, flogopita, estaurolita, topacio, vesubianita, wollastonita, zoisita, granate.	Rocas de Metamorfismo de Contacto
Andalusita, cloritoides, epidota, granate, glaucofano, cianita, sillimanita, titanita, zoisita, clinozoisita.	Rocas de Metamorfismo Dinamo-Termal
Barita, menas de fierro, leucoxeno, rutilo, turmalina (granos redondeados), zircón (granos redondeados).	Sedimentos Retrabajados

Los estudios de sedimentos recientes relacionados con procedencia de minerales han sido elaborados desde 1937 (Blatt, 1967), y los trabajos clásicos sobre el tema de minerales pesados son los de Rittenhouse (1943) y de Andel van (1950).

En la actualidad los minerales pesados están siendo ampliamente utilizados como indicadores de procesos costeros en las Costas de California, E. U. A.

Trask (1955), determina el sentido del transporte litoral utilizando a un mineral específico pesado (augita), como trazador del movimiento de los sedimentos .

Kulm, Scheidegger, Byrne y Spigai (1968), usando asociaciones de minerales pesados logran inferir el sentido predominante del transporte de sedimentos a lo largo de la Costa.

Judge (1970) usa las razones de varios minerales pesados de diferente estabilidad para definir el sentido del transporte litoral y concluye que para ciertas regiones los minerales pesados no son indicadores definitivos del transporte a lo largo de las playas. Sin embargo, asociado con otras evidencias de trazadores radiactivos y registros históricos se pueden obtener conclusiones razonables.

Rice, Gorsline y Osborne (1976); Combellick y Osborne (1977); Neiheisel (1965); Azmon (1960); Handin (1951), y otros autores

han estudiado los minerales pesados en playas para relacionarlo con la fuente de suministro. En resumen todos los trabajos mencionados anteriormente tratan sobre el problema de procedencia en sedimentos recientes.

1.2.- ANTECEDENTES PARTICULARES.

Son pocos los estudios que se han realizado en la Bahía de Todos Santos referentes a la Geología y Sedimentología del lugar.

Walton (1955), describe la Ecología de foraminíferos bentónicos en la Bahía relacionándola con la profundidad y el tipo de sedimentos.

Emery, Gorsline, Uchupi y Terry (1957), en su estudio sobre distribución de sedimentos en tres Bahías de Baja California, concluyen que el oleaje y los arroyos parecen controlar la naturaleza y distribución de sedimentos dentro de la Bahía de Todos Santos, y dan gran importancia a los detalles topográficos en el control del tipo de sedimentos y su distribución.

Duffett (1969), al analizar las relaciones entre arroyos y línea de Costa en Baja California concluye que, bajo las condiciones ambientales presentes en la fecha de estudio, los arroyos no contribuyen con cantidades significativas de sedimento a la línea de Costa. Sin embargo al referirse a los arroyos de la Bahía de

Todos Santos, sugiere que el arroyo Sauzal es el único de los arroyos, muestreados por él, que podría suministrar arena a la playa. Y en general los arroyos al Norte de la Bahía son los principales aportadores de sedimentos.

Baca-Chacon (1981), al hacer un estudio sobre procedencia concluye que las fuentes de procedencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos son los arroyos que drenan en la época de lluvias la cuenca de drenaje de Ensenada y alrededores.

II.- IMPORTANCIA.

Si se efectúan ligeras modificaciones a la metodología clásica sobre problemas de correlación y procedencia, los minerales pesados pueden ser de gran utilidad para resolver problemas sedimentológicos contemporáneos tales como: Conocer el origen de un depósito de arena específico. Determinar el área del que proceden los sedimentos que se están depositando en una cuenca actual (por ejemplo un puerto o un estuario). Determinar de que parte de una cuenca de drenaje proviene un mineral de importancia económica, así como cuales han sido los tipos de roca que se han desintegrado para dar origen a una asociación de minerales característica, que pueda ser usada como índice en la determinación de la dirección y sentido del transporte litoral.

III.- OBJETIVOS.

El presente estudio tiene como principal objetivo establecer las relaciones mineralógicas entre las rocas localizadas en el área de drenaje del arroyo El Carmen y su depósito. Como objetivo secundario se pretende establecer la asociación mineralógica que es representativa de dicho depósito.

IV.- HIPOTESIS.

Para un arroyo de pequeña longitud, como el arroyo El Carmen, la arena es clasificada y homogeneizada durante su transporte y la asociación mineralógica del depósito es representativa de las rocas que afloran en el área de drenaje.

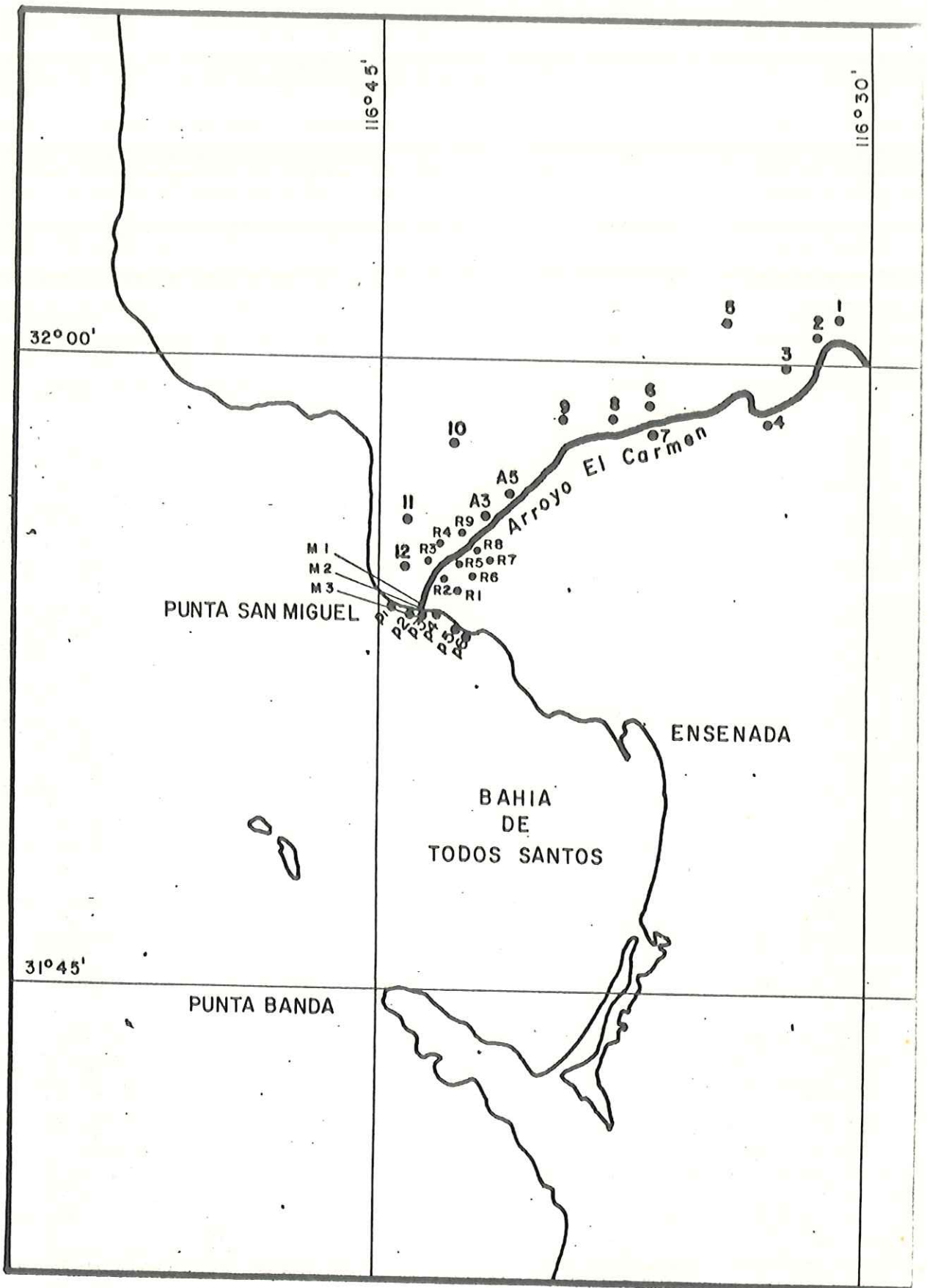
V.- DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

La zona de estudio está localizada en Baja California, aproximadamente a 100 km al Sur de la frontera con E.U.A. en uno de los límites de la Bahía de Todos Santos, la cual se extiende desde los 31°40' a 31°56' de Latitud Norte, y de los 116°36' a los 116°50' de Longitud Oeste.

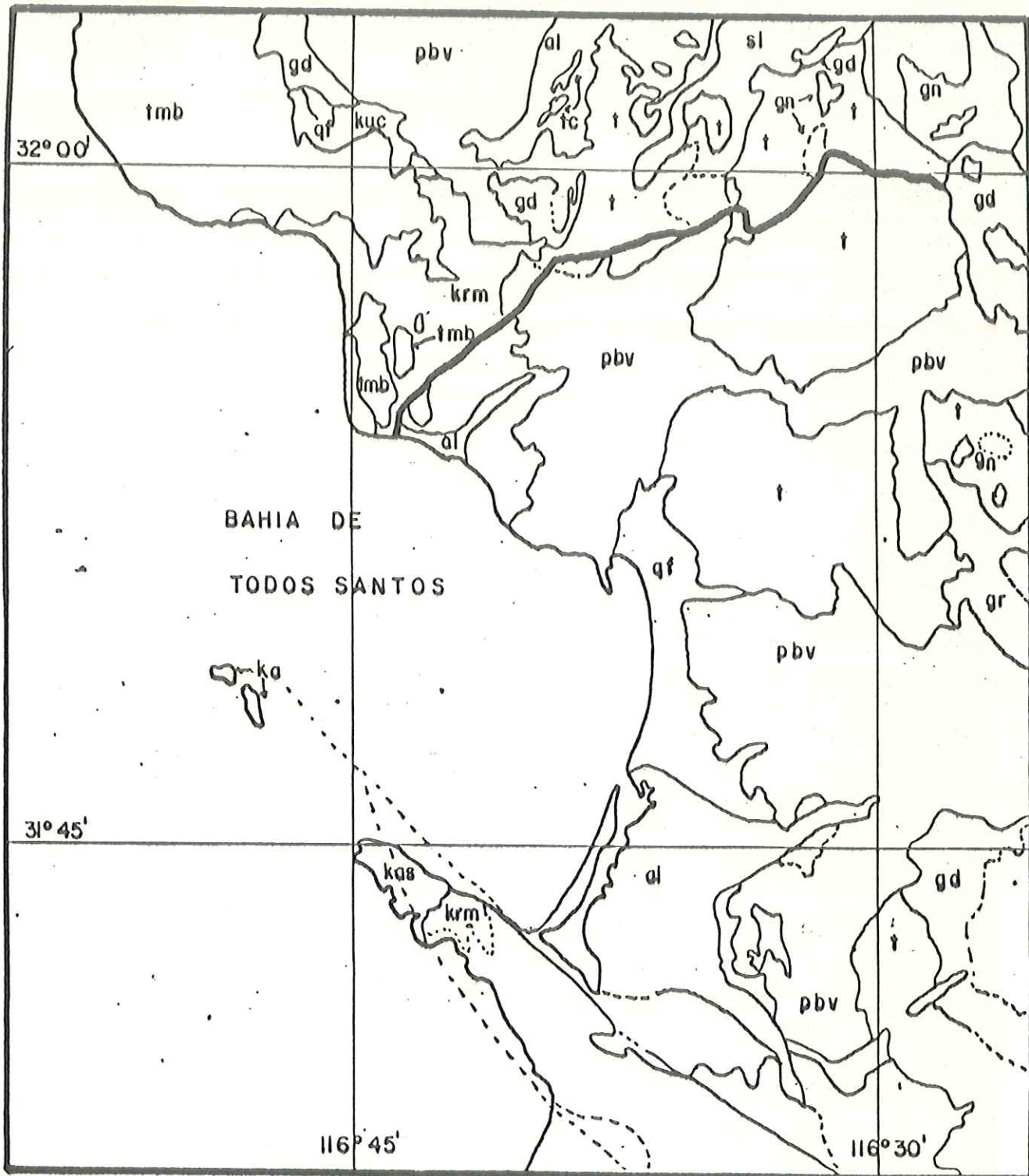
En el presente trabajo se escogió el arroyo El Carmen porque se sugiere que es uno de los que tiene mayor influencia en la aportación de sedimentos a la Bahía de Todos Santos. (Duffett, 1969).

El arroyo El Carmen tiene una longitud aproximada a los 25 km y drena un área cercana a los 180 km². Su cauce principal tiene una orientación Noreste y su desembocadura, que establece el límite más al Norte de la Bahía de Todos Santos, está localizada a 14 km, al Noroeste de la ciudad de Ensenada, B. C. (Mapa 1).

A lo largo de su cauce erosiona diferentes tipos de rocas en las que se incluyen: granito, granodiorita, tonalita, gabro, gneiss, roca prebatolítica volcánica, rocas sedimentarias de la Formación Rosario y rocas volcánicas del Mioceno. De estas rocas, las más importantes tanto por su área expuesta como por el posible tipo de minerales que aportan a la cuenca, son la tonalita y las rocas de la Formación Rosario que están localizadas respectivamente en el nacimiento y próximas a la desembocadura del arroyo (Mapa 2).



MAPA 1.
 LOCALIZACION DEL AREA Y ESTACIONES DE MUESTREO



pbv.	Prebaticolítico-Volcánico
t	Tonalita
al	Aluvion
tmb	Terciario Mioceno basalto
gd	Granodiorita
krm	Cretácico Rosario Marino
sl	Pizarra
kuc	Cretácico redondo
qf	Cuaternalio fluvial
gn	Gneiss
tc	Conglomerado

MAPA 2.

MAPA GEOLOGICO DEL AREA

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

Los principales tipos de rocas que caracterizan la Geología regional están representados por: acumulaciones de roca sedimentaria y volcánica prebatolítica en partes metamorfizada, rocas plutónicas que corresponden al batolito peninsular y rocas sedimentarias y volcánicas post-batolíticas del Cretácico Superior y del Cenozoico (Gastil, Phillips y Allison, 1975; Obregón 1966).

En general, el sistema montañoso de la Baja California está soportado por rocas batolíticas en las que predominan tonalita, granodiorita y granito, mientras que al pie de las Sierras, entre la falda de las montañas y el Océano Pacífico, está cubierta por roca prebatolítica volcánica y roca sedimentaria de la Formación Alisitos. Las rocas prebatolíticas presentan intrusiones plutónicas que decrecen en tamaño y abundancia hacia al Oeste. Las rocas prebatolíticas y batolíticas están truncadas y cubiertas por rocas sedimentarias del Cretácico Superior (Formación Rosario), en una franja delgada a lo largo de la Costa Oeste de la Baja California (Allison y Brooks 1968). Suprayacente a las rocas sedimentarias del Cretácico Superior se encuentra una roca volcánica basáltica de edad Mioceno (Mapa 2).

VI.- METODOLOGIA.

Se colectaron un total de 42 muestras de las cuales 12 fueron de roca ígnea, 2 de roca sedimentaria y 28 de sedimentos. Las muestras de sedimentos, a las que se les presta mayor atención en el presente estudio, fueron tomadas 9 de ellas en el lecho del arroyo, 13 en la playa sobre la desembocadura del Arroyo El Carmen y 6 sobre la cara de la playa tanto del lado Norte como Sur de la desembocadura, la más distante a solo 1.5 km, y una muestra de duna colectada fuera de la zona de estudio con el propósito de comparar su contenido mineralógico con las muestras de la cuenca del arroyo. La localización de las muestras se observa en el Mapa 1.

Las muestras de roca ígnea se examinaron inicialmente bajo microscopio estereoscópico y posteriormente se obtuvo una lámina delgada con una cortadora Isomet, puliéndolas a mano hasta un espesor aproximado de 0.04 mm (Kerr, 1965), para ser observadas en microscopio polarizante e identificar los minerales pesados.

Las muestras de sedimentos fueron pasadas a través de un cuarteador mecánico, hasta obtener una submuestra de aproximadamente 60 a 80 gramos. Fueron lavadas con agua destilada para la eliminación de sales. Secadas a una temperatura inferior a 80°C, y posteriormente separadas para el análisis de tamaño, usando un intervalo de tamices de 0.5 ϕ de acuerdo al procedimiento descrito por Royse (1970). La fracción correspondiente a la clase de tamaños retenida en 3.0 ϕ , fué

utilizada para separar los minerales pesados de los ligeros por medio de la técnica de Fessenden (1959). Esta consiste esencialmente en la separación de los minerales centrifugando la muestra en un líquido de alta gravedad específica (bromoformo), como resultado se obtiene que los minerales pesados se hunden en el líquido y los minerales ligeros permanecen en la superficie. Después de la separación, los minerales pesados fueron lavados con acetona y pasados a través de un separador magnético isodinámico tipo Frantz. Usando la metodología de Rossemblum (1958), se obtuvieron grupos mineralógicos divididos en seis clases (A,B,C,D,E,F). La Tabla 3 muestra los minerales más comunes que corresponden a las diferentes clases.

Cada una de las clases (grupos de minerales agrupados de acuerdo a su susceptibilidad magnética), fué montada en un medio con índice de refracción conocida (hystoclad $n=1.53$) obteniéndose un total de 174 láminas.

Los minerales presentes en cada lámina fueron identificados con un microscopio polarizante usando las propiedades ópticas más comunes tales como índice de refracción, ángulo de extinción, signo óptico, indicatriz óptica, ángulo $2V$, pleocroísmo.

Una vez que los minerales fueron identificados se contaron de 50 a 100 granos de cada clase, obteniéndose casi siempre una cantidad superior a 600 granos por cada muestra.

TABLA #3.

MINERALES PESADOS COMUNES EN ROCAS SEDIMENTARIAS ARREGLADOS
EN CLASES BASADOS SOBRE SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA.

(TOMADO DE HESS, 1959)

A	B	C	D	E	F
IMAN DE MANO	MAGNETICO A 0.4 AMPS	MAGNETICO A 0.8 AMPS	MAGNETICO A 1.2 AMPS	MAGNETICO A 1.2 AMPS	NO MAGNETICO A 1.2 AMPS
MAGNETITA	ILMENITA	HORBLENDA	DIOPSIDO	ESFENA	ZIRCON
PIRROTITA	GRANATE	HIPERSTENA	TREMOLITA	LEUCOXENO	RUTILO
	OLIVINO	AUGITA	ENSTATITA	APATITA	ANATASA
	CROMITA	ACTINOLITA	ESPINELA	ANDALUSITA	BROKITA
	CLORITOIDE	ESTAUROLITA	ESTAUROLITA	MONAZITA	PIRITA
		EPIDOTA	MOSCOVITA	XENOTIMA	CORINDON
		BIOTITA	ZOISITA		TOPACIO
		CLORITA	CLINDZOISITA		FLUORITA
		TURMALINA	TURMALINA		SILIMANITA
					ANHIDRITA
					BERILO
					CIANITA

El conteo se efectuó con ayuda de un microscopio estereoscópico y un contador de nueve unidades utilizando el método de la línea (Ramesan, V., 1966) y cada uno de los minerales fué expresado de acuerdo al porcentaje relativo de minerales pesados para el intervalo 2.5 ϕ a 3.0 ϕ de la muestra.

Las muestras de rocas sedimentarias, las cuales presentaban poca cementación, se disgregaron utilizando peróxido de hidrógeno. Se obtuvo una submuestra de aproximadamente 60 gramos con ayuda de un cuarteador mecánico y fueron tratadas al igual que los sedimentos.

VII.- RESULTADOS.

Se obtuvieron 12 láminas de rocas ígneas. Los principales minerales pesados identificados se muestran en la Tabla 4.

Los datos del análisis granulométrico de los sedimentos se muestra en la Tabla 5, en la que se nota que la mayoría de los sedimentos analizados presenta una moda entre 1.5 ϕ y 2.5 ϕ y casi todos son moderadamente clasificados (Folk y Ward, 1959).

El porcentaje de minerales pesados para la clase de tamaño retenido en 3.0 ϕ presenta una variación entre el 6% y 20%, con un promedio de 13.4%. La muestra de duna con un valor de 51% y la muestra (P5-S) de 94%. Las rocas sedimentarias analizadas A3 y A5, presentaron valores de 1.9% y 1.3% respectivamente y son mostrados en la Gráfica 1.

La separación de minerales por clases de susceptibilidad, para la clase de tamaño retenido en 3.0 ϕ y en la que se incluyen a minerales ligeros se muestra en la Tabla 6 y en la Gráfica 2, notándose un predominio marcado de la clase F, en la que están presentes la mayoría de los minerales ligeros, y de la clase C que corresponden principalmente a biotita, hornblenda e hiperstena.

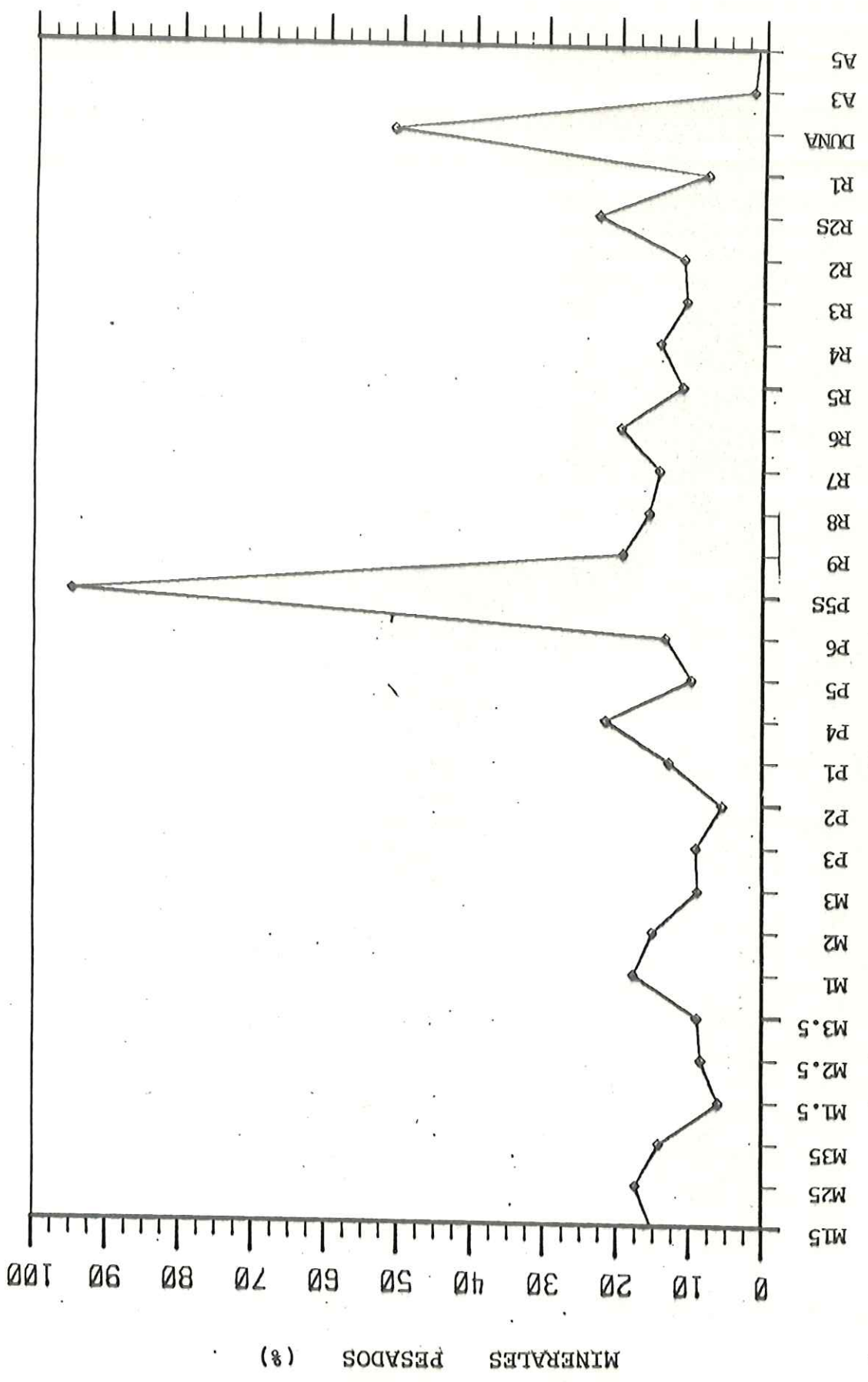
La Tabla 7 y la Gráfica 3, corresponden a los datos obtenidos para los minerales pesados retenidos en la clase de tamaño 3.0 ϕ y representan el porcentaje en peso relativo relacionado exclusivamente al total de minerales pesados. La clase C y la

<u>MUESTRA</u>	<u>R O C A</u>	<u>MAGNETITA</u>	<u>PIROXENOS</u>	<u>HORNBLENDA</u>	<u>BIOTITA</u>	<u>GRANATE</u>	<u>APATITA</u>	<u>ZIRCON</u>	<u>MONAZITA</u>
1.-	TONALITA	X	X	X	X	X			X
2.-	GNEIS	X	X	X					
3.-	TONALITA			X	X				
4.-	TONALITA	X	X	X					
5.-	GRANITO	X	X	X	X	X	X	X	
6.-	TONALITA		X	X	X				
7.-	TONALITA	X		X	X				X
8.-	TONALITA		X	X					
9.-	GRANODIORITA	X	X	X	X	X	X	X	
10.-	BASALTO								
11.-	BASALTO	X	X	X					
12.-	BASALTO	X	X						

Tabla 4. Minerales pesados encontrados en las rocas del área.

MUESTRA MODA	MD	M	CLASIFICACION	ASIMETRIA	KURTOSIS		
IS	1.5	1.051	0.799	MOD.	MOD.	1.045	MESO
2S	1.5	1.028	0.813	MOD.	MOD.	1.090	MESO
3S	1.5	1.008	0.834	MOD.	MOD.	1.014	MESO
1.5	0.5	0.318	0.567	MOD.	MOD.	0.958	MESO
2.5	1.0	0.704	0.870	MOD.	MOD.	0.973	MESO
3.5	1.5	1.268	0.733	MOD.	MOD.	0.970	MESO
1	1.0	0.770	0.830	MOD.	MOD.	1.047	MESO
2	1.5	1.204	0.522	MOD.	MOD.	1.016	MESO
3	1.5	1.125	0.551	MOD.	MOD.	1.033	MESO
3	1.0	0.865	0.944	MOD.	MOD.	0.862	PLAT
2	0.5	0.479	0.824	MOD.	MOD.	1.250	LEPT
1	0.5	0.477	1.104	POBRE	POBRE	0.881	PLAT
4	1.0	0.879	0.822	MOD.	MOD.	1.168	LEPT
5	2.5	2.237	0.466	BIEN	BIEN	0.991	MESO
6	2.5	2.149	0.596	MOD.	MOD.	1.119	LEPT
5-5	2.5	2.068	0.781	MOD.	MOD.	0.942	MESO
9	1.5	1.009	0.984	MOD.	MOD.	1.448	LEPT
8	1.5	1.135	1.071	MOD.	MOD.	1.006	MESO
7	1.0	0.958	0.924	MOD.	MOD.	1.116	LEPT
6	1.5	1.215	1.173	MOD.	MOD.	1.126	LEPT
5	2.0	1.785	1.825	MOD.	MOD.	1.124	LEPT
4	1.0	0.927	0.856	MOD.	MOD.	1.087	MESO
3	1.5-2.0	1.407	1.356	MOD.	MOD.	1.151	LEPT
2	0.5	0.271	0.231	POBRE	POBRE	0.890	PLAT
2S	0.6	0.759	1.118	POBRE	POBRE	0.976	MESO
1	1.5	1.223	1.177	MOD.	MOD.	1.176	LEPT
UNA	2.5	2.220	0.480	BIEN	BIEN	0.990	MESO
3	2.5	2.116	0.784	MOD.	MOD.	1.015	MESO
5	2.0	1.877	0.874	MOD.	MOD.	1.122	LEPT

TABLA 5. - DATOS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS

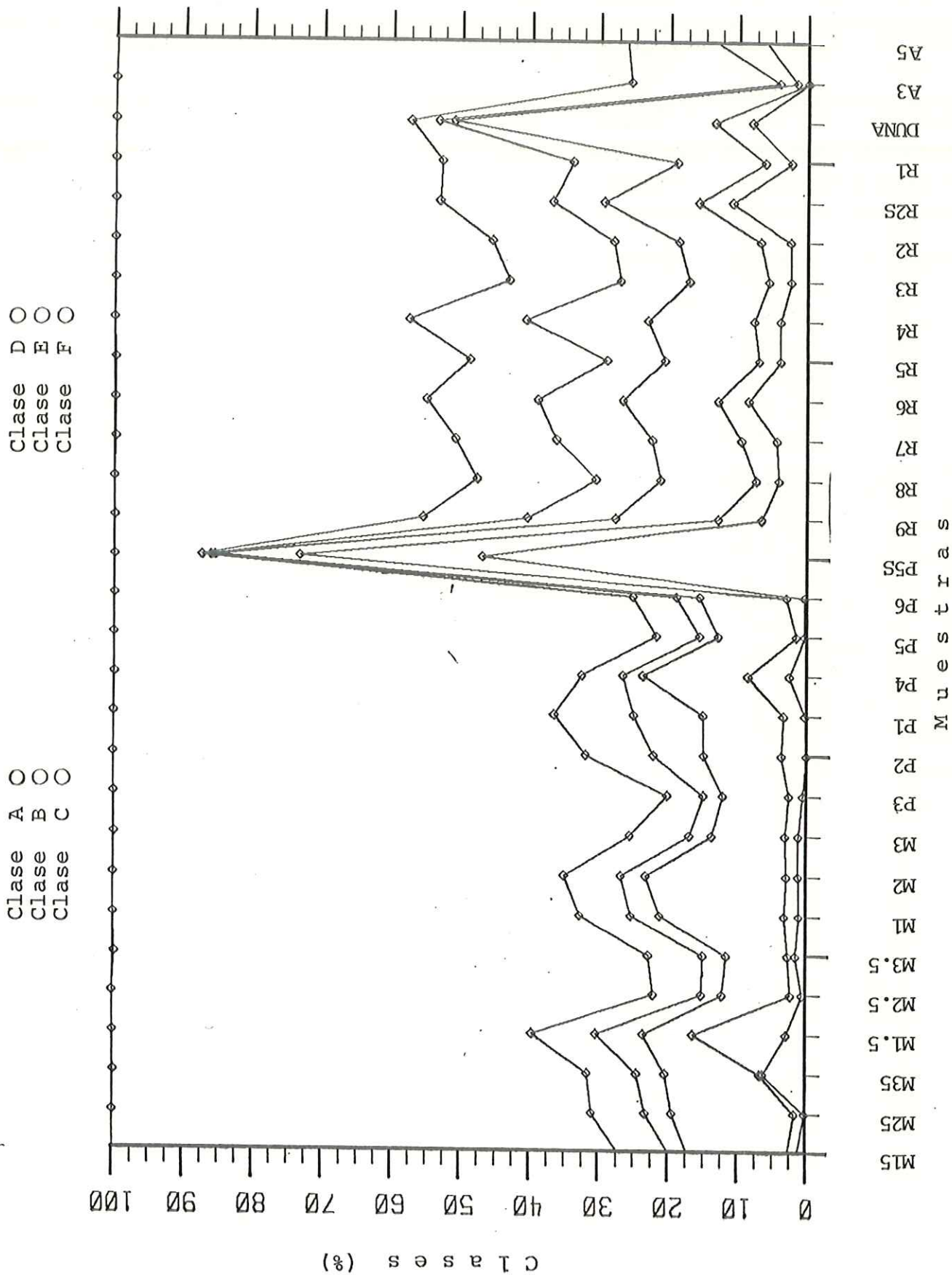


Gráfica 1.- Porcentaje de minerales pesados para minerales retenidos en tamiz 3.0 Ø

TABLA 6

MINERALES TOTALES POR CLASES
(% EN PESO)

A	B	C	D	E	F	
01.40	01.40	14.50	02.70	07.30	72.70	M1S
00.30	01.50	17.70	03.80	07.70	69.00	M2S
06.40	00.40	13.70	04.00	07.20	68.20	M3S
03.00	13.50	07.10	06.80	09.30	60.30	M1.5
00.70	01.70	09.90	03.00	06.90	77.90	M2.5
01.70	01.10	08.90	03.40	07.80	76.90	M3.5
01.20	02.10	18.00	04.10	07.50	67.10	M1
01.30	01.70	20.30	03.60	08.20	64.90	M2
01.30	01.90	10.70	03.20	08.50	74.30	M3
06.80	06.30	14.80	12.70	15.00	44.30	R9
04.30	03.31	13.77	09.27	17.14	52.21	R8
04.60	05.10	12.90	13.80	14.50	48.90	R7
08.70	04.40	13.70	12.30	16.00	44.80	R6
04.10	03.10	13.60	08.30	19.70	51.00	R5
04.10	03.80	15.30	17.60	16.80	42.40	R4
02.60	03.20	11.50	09.90	16.00	56.70	R3
02.70	04.30	11.80	09.40	17.50	54.30	R2
11.07	04.94	13.60	07.39	16.33	46.67	R2S
02.60	03.80	12.70	15.10	18.80	47.00	R1
00.50	02.60	12.60	03.30	06.20	74.70	P6
00.50	01.20	11.30	02.70	06.20	78.10	P5
02.70	06.00	15.10	02.90	06.00	67.20	P4
00.70	02.00	09.60	02.80	05.20	79.70	P3
00.20	03.60	11.30	07.20	09.80	68.00	P2
00.43	03.11	11.66	09.90	11.53	63.37	P1
47.00	26.30	12.20	00.60	01.30	12.50	P5S
08.27	05.40	37.52	02.32	04.03	42.46	DUNA
00.17	00.05	01.60	02.48	21.40	74.30	A3
00.01	00.02	06.10	07.10	13.10	73.70	A5

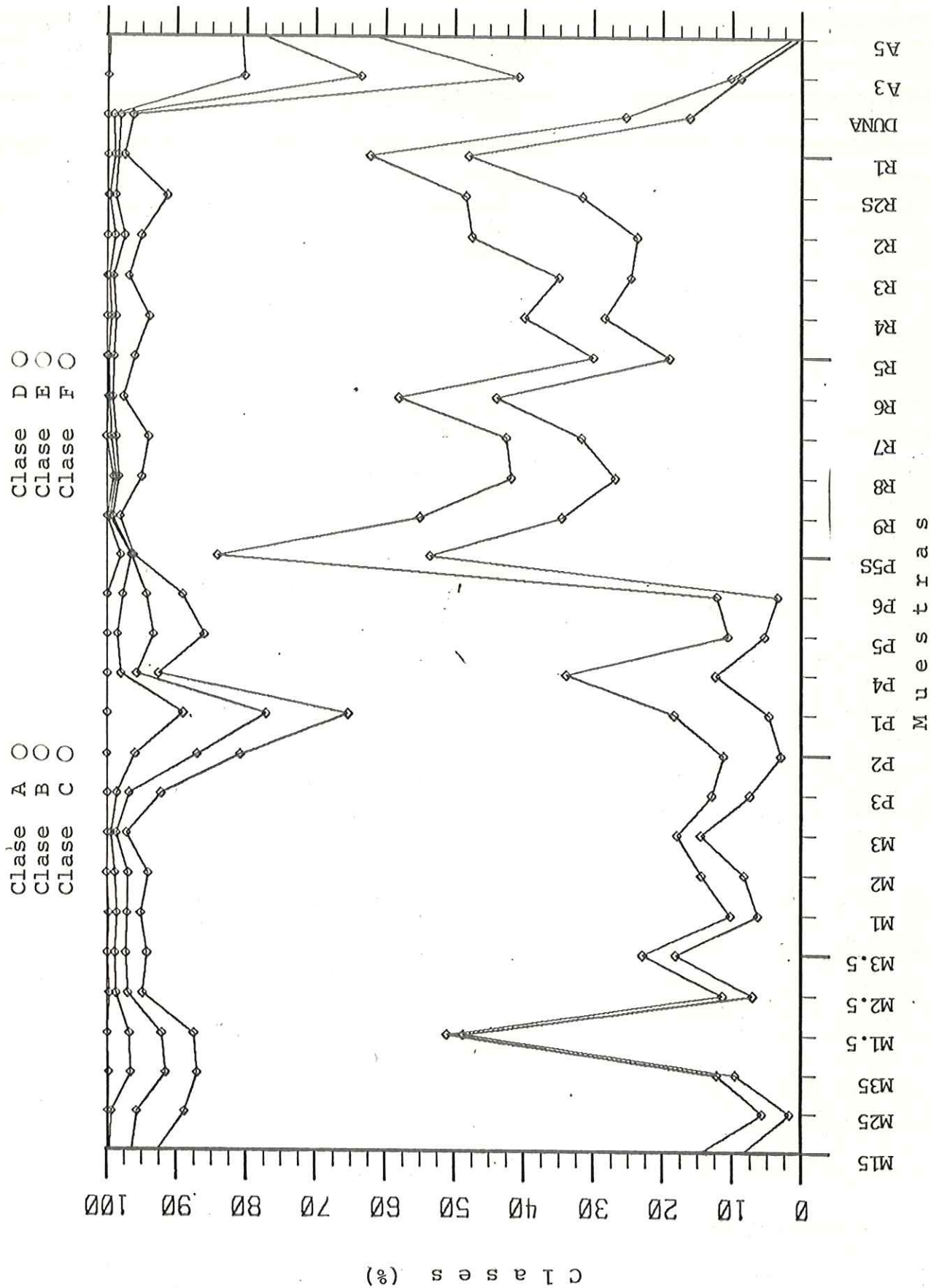


Gráfica 2.- Porcentaje de minerales totales, separados por clase de susceptibilidad magnética.

TABLA 7

MINERALES PESADOS POR CLASE
(% EN PESO)

A	B	C	D	E	F	
08.80	06.10	78.00	03.60	03.20	00.10	m1s
01.80	04.00	83.10	06.80	03.70	00.50	m2s
09.70	02.60	74.80	04.50	05.00	03.20	m3s
48.84	02.30	36.40	04.61	04.61	03.22	m1.5
07.16	04.32	83.40	02.10	01.75	01.02	m2.5
18.18	04.78	71.31	03.06	01.57	01.10	m3.5
06.40	03.96	84.78	01.98	01.52	01.21	m1
08.40	06.13	79.58	02.86	01.93	01.19	m2
14.65	03.34	79.22	01.51	00.80	00.48	m3
34.70	20.40	43.00	01.10	00.40	00.40	r9
27.00	14.90	53.10	03.30	00.40	00.40	r8
31.80	10.80	51.40	04.70	00.70	00.70	r7
44.00	14.10	39.50	01.60	00.40	00.20	r6
19.10	11.00	65.90	03.00	00.80	00.20	r5
28.50	11.50	53.90	04.80	00.70	00.60	r4
24.70	10.40	61.70	02.30	00.60	00.30	r3
23.80	23.80	47.50	02.40	01.40	01.10	r2
31.70	16.80	42.90	07.40	00.90	00.20	r2s
48.10	14.20	35.20	00.90	00.50	01.00	r1
03.60	08.70	76.80	05.20	03.40	02.30	p6
05.47	05.27	75.29	07.26	05.22	01.49	p5
12.49	21.56	58.57	03.11	02.27	02.00	p4
07.64	05.40	79.22	04.54	01.81	01.38	p3
03.13	08.29	69.49	06.21	08.85	04.14	p2
04.78	13.67	46.92	11.85	11.85	10.93	p1
49.60	27.50	12.00	00.30	00.10	01.50	p5s
16.28	09.20	70.79	01.82	00.97	00.93	duna
09.00	01.40	30.50	22.70	16.80	19.50	a3
00.70	01.00	59.50	16.00	03.60	18.90	a5



Gráfica 3.- Minerale pesados separados por clases de susceptibilidad magnética.

clase A son respectivamente las más abundantes, variando el contenido de la clase C desde el 12% hasta el 80% con un promedio aproximado de 60%.

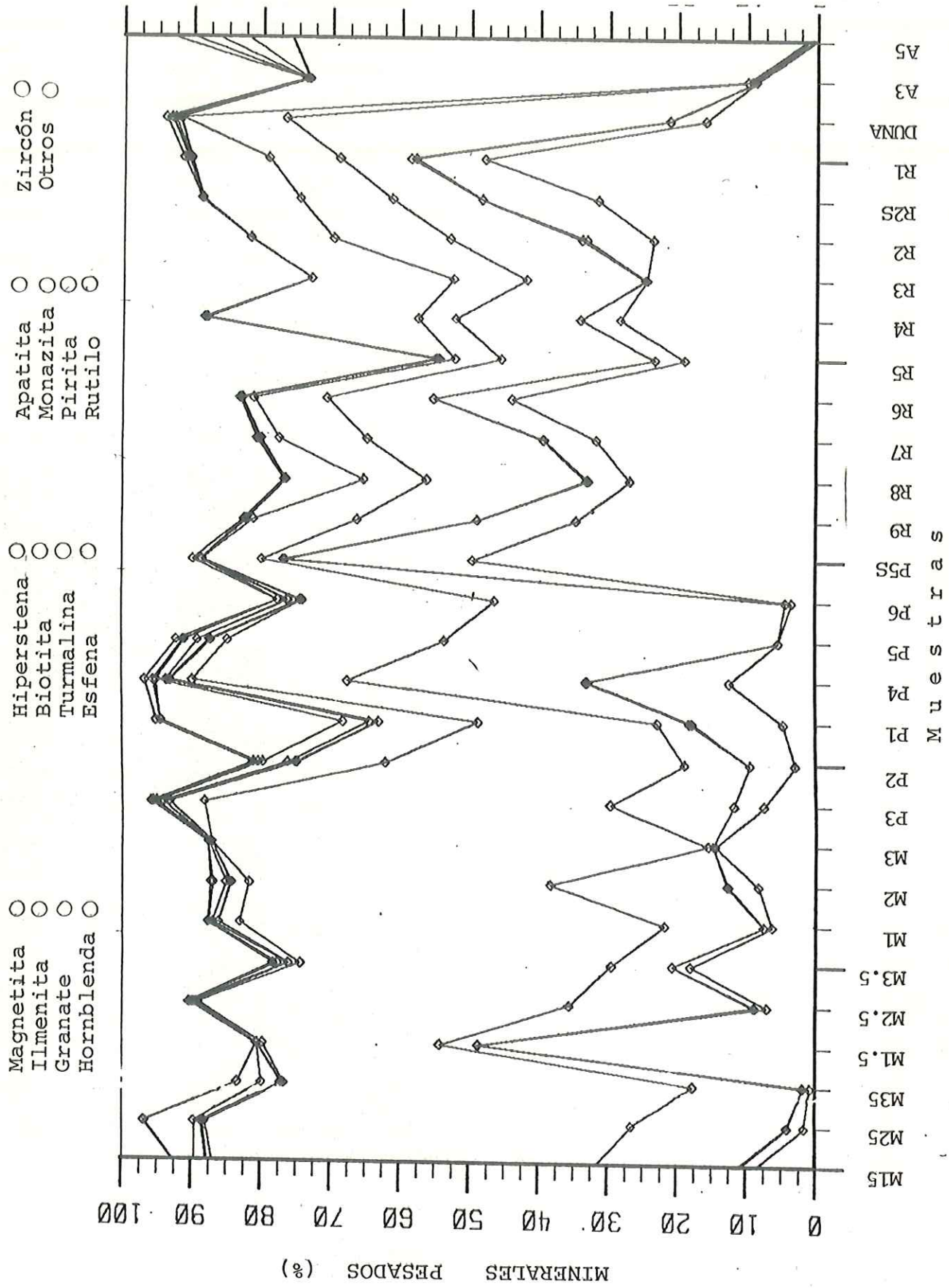
Se obtuvo la separación de los minerales pesados más comunes y que son mostrados en la Tabla 8 y la Gráfica 4. Los minerales más abundantes fueron la hornblenda, hiperstena, Magnetita, Ilmenita y biotita.

En casi todas las muestras se nota la presencia de monazita, apatita, esfena, rutilo, zircón y granate, y los valores en por ciento se dan en la Tabla antes mencionada. La pirita solo se encontró en las muestras de la desembocadura del arroyo El Carmen y en las muestras de playa colectadas al Norte de éste.

Los minerales marcados como " otros " en la Gráfica 4 incluyen principalmente Cuarzo con impurezas de Fierro y minerales con fragmentos de roca que en el momento de efectuarse la separación con bromoformo se comportaban como minerales pesados. En este grupo también se incluyen minerales pesados como augita, epidota, calcopirita y algunos minerales opacos, que aún cuando son frecuentes no representan un número significativo de la muestra.

MAGNETITA	ILMENITA	GRANATE	HORBLENDA	HIPERSTENA	BIOTITA	TURMALINA	ESFENA	APATITA	MONAZITA	PIRITA	RUTILO	ZIRCON
08.80	02.44	00.12	20.58	55.03	00.88	00.18	00.00	00.00	01.55	03.06	00.01	00.02
01.80	02.40	00.08	22.41	61.40	00.35	00.20	00.00	00.05	01.00	07.18	00.00	00.15
00.97	01.04	00.03	15.81	58.92	00.28	00.00	00.00	00.19	02.74	03.47	00.00	00.00
48.84	00.05	00.00	05.46	25.48	00.78	00.00	00.00	00.00	00.04	00.04	00.00	00.00
07.16	01.73	00.17	26.68	53.39	00.24	00.00	00.35	00.22	00.40	00.00	00.02	00.00
18.18	02.68	00.05	08.75	44.80	01.64	00.12	00.00	00.00	01.54	00.55	00.00	00.13
06.40	01.19	00.04	14.41	61.06	02.98	00.06	00.82	00.00	00.55	00.18	00.00	00.01
08.40	04.29	00.18	25.52	43.38	02.55	00.20	00.49	00.14	01.78	00.01	00.00	00.33
14.65	00.33	00.00	00.79	71.34	00.03	00.00	00.32	00.00	00.24	00.00	00.00	00.00
34.70	14.28	00.00	17.20	14.90	01.04	00.00	00.05	00.00	00.17	00.00	00.00	00.14
27.00	05.96	00.30	22.99	09.03	11.25	00.10	00.00	00.00	00.00	00.00	00.14	00.00
31.80	07.56	00.11	25.29	12.70	02.61	00.28	00.00	00.00	00.15	00.00	00.00	00.21
44.00	11.28	00.00	15.30	10.56	01.63	00.03	00.06	00.00	00.00	00.00	00.02	00.27
19.10	04.40	00.00	22.09	06.68	02.26	00.03	00.36	00.00	00.08	00.01	00.00	00.00
28.50	05.75	00.00	17.93	05.39	03.26	00.19	00.09	00.00	00.13	00.00	00.04	00.04
24.70	00.10	00.10	17.08	10.57	20.40	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00
23.80	09.52	00.71	19.01	16.73	11.92	00.00	00.00	00.00	00.01	00.01	00.00	00.01
31.70	16.80	00.00	12.87	13.31	13.91	00.00	00.02	00.00	00.06	00.00	00.00	00.12
48.10	09.94	00.71	10.22	10.22	11.10	00.02	00.13	00.00	00.19	00.00	00.20	00.53
03.60	00.87	00.00	41.94	27.65	00.10	00.21	01.63	00.23	01.34	00.01	00.00	00.00
05.47	00.03	00.00	48.11	31.16	02.31	00.33	01.74	00.00	01.87	00.22	00.00	00.98
12.49	20.48	00.22	34.34	22.32	03.18	00.13	00.45	00.00	01.46	00.00	00.46	01.19
07.64	04.32	00.05	17.83	58.35	05.02	00.09	00.80	00.13	00.87	00.51	00.00	00.25
03.13	06.46	00.00	09.40	43.13	12.76	00.19	01.15	00.00	03.57	00.66	00.00	00.66
04.78	13.12	00.41	04.69	25.80	14.20	00.00	01.38	00.00	03.87	26.21	00.00	00.66
49.60	26.95	00.27	03.07	08.57	00.03	00.03	00.01	00.00	00.00	00.00	00.08	01.20
16.28	05.15	00.10	55.14	14.99	00.22	00.22	00.56	00.02	00.47	00.00	00.04	00.81
09.00	00.00	00.00	00.56	00.68	63.07	00.17	00.00	00.20	00.00	00.00	00.00	00.20
00.70	00.36	00.61	00.23	00.16	73.88	00.04	06.04	04.16	03.40	00.00	00.00	03.02

Tabla 8.- MINERALES PESADOS IDENTIFICADOS POR ESPECIE (%)



Gráfica 4.- Porcentaje de minerales pesados identificados por especie.

VIII.- DISCUSION.

Se escogió la clase 3.0 ϕ por las razones que se exponen a continuación: En este tamaño se pueden determinar fácilmente propiedades físicas como exfoliación y fractura, los granos son suficientemente pequeños para que la mayoría de los minerales pesados (no opacos), permitan utilizar las propiedades ópticas de cada uno de ellos para su identificación. Este tamaño es más recomendable al utilizarse el separador magnético isodinámico tipo Frantz (Hess 1959). Sin embargo, la razón principal, del uso de esta clase de tamaño, es que los minerales pesados tienden a concentrarse en las fracciones más finas, y frecuentemente la clase 3.0 ϕ y 4.0 ϕ contienen del 10% al 30% (en peso) del total de minerales pesados (Judge 1970). Mientras que en general los minerales pesados rara vez exceden del 1% al 2% de los granos de arena (Blatt 1967).

La utilización del separador magnético isodinámico fué de gran ayuda en la identificación de los minerales presentes en el sedimento. El separador, a cualquier corriente dada, produce una atracción magnética de esfuerzo uniforme en el área en la cual se efectúa la separación. De esta manera, se pueden obtener seis clases diferentes de grupos mineralógicos que son separados variando la intensidad de la corriente eléctrica o modificando la inclinación del canal de separación. Ya que muchos minerales varían considerablemente en composición y también varía su susceptibilidad magnética, es probable que un mismo mineral pueda ser encontrado en diferentes clases. Sin embargo, la

identificación de minerales es notoriamente más rápida y efectiva.

La separación por clases por medio del separador magnético cuando se usan los minerales totales, sin separar los minerales ligeros de los pesados (Gráfica 2), o cuando se usan únicamente los minerales pesados (Gráfica 3), no da una idea clara de la procedencia del sedimento. Sin embargo, es fácil observar que existe alta correlación entre las gráficas de minerales totales (Gráfica 2), la de minerales pesados (gráfica 3), y la de porcentaje de minerales pesados identificados por especie (Gráfica 4). Si la separación por clases de susceptibilidad magnética es efectiva se podría determinar la procedencia, o las distintas fuentes del sedimento, con la simple identificación del mineral más abundante por clase, sin necesidad de realizar la identificación y conteo de cada una de las especies mineralógicas presentes.

En el análisis de las muestras de sedimentos ordenada en porcentaje mineralógico (Tabla 8), se observa que la razón de hornblenda/hiperstena se mantiene más o menos constante para cada ambiente de depositación. La razón hornblenda/hiperstena presenta los valores menores en las muestras tomadas sobre la playa y que corresponden a la desembocadura del arroyo El Carmen, esto sugiere que su principal fuente de minerales es la terraza basáltica que se encuentra cercana a la costa desde la frontera con E.U.A. hasta Punta San Miguel, sin embargo, la presencia de biotita indica que el depósito es en realidad una mezcla de minerales que está alimentado por los afloramientos de granodiorita y tonalita.

que están presentes en el nacimiento de este arroyo, y que son ricas en contenido de hornblenda y biotita. La presencia de pirita indica que parte de este sedimento proviene de la roca sedimentaria del Cretácico Superior que ha sido removida por deslave y por maquinarias de construcción en Punta de San Miguel. También se puede considerar que la presencia de biotita en este depósito es producto de la desintegración de las rocas sedimentarias que corta el arroyo en su trayectoria, ya que el análisis mineralógico de las muestras A3 y A5, que corresponden a las rocas sedimentarias del Cretácico Superior, muestran que el mineral pesado más abundante es la biotita (Tabla 8).

Las muestras tomadas sobre la playa, y que no corresponden al delta del arroyo El Carmen, (P4, P5, P6, P5.S), presentan una razón de hornblenda/hiperstena mucho mayores a los encontrados en el arroyo, lo que indica que hay un mayor aporte de minerales de origen ígneo intrusivo leucocrático, debido al transporte litoral del material acarreado por los distintos arroyos que cortan roca correspondiente al batolito peninsular.

En las clases marcadas como A y B (Graf.3), se nota que el ambiente de playa ha provocado una selección muy buena, ya que casi no presenta fragmentos de roca y los únicos constituyentes de estas clases son respectivamente magnetita e ilmenita. La muestra P5.S, fue tomada en la cara de la playa en una zona donde estaban concentradas arenas negras y aproximadamente el 75% de los minerales pesados fueron Magnetita e Ilmenita. El motivo por el

cual en esta muestra se invierte la razón hornblenda/hiperstena, quizás sea debido a que la acción del oleaje concentra y selecciona los minerales más pesados y los más estables físicamente. La hornblenda, por su fácil exfoliación tiene la característica de presentarse en forma aplanada (de hoja) y esta propiedad le impide que se deposite rápidamente y le facilita que sea transportada con mayor rapidez y que se presente en menor cantidad que la hiperstena en un concentrado de arenas negras.

Las muestras colectadas en el lecho del arroyo, R1 a R9, exhiben una clara distinción de ambiente deposicional ya que los sedimentos incluidos en la clase A (Graf.3), son en su gran mayoría fragmentos de roca lo que denota la inmadurez mineralógica de éste ambiente con respecto al ambiente de playa y del de la desembocadura del arroyo donde predominan la magnetita sobre el resto de material rocoso. El hecho de que la razón de hornblenda/hiperstena se incremente y de que también aumente el porcentaje de biotita nos sugiere que la mayor influencia en el suministro de material provenga de rocas ígneas intrusivas leucocráticas y de las rocas sedimentarias.

La presencia de hiperstena en todas las muestras de sedimentos indican que existe gran aporte de minerales provenientes de rocas melanocráticas. La zona volcánica localizada en la franja Oeste de la Península, desde la frontera hasta la Bahía de Todos Santos, debe ser la fuente principal de este material. Aun cuando no se hizo un análisis petrográfico detallado de estas rocas, otros

investigadores la han clasificado como basalto-andesítico (Gastil et al 1975), y en este tipo de rocas es común encontrar hiperstena como el principal piroxeno constituyente.

IX.- CONCLUSIONES.

La dominancia de hornblenda, hiperstena, biotita, monazita, esfena y zircón 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, la tonalita y el granito.

La presencia de los mismos minerales en las muestras analizadas para el lecho del arroyo El Carmen, la desembocadura y la playa, indican que la influencia de las rocas batolíticas es determinante en la composición mineralógica de los sedimentos, y que la asociación de minerales en ésta área, representada por hornblenda-hiperstena-biotita, se encuentra en cualquiera de los ambientes analizados, distinguiéndose entre ellos solo por la predominancia relativa de uno de éstos minerales.

La influencia principal del depósito esta marcado por las rocas que se encuentran en el nacimiento del arroyo ya que es la zona de mayor pendiente y por lo tanto de mayor capacidad erosiva. Además de ser la zona que está más afectada por la capacidad de arrastre del arroyo, las rocas ígneas intrusivas presentan menor resistencia a la desintegración mecánica y por su carácter fanerítico proporcionan mayor cantidad de granos minerales al depósito.

X.- BIBLIOGRAFIA.

Andel van, Tj.H., 1950, Provenance, transport and deposition of Rhine sediments. H Veenman and Zonen, Wageningen, 129p.

Allison, E.C. y B.Brooks 1968 Geologic field trip notes assembled for n.s.t.a. (local chapter) bus tour through parts of northwestern Baja California dept. of geol. S.S.C.

Azmon, Emanuel 1960, Heavy minerals in sediments of southern California. PhD thesis, University of Southern California, los Angeles Cal. (no publicada).

Baca-Chacon C. 1981, Procedencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de lic. Escuela Superior de Ciencias Marinas, U.A.B.C., México.

Blatt, H. 1967, Provenance determinations and recycling of sediments. Jour. of Sedimentary Petrology vol. 37 No4, p 1031-1044.

Combellick, R.A.. y Osborne R.A. 1977, Sources and petrology of beach sand from southern Monterey Bay California. Jour.of Sedimentary Petrology vol. 47 No2 p.891-907.

Duffett, W.N. 1969, Arroyo-shorline relationships in northwest Baja California, Mexico. PhD Dissertation, Univ. of Colorado.

Emery, K.O., Gorsline D.S., Uchupi E., Terry R.D. 1957, Sediments of three bays of Baja California. Sebastian Viscaino, San Cristobal, and Todos Santos. Journal of Sedimentary Petrology vol 27 p 95-115.

Feo-Codecido, G. 1956, Heavy minerals techniques and their application to Venezuelan stratigraphy. American Ass. Petroleum Geologist, vol 40, No5 p984-1000.

Fessenden, F.W. 1959, Removal of heavy liquid separates from glass centrifuge tubes. Jour of Sedimentary Petrology, v.29, p621

Folk, R.L. y Ward, W.C. 1957, Brazos river bar, a study in the significance of grain-size parameters. Jour. sedimentary Petrol., 27, p3-27

Gastil, R.G., Phillips R.P., Allison E.C., 1975, Reconnaissance Geology of the State of Baja California. Geol. Society of America Memoir 140.

Handin, J.W. 1951, The source, transportation and deposition of beach sediments in Southern California. Tech Memo U.S. Army Corps of Engrs. Beach Erosion Board 22, 123p

Hess, H.H. 1959, Notes on operation of Frantz Isodynamic Magnetic Separator. Princeton University, 7p

Judge, C.W., 1970, Heavy minerals in beach and streams as indicators of shore processes between Monterey Bay and Los Angeles, California. C.E.R.C. Tech. Memo No 33.

Kerr, P.T. 1965, Mineralogia Optica. McGraw-Hill book Co. ediciones del Castillo, Madrid, España. 433p.

Kulm, L.D., Sheidegger K.F., Byrne J V., Spigai J J. 1968, A preliminary investigation of the heavy minerals suites of the coastal rivers and beaches of Oregon and southern California. The Ore. Bin. vol. 30, No 9 Oregon.

Neihesel j., 1965, Source and distribution of sediments at Brunswick Harbor and vicinity Georgia., Tech. Memo. 12, U. S. Army C. E. R. C. 49p.

Obregón M.C. 1966, Interpretación geológica de la formación del canal de Todos Santos. Escuela Superior de Ciencias Marinas (no publicado).

Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R., 1973 Sand and sandstones. Springer-Verlag N. Y. XVI+612p.

Ramesan, V., 1966, Improved methods of heavy minerals separation and counting suitable for fine grained sandstones. Jour. Sedim. Petrology, v36, No2, p629-631.

Rice, R.M., Gorsline D. S., Osborne R. H., 1976, Relationships between sand input from rivers and the composition of sands from the beaches of Southern California. *Sedimentology*, v 23, p689-703.

Rittenhouse, Gordon, 1943, Transportation and deposition of heavy minerals: *Geol. Soc. America Bull.* v 54, p1725-1780.

Rossemblum, Sam 1958, Magnetic susceptibilities of minerals in the Frantz Isodynamic separator. *American Mineralogist* vol.43 p170-173.

Royse Chester, 1970, An introduction to the sediment analysis. Arizona State University, 180p.

Trask, P.D. 1955, Movement of sand around Southern California promontories. *Tech.Mem.U.S. Army Corps of Engrs Beach Erosion Board, No 76, 60p.*

Walton, W.R., 1955, Ecology of living benthonic Foraminifera, Todos Santos Bay, Baja California. *Jour of Sedimentary Petrology*, V.29 952-1018p.