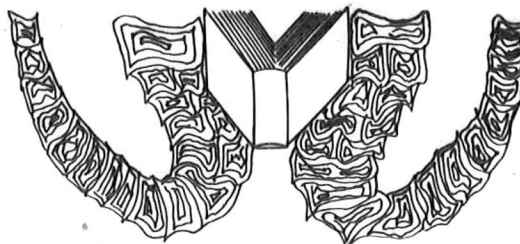




UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA  
ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS



CONSTITUCION Y ORIGEN DE DEPOSITOS  
SEDIMENTARIOS EN UNA FRANJA COSTERA  
DEL N.W. DE B. C.



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**OCEANOLOGO**

PRESENTA


**MIGUEL ANGEL ALATORRE ZAMORA**

"CONSTITUCION Y ORIGEN DE DEPOSITOS SEDIMENTARIOS  
EN UNA FRANJA COSTERA DEL NW DEL B.C."

T E S I S  
QUE PRESENTA:

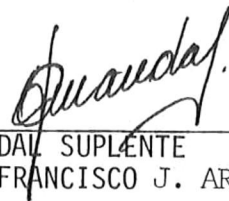
MIGUEL ANGEL ALATORRE ZAMORA

APROBADA POR:

  
PRESIDENTE DEL JURADO  
OC. ROBERTO PEREZ HIGUERA.

  
SINODAL PROPIETARIO  
M.C. FRANCISCO SUAREZ VIDAL.

  
SINODAL PROPIETARIO  
OC. ALFREDO CHEE BARRAGAN.

  
SINODAL SUPLENTE  
OC. FRANCISCO J. ARANDA MANTECA

  
SINODAL SUPLENTE  
OC. AMILCAR L. CUPUL MAGAÑA.

## DEDICATORIA

A mi padre, Miguel Alatorre, mi principal maestro, quien con sus prolíficos ejemplos me enseñó bastantes cosas, a mostrar responsabilidad y empeño, a enfrentarme con honradez a la vida.

A mi madre, Carmen Zamora, quien con sus consejos, su cariño y su apoyo moral me alentó a realizarme como hombre y como profesionista, a no arreararme en los momentos difíciles.

A ellos debo el pequeño esfuerzo que ahora -- fructifica en este trabajo.

Con especial afecto y cariño a mis hermanos, Felipe de Jesús, Ana Luisa, María Leticia, Francisco Fernando, Rosa Claudia, Ramiro, Carmen, Verónica, Sergio Guillermo y Miguel Alberto, mis pequeños condiscípulos de lejana escuela quienes ocupan un lugar muy especial en mis recuerdos y en mi voluntario exilio.

A ellos vá dirigido el esfuerzo fructificado en el presente estudio.

A mi novia Rosalía Arthur, mi hermoso timón y mis dorados ensueños que me acompañaron gran lapso del tiempo estudiantil envueltos en su bella persona.

A mis compañeros de vanguardia y con estimación especial a mis hermanos contemporáneos Gustavo y Carlos.

## AGRADECIMIENTOS

Es mi deseo expresar un sincero agradecimiento al Instituto de Investigaciones Oceanológicas por la valiosa ayuda prestada a la realización de este estudio; en especial agradezco a mi asesor oc. Roberto Pérez su sensata dirección y cuantiosos puntos de vista, así como a mis sinodales m. en c. Francisco Suarez, oc. Alfredo Chee, oc. Francisco Aranda y oc. Amílcar Cupul, por sus observaciones y recomendaciones. Gracias a todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a la producción de este trabajo y a mi formación como profesionista.

## INDICE

|   | pag. |
|---|------|
| INTRODUCCION . . . . .  | 1    |
| ANTECEDENTES  |      |
| a) Generales . . . . .  | 5    |
| b) Particulares . . . . .                                     | 7    |
| OBJETIVOS . . . . .   | 9    |
| DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO . . . . .                     | 10   |
| METODOLOGIA . . . . .   | 15   |
| RESULTADOS:   |      |
| a) Fracción de minerales pesados . . . . .                    | 17   |
| b) Separación por susceptibilidad magnética . . . . .         | 20   |
| c) Conteo de minerales pesados . . . . .                      | 23   |
| DISCUSIONES:  |      |
| a) Minerales de importancia económica . . . . .               | 36   |
| b) Fracción de minerales pesados . . . . .                    | 36   |
| c) Análisis de la distribución de minerales pesados . . . . . | 37   |
| d) Análisis de proveniencia por correlaciones . . . . .       | 42   |
| CONCLUSIONES . . . . .  | 46   |
| BIBLIOGRAFIA . . . . .  | 50   |

| Lista de Figuras  | pag. |
|---|------|
| Fig. 1.- Localización del área de estudio y estaciones de muestreo (Tomado de CETENAL, 1972).   | 11   |
| Fig. 2.- Mapa geológico del área de estudio (Tomado de Gastil et al., 1971).  | 13   |
| Fig. 3.- Relación de la concentración de minerales pesados contra ligeros de las fracciones 3.0 y 3.5 $\phi$ , de las muestras de dunas.                  | 19   |
| Fig. 4.- Relación de minerales pesados contra ligeros graficados contra la estación de muestreo para las fracciones 3.0 y 3.5 $\phi$ de playas y arroyos. | 21   |
| Fig. 5.- Valores en % en peso de las clases de susceptibilidad magnética, en las fracciones 3.0 y 3.5 $\phi$ de las muestras de dunas.                    | 22   |
| Fig. 6.- Proporciones de las clases de susceptibilidad magnética de las muestras de arroyo y playa - relativas al total de minerales pesados.             | 24   |
| Fig. 7.- Relación entre minerales pesados y puntos de muestreo. fracción 3.0 $\phi$ .   | 34   |
| Fig. 8.- Relación entre minerales pesados y estaciones de muestreo. Fracción 3.5 $\phi$ .   | 35   |
| Fig. 9.- Distribución de los porcentajes de las especies mineralógicas pesadas predominantes correspondientes a la fracción 3.0 $\phi$ .                  | 38   |
| Fig. 10.- Distribuciones relativas de los minerales pesados más abundantes en porciento de la fracción 3.5 $\phi$ .                                       | 40   |
| Fig. 11.- Dendrograma de correlaciones muestra contra muestra, para la fracción 3.0 $\phi$ . Los valores en el eje X son similitudes.                     | 47   |
| Fig. 12.- Dendrograma de correlaciones muestra contra muestra, para la fracción 3.5 $\phi$ . Los valores en el eje X son similitudes.                     | 48   |

| Lista de Tablas   | pag. |
|---|------|
| Tabla I.- Proveniencia de algunos minerales pesados comunes (tomado de Carver, 1971).   | 3    |
| Tabla II.- Asociaciones de minerales pesados y proveniencia. (tomado de Pettijohn, 1972).   | 4    |
| Tabla III.- Porcientos en peso de minerales pesados y ligeros para los sedimentos de la zona.   | 18   |
| Tabla IV.- Valores en % de las clases magnéticamente susceptibles en dunas, playas y arroyos, - fracción 3.0 $\phi$ .   | 25   |
| Tabla V.- Valores en % de las clases magnéticamente susceptibles en dunas, playas y arroyos, - fracción 3.5 $\phi$ .  | 26   |
| Tabla VI.- Resultados de los conteos hechos para las muestras de dunas, fracción 3.0 $\phi$ , expuestos en % por especie mineralógica.                                      | 27   |
| Tabla VII.- Valores en % en número de los minerales pesados predominantes en arenas de playa, fracción 3.0 $\phi$ . Las muestras 37 y 39 corresponden a un ambiente eólico. | 28   |
| Tabla VIII.- Proporciones de minerales pesados hallados en las muestras de arroyos, fracción 3.0 $\phi$ .   | 29   |
| Tabla IX.- Porcentajes de especies de minerales pesados de las muestras de dunas, fracción 3.5 $\phi$ .   | 30   |
| Tabla X.- Proporciones de minerales pesados hallados en arenas de playa, fracción 3.5 $\phi$ .  | 31   |
| Tabla XI.- Valores de % en número de los minerales pesados hallados en muestras de arroyos, fracción 3.5 $\phi$ .   | 32   |

## RESUMEN

Se determinó el origen de los sedimentos arenáceos de arroyo, duna y playa de la zona comprendida entre Punta Cono y Punta Prieta, NW de Baja California, mediante un estudio de las asociaciones de minerales pesados distribuidos en estos sedimentos, para lo cual se identificaron las especies mineralógicas. Se realizaron dos muestreos, uno en octubre de 1983, y el otro en marzo de 1984, esencialmente sobre acumulaciones de minerales oscuros.

Los resultados de la separación en general son muy irregulares; es notable la presencia de mayor proporción de minerales pesados en 3.5  $\phi$ , sobre todo en dunas y playas, que en 3.0  $\phi$ . En los arroyos ocurre lo contrario.

Se identificaron alrededor de 30 especies pesadas diferentes, de las cuales las más abundantes son hornblenda, egirina, opacos, magnetita, zircón, augita, diópsido, hiperstena, biotita, actinolita y un grupo de minerales alterados al que Van Andel (1955) denominó alterita. Las asociaciones que se obtuvieron por medio de la distribución de estos minerales y por medio del coeficiente de correlación entre las especies mineralógicas encontradas, son básicamente similares, en ambos tamaños de grano. Estas asociaciones son:

- a) hornblenda-egirina-hiperstena-cianita-actinolita-biotita-enstatita-turmalina.
- b) zircón-andalusita-silimanita-monacita-esfena-rutilo-fluorita-topacio-apatita.

Las dos asociaciones son indicadoras de su origen; son aportadas por la erosión del oleaje sobre las puntas y acantilados que en su mayoría están formados por rocas volcánicas y metavolcánicas de la formación Alisitos (Cretácico), y en menor parte por rocas graníticas félsicas. Los arroyos solo aportan cantidades exiguas de sedimento.

Además se indica la presencia de minerales económicamente importantes en estos sedimentos. Principalmente se encuentra la ocurrencia de oro nativo, zircón, ilmenita, cromita, magnetita, rutilo, esfena, topacio y granate. Su importancia radica en ser menas metálicas.

## INTRODUCCION

Un depósito sedimentario es el resultado de la acumulación de material disgregado de las rocas de la corteza terrestre, bajo diversos ambientes y diversos agentes de transporte. El origen de estos materiales acumulados ó sedimentos, es uno de los problemas a los que se enfrentan algunas de las ramas de la Geología, como son la petrología sedimentaria y la sedimentología; este problema se ha propuesto resolver usando todos y cada uno de los minerales de los sedimentos, sobre todo de sedimentos arenáceos. Según Briggs (1965), los minerales que pueden proporcionar conocimiento sobre el origen de los sedimentos son los minerales pesados, los que debido a su estabilidad pueden resistir al transporte hasta su lugar de acumulación. Los minerales pesados representan una fracción proporcional menor al 2 % de los sedimentos arenáceos (Pettijohn, 1957), están definidos como aquellos minerales que poseen una gravedad específica mayor que 2.85, y pueden constituir depósitos de gran valor en dunas y playas, conocidos como de placer (Pardee, 1934).

De acuerdo a Carver (1971), los minerales pesados de los sedimentos provienen principalmente de rocas ígneas y metamórficas; en las primeras representan una fracción aproximada al 15 % de la proporción total de minerales, mientras que en las segundas son el constituyente principal. Algunos minerales son característicos de una clase particular de roca, de ahí que series de minerales sean importantes indicadores de rocas y áreas fuente (Pe--

ttijohn, Potter y Siever, 1972). De esta forma, es posible conocer la naturaleza y carácter de la proveniencia con un estudio de la composición misma del depósito. La proveniencia se basa en la identificación de los rasgos de las rocas y áreas fuente agrupando a los minerales pesados en asociaciones genéticas, que corresponden a un tipo particular de roca (Tablas I y II); una asociación es un grupo de minerales con una distribución geográfica, edad y origen comunes.

Los factores que pueden modificar la composición de minerales pesados, limitando así la interpretación de su asociación en términos de áreas fuente, son: el intemperismo, la abrasión, la clasificación y la solución postdeposicional (Van Andel, 1955); no obstante, si existe una razón de erosión y depositación de moderada a rápida, el efecto de estos factores sobre la composición de arenas es despreciable (Carver, 1971).

Este estudio forma parte del proyecto "Minerales de importancia económica en playas y cuencas hidrológicas del NW de B. C." del Instituto de Investigaciones Oceanológicas; se hace un análisis de las asociaciones de minerales pesados de duna, arroyo y playa para determinar la proveniencia de dichas asociaciones y, finalmente, el origen de los sedimentos en los que se encuentran. Estas asociaciones se obtuvieron en base a la distribución de los minerales pesados y mediante el criterio del grado asociativo que resulta de correlacionar dichos minerales.

TABLA I.- Proveniencia de algunos minerales pesados comunes (tomado de Carver, 1971).

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Sedimentos retrabajados    | Granos bien redondeados de rutilo, -<br>turmalina y zircón.   |
| Metamórficas de bajo grado | Biotita, clorita, granate (espesartita), turmalina (especialmente pequeños cristales euhédricos cafés con -<br>inclusiones de grafito).   |
| Metamórficas de alto grado | Actinolita, andalusita, apatita, granate (almandino), biotita, diópsido, epidota, clinozoicita, glaucófano, -<br>hornblenda (incluyendo variedades --<br>verdeazules), ilmenita, cianita, magnetita, silimanita, esfena, estauro-<br>lita, turmalina, tremolita y zircón. |
| Igneas máficas             | Augita, diópsido, epidota, granate (piropo), hornblenda, hiperstena, ilmenita, magnetita, olivino, orihornblenda y serpentina.  |
| Igneas siálicas            | Apatita, biotita, esfena, hornblenda, ilmenita, monacita, muscovita, rutilo, turmalina y zircón.  |
| Pegmatitas                 | Apatita, biotita, casiterita, granate, monacita, muscovita, rutilo y --<br>turmalina.   |
| Cenizas volcánicas         | Cristales euhedrales de apatita, augita, biotita, hornblenda y zircón.  |
| Autigénicas                | Hematita, limonita, leucoxeno, turmalina, zircón; cristales euhedrales -<br>de anatasa, brukita, pirita, rutilo y esfena.   |

TABLA II.- Asociaciones de minerales pesados y proveniencia.

(Pettijohn et al., 1972).

| ASOCIACION   | ORIGEN                               |
|--|--------------------------------------|
| Apatita, biotita, brookita, hornblenda, monacita, muscovita, rutilo, titanita, turmalina (rosa), zircón.               | Rocas Igneas Acidas                  |
| Casiterita, dumortierita, fluorita, granate, monacita, muscovita, topacio turmalina (azul), wolframita.                | Granitos pegmatíticos                |
| Augita, cromita, diópsido, hiperstena, ilmenita, magnetita, olivino, pectolita, pleonasta.                             | Rocas Igneas Basicas                 |
| Andalusita, condrodita, corindón, flogopita, estaurolita, topacio, vesubianita, wollastonita, zoisita, granate.        | Rocas de Metamorfismo de contacto    |
| Andalusita, cloritoides, epidota, granate, glaucofano, cianita, sillimanita, titanita (esfena), zoisita, clinozoicita. | Rocas de Metamorfismo Dinamo-termal. |
| Barita, menas de fierro, leucoxeno, rutilo, turmalina (granos redondeados), zircón (granos redondeados).               | Sedimentos Retrabajados              |

## ANTECEDENTES. -

## a) Generales.

Durante el periodo de 1920 a 1940, los geólogos petroleros usaron comúnmente estudios de minerales pesados en problemas de proveniencia y correlación de areniscas, pero estos pronto fueron reemplazados por la micropaleontología y otras técnicas que brindaron mejores resultados (Carver, 1971).

Pardee (1934) hace una descripción geológica de las costas de Oregon y principalmente de los depósitos marinos de placer que aportan oro e ilmenita, indicando que provienen de antiguos depósitos de placer erosionados por la acción del oleaje.

Uno de los primeros trabajos hechos con métodos cuantitativos sobre transporte de minerales pesados y evaluación de fuentes sedimentarias, es el de Rittenhouse (1943), donde muestra que las curvas de distribución de tamaño de los minerales pesados se hallan hacia los tamaños más finos, y que la relativa importancia de fuentes sedimentarias en corrientes principales de río, se puede determinar comparando los contenidos de minerales pesados en esas corrientes con los de sus tributarios; usa el concepto de razón hidráulica para definir la composición de minerales pesados en los sedimentos.

El resurgimiento del uso de los minerales pesados para resolver problemas no solo de transporte sino de proveniencia, está marcado por un estudio de Van Andel (1955), donde muestra que los sedimentos del delta del Rhone derivan principalmente de los Alpes. Indica que los sedimentos de ambientes de transición en

tre continente y océano se pueden diferenciar de acuerdo a su -- composición, además de marcarse como provincias mineralógicas.

Van Andel y Poole (1960) anotan que los sedimentos del Nor- te del Golfo de México son contribuidos en mayor grado por un --- gran número de corrientes, y, en menor medida, por erosión mari- na de depósitos costeros, reconociendo y estableciendo al mismo tiempo 5 provincias mineralógicas.

De los primeros estudios de correlaciones para determina--- ción de proveniencia está el de Briggs (1965), quien busca el o- rigen de los minerales pesados de muestras tomadas en Huerfano - Park, Colorado; mediante matrices de correlación y agrupamiento visual de asociaciones, encuentra que estos minerales provienen de sedimentos precámbricos y permopensilvánicos.

Pomerancblum (1966) usa las asociaciones de minerales pesa- dos para determinar la proveniencia de los sedimentos de la pla- forma continental de Israel, encontrando que la fuente de los -- mismos es el río Nilo.

El reciclaje de sedimentos es uno de los objetivos en los - estudios de Blatt (1967), quien dá al mismo tiempo un ligero en- foque a los diversos métodos usados hasta entonces para determi- nar proveniencias. Determina que la fracción de minerales pesa-- dos se compone de una gran variedad de especies, y que por lo -- tanto son valiosos indicadores de proveniencias sedimentarias.

Jacob, Gock, Mucke y Akin (1972) evalúan los depósitos de - fierro y titanio de placer en Indonesia y Java, determinando que son aportados por ríos estacionales.

El trabajo más reciente sobre proveniencia de minerales pesados de que se tiene noticia es el realizado por da Silva (1979) en arenas de playa del SE de Brasil. Analiza la existencia de -- concentraciones de minerales pesados que forman parches oscuros, donde predominan los opacos, obteniendo dos asociaciones que provinieron de rocas igneometamórficas y basálticas. Dentro de sus conclusiones infiere qué procesos concentran a los minerales pesados en esas playas.

b) Particulares.

No hay estudios a la fecha que usen proveniencia para determinar posibles fuentes de depósitos sedimentarios en la zona; algunos solo se concretan a los depósitos mineralógicos y otros -- muy raros a la proveniencia de minerales pesados en otras regiones costeras del estado de Baja California.

Duffett (1969) realiza un estudio muy detallado de tipo geológico-geográfico de la región costera del NW de B.C. hasta el -- paralelo 30, analizando las relaciones que los arroyos tienen en los aportes sedimentarios con sus desembocaduras en la línea de costa. Con esto obtiene una clasificación de los patrones arroyo -- línea de costa. Por medio de este análisis afirma que los arroyos no contribuyen con cantidades significantes de sedimento a -- la línea de costa bajo las condiciones ambientales actuales.

Fife (1974), haciendo un reconocimiento geológico en el cuadrángulo de Santa Rosalía menciona posibles fuentes de minerales económicos.

Gastil, Phillips y Allison (1975) en su estudio geológico - recopilan información sobre la geología económica de la península desde la época de las misiones (siglo XVII); dividen además a la península en zonas mineralógicas.

Sáenz (1977) hace énfasis en la obtención y estudio de depósitos valorables en Guerrero Negro y San Antonio del Mar, encontrando en este último lugar que los minerales pesados predominantes son ilmenita, magnetita y zircón.

Baca (1981) realiza un estudio sobre proveniencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, recalcando la importancia de estos en la resolución de diversos problemas en varios -- campos de la geología. Contrario a lo expuesto por Duffett (1969) determina que son los arroyos los aportadores de sedimento a las playas en épocas de lluvia. Resultados similares exhibe el estudio realizado por Pérez (1982), quien por medio de la proveniencia de minerales pesados en el arroyo El Carmen y su depósito, - determina la fuente de aporte, indicando una fuerte influencia - del batolito peninsular.

Aranda (1983) usa los minerales pesados para determinar la dirección y sentido de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, observando que los minerales del grupo "no-magnéticos", que son zircón, esfena, rutilo, apatita, pirita, etc., son aportados por la erosión de los arroyos de las rocas batolíticas y la erosión de los cantiles por el oleaje. Anota que el zircón es útil para localizar posibles suministros de material de arroyos y acantilados a las arenas de las playas de la zona litoral.

Carrquiry (1985), al analizar la distribución de minerales pesados en sedimentos de la plataforma continental en la Bahía de Todos Santos, determina las provincias mineralógicas existentes y sus asociaciones; indica la influencia de rocas batolitoandesíticas, félsicas y volcánicas para los minerales de la Bahía.

#### OBJETIVOS

Determinar la fuente u origen de los depósitos sedimentarios de la zona comprendida entre Punta Cono y Punta Prieta, al NW de Baja California, por medio del análisis de las asociaciones de minerales pesados y detectar la existencia de minerales de importancia económica en los mismos depósitos.

## MATERIALES Y METODOS

### DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.-

La zona de estudio está situada sobre la costa Oeste de la península de Baja California, aproximadamente a 514 kms. al SE de Ensenada, entre los paralelos  $28^{\circ} 47'$  y  $28^{\circ} 58'$ . Es una franja costera de relieve muy irregular (Fig. 1), con una longitud aproximada de 40 kms. y con una tendencia y configuración generales dominadas por un sistema de fallas con rumbo NW-SE, de origen postbatolítico.

Los accidentes más notables que la conforman son: Punta Prieta, que está constituida de roca granítica y limitando al área por el sur. Hacia el norte, consecutivamente, Punta Lobos, Punta el Diablo y Punta Carmen, las tres de roca metamórfica y sedimentos volcánicos del Cretácico; Punta María, de roca metamórfica y sedimentos marinos; y Punta Cono, que limita a la zona por el norte, formada por roca granítica. Entre estos rasgos se encuentran intercaladas cuatro playas holocénicas de bermas formadas principalmente por cantos y restos de bivalvos. Las arenas de estas playas varían de arenas gruesas a finas, poseyendo una nítida interestratificación.

Asociados a las secciones que se encuentran al sur de las playas existen grandes campos de cadenas de dunas tipo barjan, compuestas de arenas grises muy finas, que muestran una perfecta interestratificación. Es interesante hacer notar que algunas dunas aisladas, estabilizadas por la vegetación que crece sobre

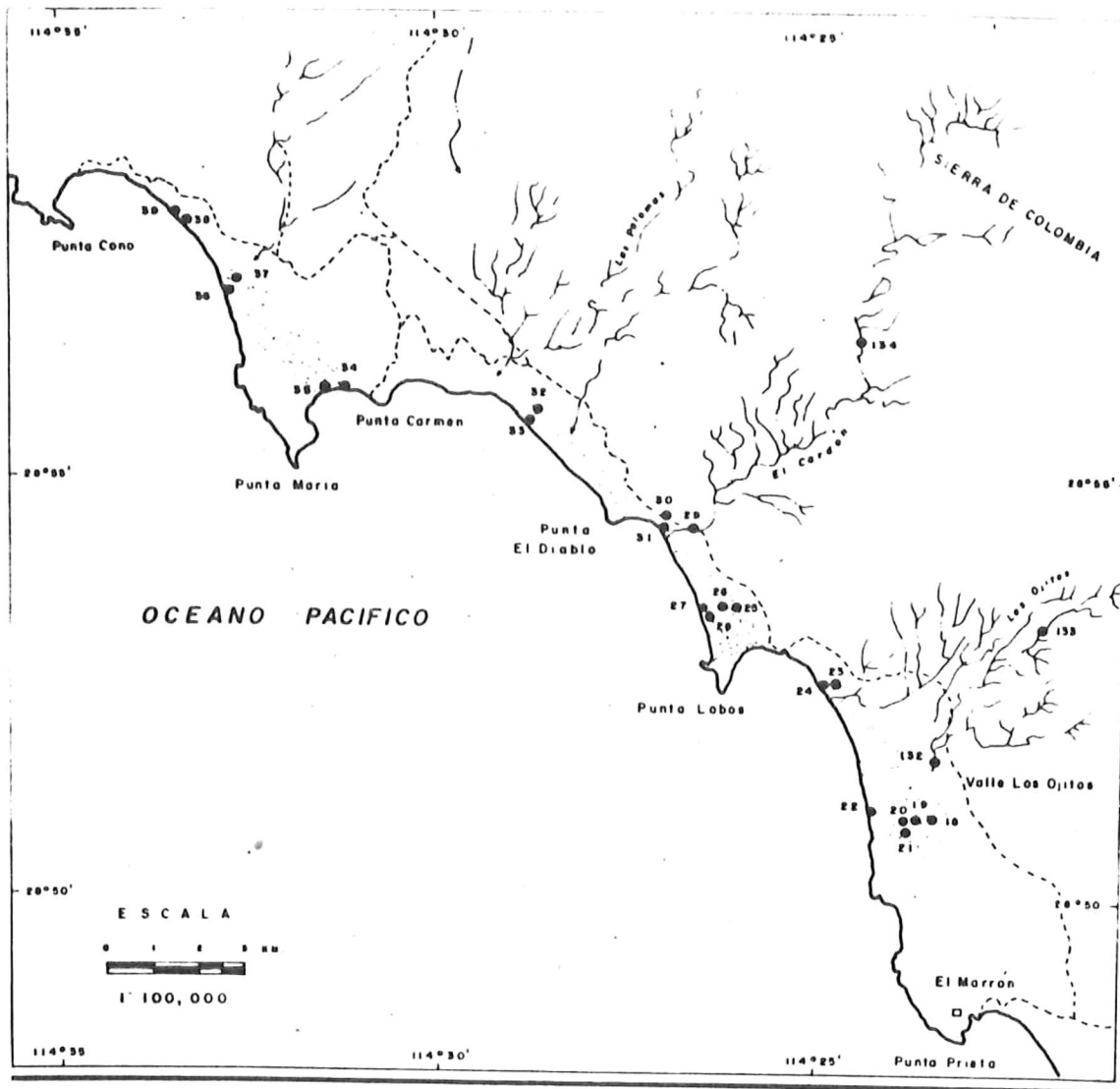


FIG. 1- LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO Y ESTACIONES DE MUESTREO  
( Tomado de CETENAL, 1972 )

ellas, son más oscuras que las que tienden a migrar. En la zona existen capas de minerales oscuros de grano muy fino producidas por la migración de las dunas y por la deflación del viento, -- mismas que se han denominado pavimentos.

Los arroyos que drenan el área tienen el mismo rumbo SW y son principalmente:

a) Arroyo las Palomas, que erosiona en su cauce rocas graníticas félsicas, como la tonalita y la granodiorita, así como rocas sedimentarias de la Formación Sepultura de Santillán y Barrera (1930; citados por Fife, 1974), y rocas volcánicas y metavolcánicas de la Formación Alisitos, de los mismos autores.

b) Arroyo el Cardón, que erosiona y aporta material de rocas de la formación Alisitos (sedimentos volcánicos intercalados con rocas volcánicas y metavolcánicas), de rocas granodioríticas y de sedimentos marinos de la formación Sepultura. Su depósito se compone de gran cantidad de gravas y cantos, y en cantidades -- más ó menos apreciables, arena gruesa compuesta de fragmentos -- de roca alterados y angulosos. Más al norte presenta gran cantidad de guijarros angulosos.

c) Arroyo los Ojitos, que drena rocas volcánicas y metavolcánicas de la formación Alisitos, rocas sedimentarias de la forma--ción Sepultura, granodioritas y un cuerpo pequeño intrusivo de gabro (Fig. 2). Es un arroyo de arenas gruesas con gran abundancia de limos y granos hematizados.

Debido a la escasez de precipitación pluvial en esta zona, estos arroyos son de corriente esporádica, por lo que sus bocas

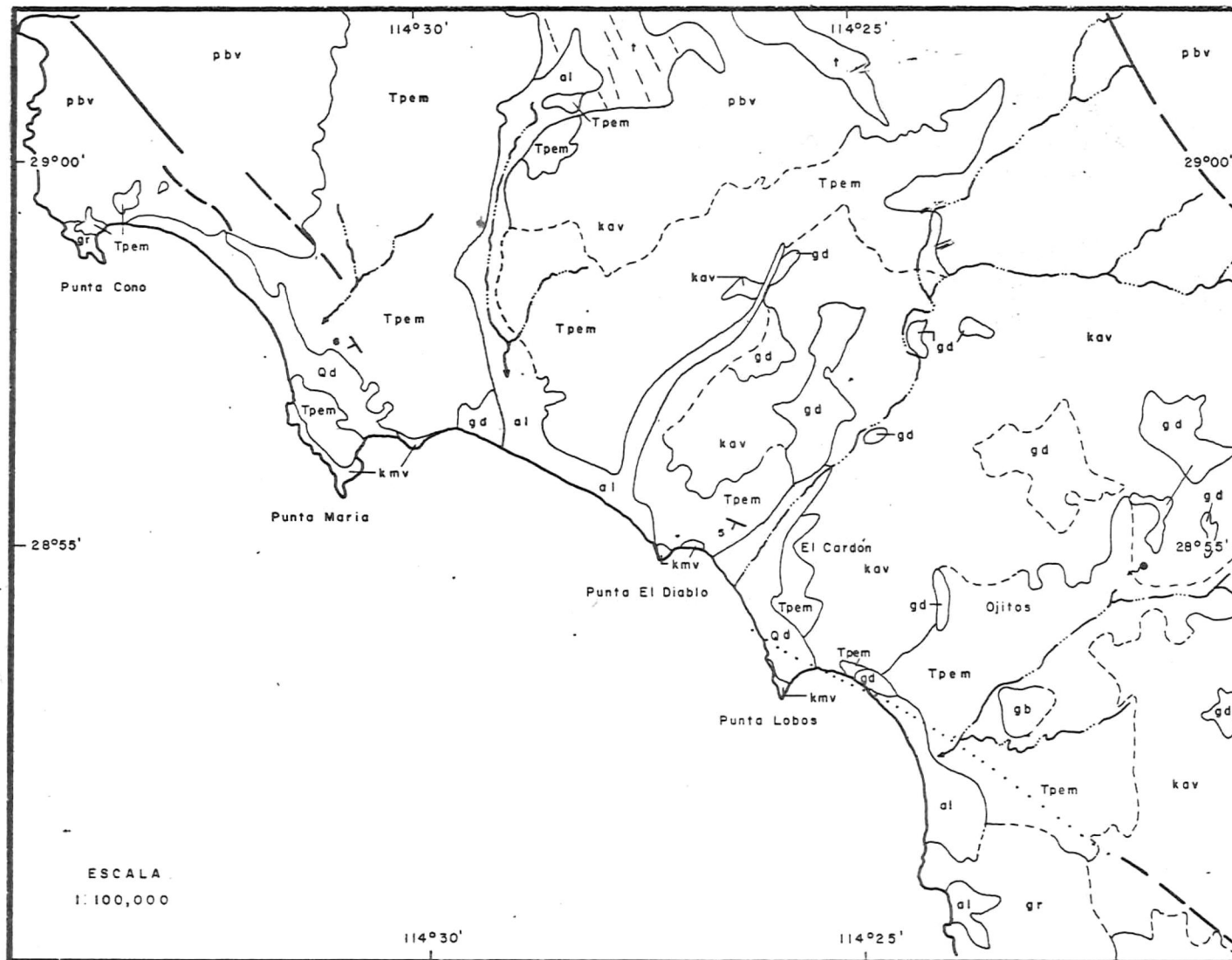


FIG-2- MAPA GEOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO ( TOMADO DE GASTIL, ET AL. 1971 )

## L E Y E N D A

## UNIDADES DE ROCA

## SIMBOLOGIA

## Rocas Sedimentarias

## Postbatolíticas

al Cuaternario  
Qd al, aluvi6n; Qd, dunas

Qf Qf, fluvial  
 Mioceno

Tmf Tmf, fluvial

Tpem Terciario Inferior  
Tpef Tpem, Paleoceno marino  
 Tpef, Paleoceno fluvial

## Rocas Volcánicas

## Postbatolíticas

Qb Qb, basalto del  
 Cuaternario

## Rocas Batolíticas

gd gd, granodiorita

t t, tonalita  
gr gr, granito

gbd gbd, gabro y diabasa


## Rocas Prebatolíticas

Kav Kav, volcánica de la  
 Formación Alisitos  
pbv pbv, volcánica no  
 diferenciada

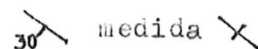

pbs pbs, metasedimentario

## Contactos Entre Unidades de


## Roca


 punteada donde  
 es aproximado

## Estratificación.


 30° medida  vertical

## Foliación




 Tendencia en ro--  
 cas plutónicas.


 Tendencia en ro--  
 cas prebatolíticas


## Pliegues


 Anticlinal


## Fallas


 Cubiertas  
 Inciertas  
 Observadas

 no diferenciadas

 Centro eruptivo

 Mina ó prospecto

 Poblado

 Fuente.

desaparecen en algunos casos antes de tocar la línea de costa. Como un producto final, los minerales pesados que los arroyos aportarían de las rocas que drenan podrían ser: alterita (minerales alterados ó agregados cristalinos) (Van Andel, 1955), actinolita, andalusita, apatita, augita, anatasa, biotita, clinzoicita, brookita, cianita, clorita, cloritoide, diópsido, epidota, egirina, esfena, cromita, glaucófano, estaurolita, granate (variedades espesartita, almandino y piropo), hiperstena, hornblenda (variedades café, verde y verdeazul), ilmenita, leucoxeno, magnetita, monacita, muscovita, olivino, rutilo, serpentina, silimanita, tremolita, turmalina y zircón (granos euhedrales y retrabajados).

#### METODOLOGIA.-

Los puntos del muestreo están indicados en la Figura 1. En base a las concentraciones de minerales oscuros visibles en los depósitos, se colectaron un total de 25 muestras en octubre de 1983 y en marzo de 1984. De estas, 11 corresponden a dunas, 8 son de playa, 2 de pavimentos de deflación y 4 de arroyo. Cabe señalar que se les ha dado la numeración que presentan en la Fig. 1 porque el presente trabajo forma parte de un proyecto institucional. Todas las muestras se etiquetaron y guardaron para proceder al pretratamiento, que consiste en eliminar materia orgánica y sales solubles, con peróxido de Hidrógeno y agua destilada, respectivamente. Para desecarse se colocaron en un horno con una temperatura máxima de 80°C, luego se separaron por -

subfracciones de tamaño de grano retenido en tamices U. S. Standard a intervalos de 0.5  $\phi$ . (Royse, 1970).

Para los objetivos del estudio se tomaron las subfracciones retenidas en los tamices 3.0 y 3.5  $\phi$ . Estas subfracciones mediante la técnica de Fessenden (1959) se microcuartearon hasta obtener de 1 a 2 gramos, porciones que se colocaron en tubos de ensayo con bromoformo y se centrifugaron por 15 minutos; el bromoformo es un líquido denso de alta gravedad específica, en el que se hunden los minerales pesados y quedan flotando los ligeros. Los primeros se lavaron con acetona sobre papel filtro, se secaron y se pesaron hasta la milésima de gramo. Las porciones de ligeros y pesados se calculan en por ciento, representando las muestras totales.

Sobre las porciones de minerales pesados se pasó un imán de mano para separar los minerales magnéticos (magnetita). Usando la técnica de Rossemblum (1958) modificada por Aranda (1983) para el separador magnético CARPCO, el resto que no fue atraído por el imán de mano se fraccionó en cuatro clases de susceptibilidad magnética; estas clases son las que se separan bajo las intensidades de 0.4, 1.2, 2.5 y mayor de 2.5 amp., fracciones que se denominaron como grupo I, II, III y IV, respectivamente. Todas las clases así separadas fueron pesadas hasta la milésima de gramo, resultados expresados en por ciento relativo al peso de la muestra total, y relativo a la fracción de pesados.

Cada grupo de susceptibilidad magnética se microcuarteó y se montó con un medio de montaje de índice refractivo conocido

(1.54) sobre un portaobjetos; se identificaron luego los minerales predominantes haciendo uso de diferentes propiedades ópticas, por medio de un microscopio petrográfico. Usando el método de línea y el de campo (Ramesan, 1966) se contaron los granos vistos con el objetivo 10x y con un contador de 9 unidades, tratando de totalizar siempre 300 granos por lámina; en algunos casos fue necesario contar la totalidad de granos. Los números así obtenidos son expresados en por ciento en número relativo a cada clase magnética, para no desproporcionar a unos minerales con respecto a otros. Todo fué hecho para las dos fracciones de tamaño de grano.

#### RESULTADOS

##### a) Fracción de minerales pesados.

Los resultados de la separación con bromoformo están expuestos en la tabla III y en gráficas de por ciento de pesados relacionados con el por ciento de ligeros para ambas subfracciones de tamaño de grano, graficados contra la estación de muestreo.

Las tendencias de las concentraciones de minerales pesados en dunas para ambos tamaños de grano son muy irregulares (Fig. 3), aunque es visible un comportamiento similar entre los dos, conservándose para cada estación. En la gráfica de 3.0  $\phi$  el máximo valor en por ciento de pesados que recae en la muestra 19 es de 18.56 y corresponde a las dunas de la parte sur de playa Ojitos, mientras que el mínimo, que es de 2.2, corresponde a la

TABLA III. - Valores de las concentraciones de % en peso de minerales pesados y ligeros para los sedimentos de la zona.

| ESTACION      |     | 3.0 PHI            |                    | 3.5 PHI            |                    |
|---------------|-----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|               |     | %MINERALES PESADOS | %MINERALES LIGEROS | %MINERALES PESADOS | %MINERALES LIGEROS |
| los Ojitos    | 18  | 04.759             | 94.600             | 78.215             | 19.464             |
|               | 19  | 18.569             | 80.356             | 80.000             | 20.900             |
|               | 20  | 05.005             | 93.780             | 59.225             | 40.387             |
|               | 21  | 05.818             | 93.030             | 42.888             | 54.222             |
|               | 23  | 05.906             | 90.724             | 51.714             | 46.214             |
| El Cardon     | 25  | 07.716             | 90.629             | 61.733             | 38.133             |
|               | 26  | 03.815             | 93.881             | 56.424             | 41.515             |
|               | 28  | 02.200             | 97.240             | 28.734             | 69.367             |
| Bahia Maria   | 30  | 15.785             | 83.285             | 63.255             | 36.899             |
|               | 32  | 03.607             | 96.455             | 35.078             | 64.385             |
| Punta Carmen  | 35  | 03.020             | 96.246             | 41.566             | 56.024             |
| Punta Cono    | 37  | 07.288             | 92.542             | 89.022             | 09.252             |
|               | 39  | 08.750             | 91.250             | 95.450             | 04.550             |
| Promedio      |     | 07.096             | 91.839             | 60.254             | 38.561             |
| Desv. std.    |     | 04.891             | 04.981             | 19.916             | 05.402             |
| Playa Ojitos  | 22  | 42.035             | 56.407             | 94.500             | 06.200             |
|               | 24  | 08.206             | 90.068             | 57.142             | 40.500             |
| Playa Lobos   | 27  | 18.220             | 71.411             | 71.111             | 28.888             |
| Playa Cardon  | 31  | 02.143             | 96.295             | 41.006             | 57.672             |
| Playa Maria   | 33  | 00.783             | 96.823             | 23.975             | 74.285             |
|               | 34  | 41.100             | 57.798             | 93.659             | 05.051             |
| Playa Cono    | 36  | 01.149             | 98.746             | 34.308             | 64.796             |
|               | 38  | 06.670             | 93.330             | 07.690             | 92.310             |
| Arroyo Cardon | 29  | 40.476             | 58.639             | 39.354             | 57.741             |
|               | 134 | 50.144             | 49.661             | 42.015             | 57.604             |
| Arroyo Ojitos | 132 | 06.885             | 93.196             | 20.848             | 77.490             |
|               | 133 | 21.285             | 80.142             | 28.483             | 71.516             |
| Prom. playas  |     | 15.038             | 80.609             | 52.923             | 46.212             |
| Prom. arroyo  |     | 29.697             | 70.409             | 32.675             | 66.087             |

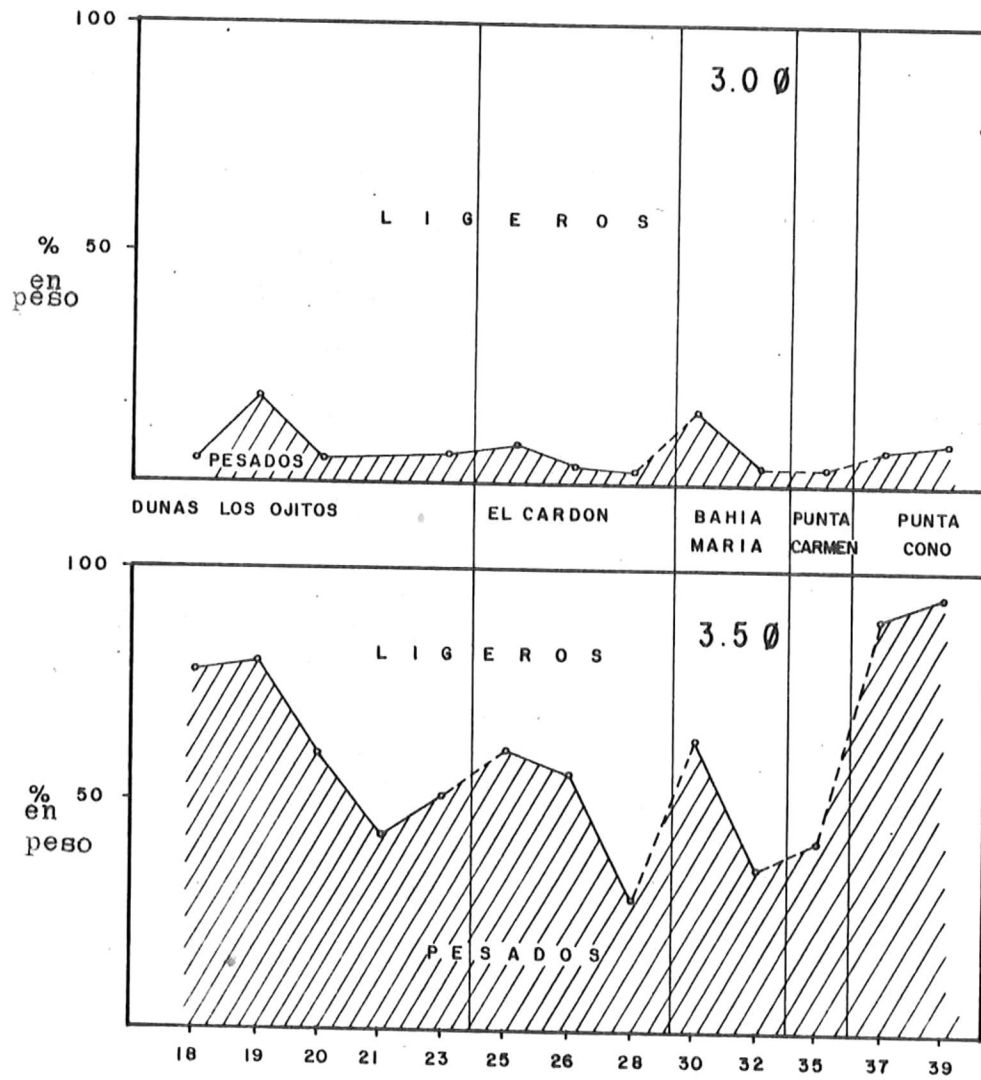


FIG-3 - RELACION DE LA CONCENTRACION DE MINERALES PESADOS CONTRA LIGEROS DE LAS FRACCIONES 3.0 Y 3.5 Ø DE LAS MUESTRAS DE DUNAS .

muestra 28 de dunas de la playa adyacente a Punta Lobos. Para este tamaño de grano el promedio de la concentración es de 7.096. El promedio de la concentración de la subfracción 3.5  $\phi$  es 60.25 el máximo valor para ésta misma dado en por ciento de pesados es de 95.45 y el mínimo de 28.73, que corresponden a las muestras 39 y 28, respectivamente.

Las muestras de playa (Fig. 4) exhiben de igual manera una tendencia irregular. Las concentraciones de minerales pesados se mantienen en una forma casi proporcional. En la gráfica de 3.0  $\phi$ , el máximo valor lo representa la muestra 22 de playa Ojitos, y el mínimo corresponde a la muestra 33 de playa Santa María. Los valores máximo y mínimo de 3.5  $\phi$  también corresponden a las muestras 22 y 33, respectivamente, pero son más altos para este tamaño de grano. El promedio para 3.0  $\phi$  es 15.04 y para la fracción 3.5  $\phi$  es 52.92.

Las concentraciones de minerales pesados de las muestras de arroyo mantienen las mismas características, pero difieren en que los máximos valores recaen en 3.0  $\phi$ , en forma general.

#### b) Separación por susceptibilidad magnética.

Aunque se usaron las clases obtenidas por Aranda (1983), no se ha seguido su misma nomenclatura; en este estudio se utilizaron los términos I, II, III y IV para designar los grupos separados bajo las intensidades magnéticas de 0.4, 1.2, 2.5 y mayor de 2.5 amp., respectivamente. Los resultados de estas clases se han expuesto en por ciento en peso relativo a la fracción

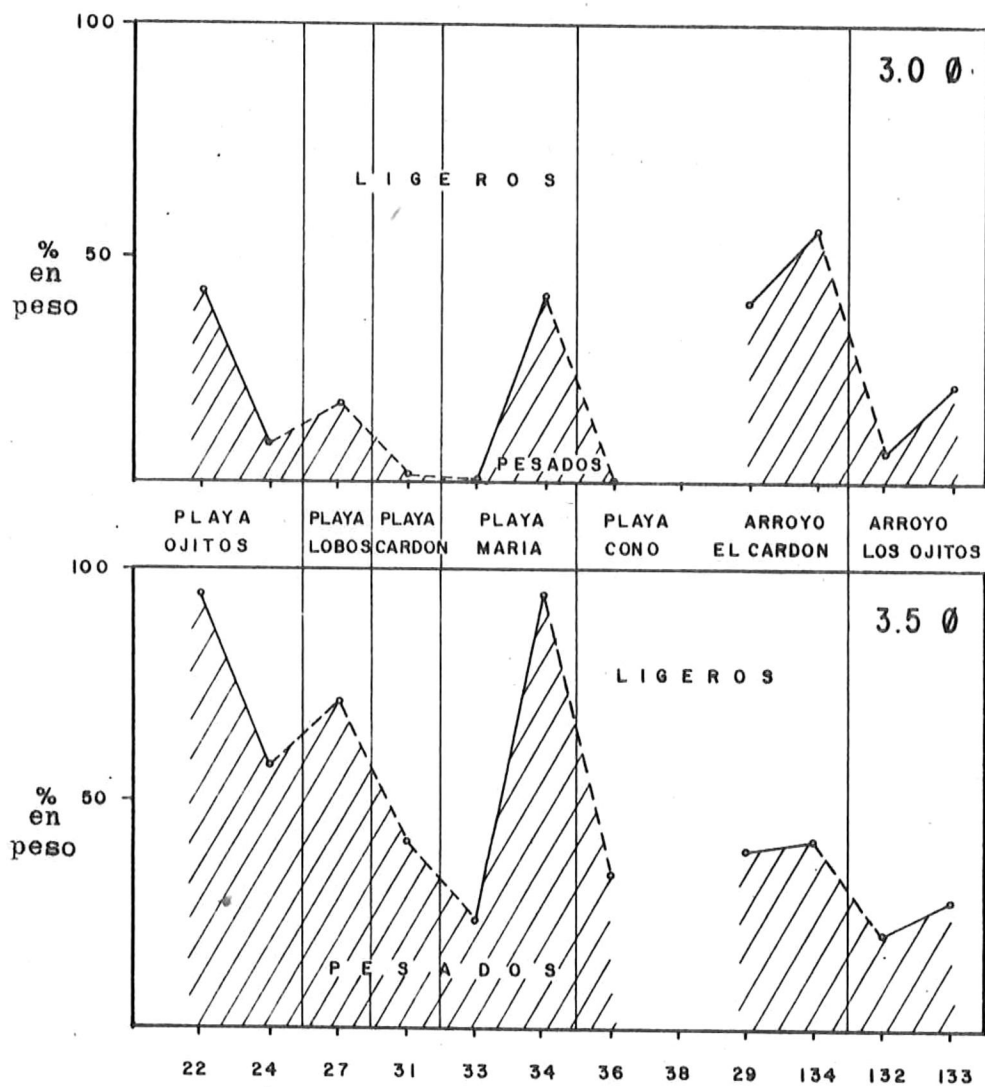


FIG.-4- RELACION DE MINERALES PESADOS CON LIGEROS  
 GRAFICADOS CONTRA LA ESTACION DE MUESTREO -  
 PARA LAS FRACCIONES 3.0 Y 3.5  $\phi$  DE ARENAS DE  
 PLAYAS Y ARROYOS

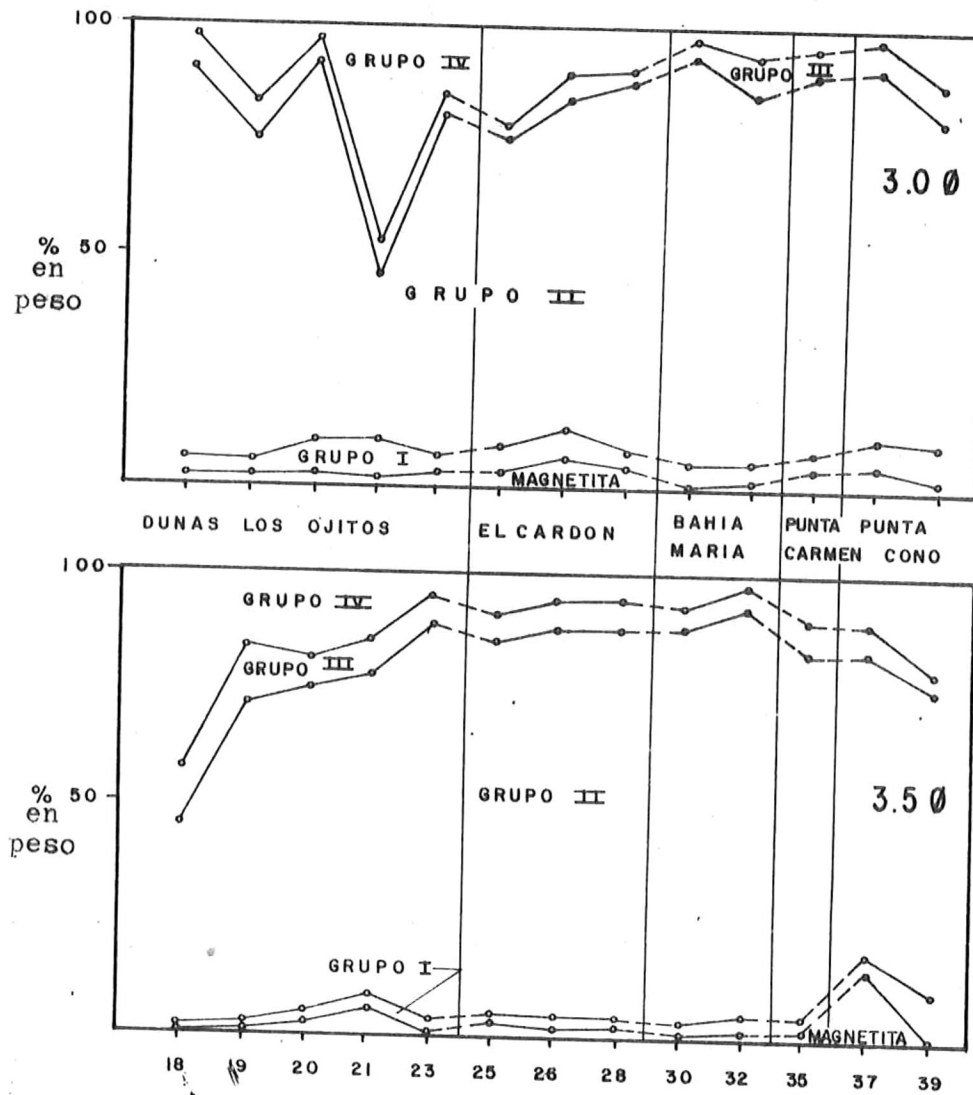


FIG. 5- VALORES EN PORCIENTO EN PESO DE LAS CLASES DE MINERALES PESADOS, EN LAS FRACCIONES 3.0 Y 3.50 DE LAS MUESTRAS DE DUNAS GRAFICADOS CONTRA LA ESTACION DE MUESTREO.

de pesados.

En las muestras de dunas (Fig. 5), tanto para 3.0 como para 3.5  $\phi$ , se observa una irregularidad en el comportamiento de las clases. Es notable como los porcentos de los grupos I y III se mantienen en proporción constante para todas las muestras. En las dos gráficas los valores más altos son los del grupo II, seguidos en orden decreciente por los grupos IV, III, I y magnetita; las tablas IV y V muestran estos valores.

Los valores de porciento en peso de las clases de playas y arroyos son más irregulares que los valores de porciento de dunas; la muestra 38 no se ha expuesto debido a un error en la separación. El grupo II es el más abundante, seguido en orden decreciente de abundancia por el grupo IV, magnetita, III y I (Fig. 6). Esto ocurre en las dos fracciones de tamaño de grano.

c) Conteo de minerales pesados.

Los conteos se realizaron hasta alcanzar un total aproximado de 300 granos por lámina, contándose en algunos casos los contenidos totales. Estos resultados se expresan en porciento de número por especie mineral con relación al peso de cada clase de susceptibilidad, y se muestran en las tablas VI, VII, VIII, IX, X y XI. El comportamiento de las proporciones de los minerales más abundantes es exhibido en gráficas de porciento de especie contra estación de muestreo.

Van Andel (1955) fué el primero en usar el término "alterita", que en este estudio se refiere a un grupo de minerales alterados ó agregados cristalinos comportables como pesados que -

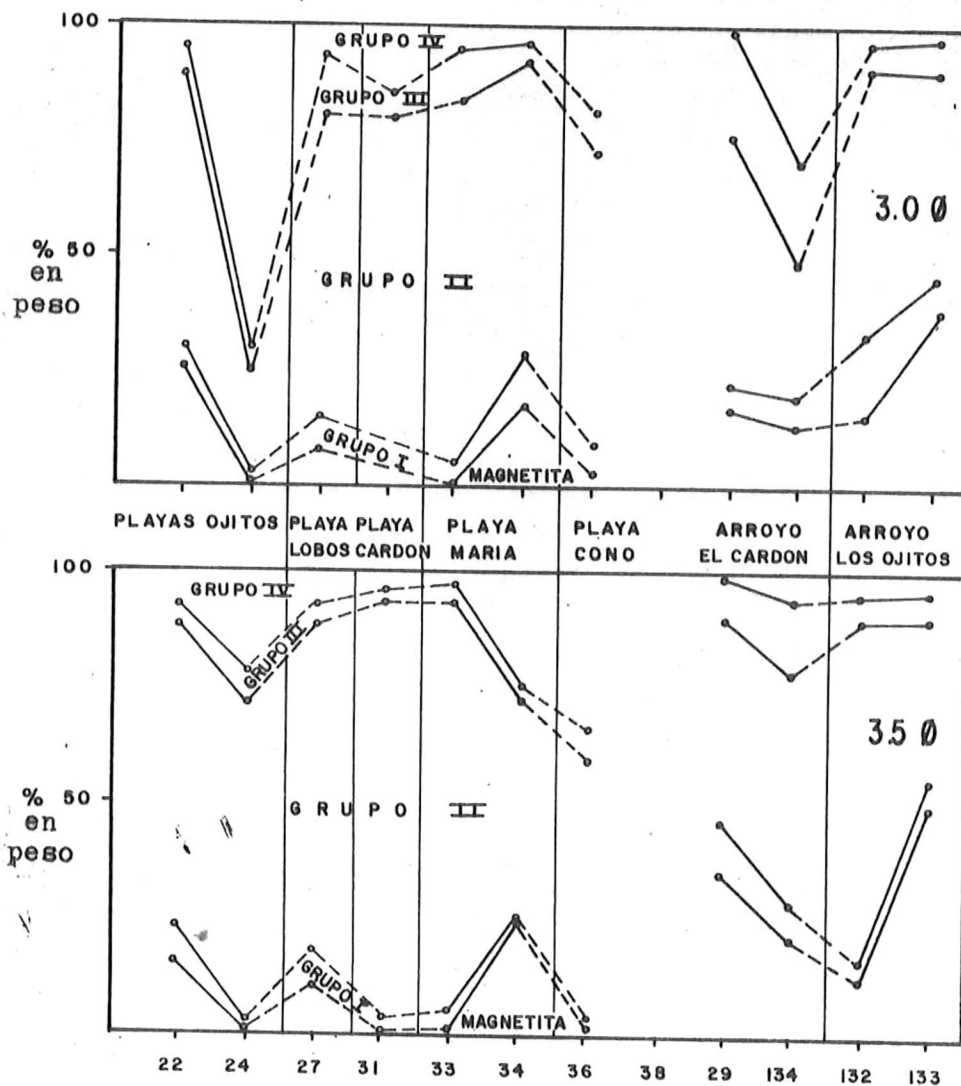


FIG. 6- PROPORCIONES DE LAS CLASES DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA DE LAS MUESTRAS DE ARROYOS Y PLAYAS RELATIVAS AL TOTAL DE MINERALES PESADOS. LOS VALORES DE LA MUESTRA 38 NO SE HAN GRAFICADO DEBIDO A UN ERROR EN LA SEPARACION.

TABLA IV. - Valores en % de las clases de susceptibilidad magnetica de las muestras de dunas, playas y arroyos de la fraccion 3.0 phi.

| ESTACION | MAGNETITA | I     | II    | III   | IV    |
|----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 18       | 03.37     | 03.37 | 84.27 | 07.86 | 03.37 |
| 19       | 02.75     | 02.75 | 69.65 | 07.59 | 17.86 |
| 20       | 03.03     | 06.82 | 82.57 | 04.54 | 03.03 |
| 21       | 02.08     | 08.33 | 35.41 | 06.25 | 46.87 |
| 23       | 03.12     | 03.12 | 75.00 | 03.90 | 11.72 |
| 25       | 03.06     | 06.12 | 65.30 | 03.06 | 19.38 |
| 26       | 06.89     | 05.17 | 72.41 | 05.17 | 06.89 |
| 28       | 04.76     | 03.17 | 79.36 | 03.17 | 04.76 |
| 30       | 00.90     | 04.07 | 89.59 | 03.16 | 02.71 |
| 32       | 01.75     | 03.51 | 80.70 | 07.01 | 05.26 |
| 35       | 04.28     | 02.85 | 82.85 | 05.71 | 04.28 |
| 37       | 05.81     | 05.81 | 80.23 | 05.81 | 03.48 |
| 39       | 02.14     | 07.14 | 71.42 | 07.14 | 03.57 |
| 22       | 26.21     | 05.13 | 57.69 | 06.83 | 02.28 |
| 24       | 00.00     | 02.52 | 22.69 | 04.20 | 63.02 |
| 27       | 08.75     | 06.73 | 64.98 | 13.13 | 04.37 |
| 31       | 03.39     | 06.78 | 69.49 | 05.08 | 11.86 |
| 33       | 00.00     | 05.55 | 77.77 | 11.11 | 05.55 |
| 34       | 18.52     | 10.04 | 63.84 | 04.01 | 04.68 |
| 36       | 03.03     | 06.06 | 63.63 | 09.09 | 15.15 |
| 29       | 17.64     | 10.92 | 47.56 | 22.52 | 01.51 |
| 134      | 14.35     | 03.95 | 29.86 | 22.54 | 28.42 |
| 132      | 16.66     | 17.85 | 57.14 | 04.76 | 01.19 |
| 133      | 38.59     | 08.05 | 43.96 | 07.04 | 00.67 |

TABLA V. - Valores en % de las clases de susceptibilidad magnetica de las muestras de dunas, playas y arroyos retenidas en la fraccion 3.5 phi.

| ESTACION | MAGNETITA | I     | II    | III   | IV    |
|----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 18       | 00.80     | 00.68 | 44.17 | 11.41 | 37.33 |
| 19       | 01.62     | 01.00 | 69.25 | 11.50 | 14.87 |
| 20       | 02.50     | 01.96 | 70.37 | 06.86 | 17.75 |
| 21       | 06.39     | 02.07 | 68.74 | 07.42 | 13.81 |
| 23       | 01.10     | 02.07 | 86.18 | 05.38 | 03.17 |
| 25       | 03.88     | 00.75 | 80.02 | 06.69 | 07.66 |
| 26       | 02.04     | 01.61 | 84.31 | 06.12 | 04.51 |
| 28       | 03.08     | 01.54 | 83.70 | 05.94 | 03.74 |
| 30       | 00.61     | 02.57 | 85.17 | 04.53 | 05.63 |
| 32       | 02.00     | 02.45 | 89.31 | 04.01 | 02.67 |
| 35       | 02.90     | 00.87 | 78.40 | 08.11 | 09.13 |
| 37       | 16.27     | 01.87 | 65.39 | 05.87 | 10.07 |
| 39       | 00.39     | 09.52 | 65.87 | 03.17 | 17.06 |
| 22       | 16.08     | 07.30 | 65.39 | 04.12 | 05.61 |
| 24       | 01.12     | 01.50 | 68.62 | 06.37 | 22.75 |
| 27       | 11.33     | 07.81 | 69.14 | 04.68 | 05.07 |
| 31       | 01.68     | 01.53 | 90.49 | 02.60 | 03.37 |
| 33       | 02.07     | 02.85 | 88.08 | 04.66 | 01.03 |
| 34       | 25.04     | 00.38 | 47.55 | 02.42 | 09.57 |
| 36       | 02.60     | 01.42 | 55.21 | 07.34 | 32.70 |
| 29       | 36.06     | 10.65 | 43.44 | 09.01 | 00.82 |
| 134      | 22.17     | 06.78 | 49.09 | 15.38 | 01.13 |
| 132      | 13.27     | 03.54 | 73.45 | 04.42 | 02.65 |
| 133      | 51.08     | 03.46 | 36.79 | 04.76 | 00.86 |

TABLA VI.- RESULTADOS DE LOS CONTEOS HECHOS EN LAS MUESTRAS DE DUNAS DE LA FRAC-  
CION 3.0  $\phi$ , EXPUESTOS EN % POR ESPECIE MINERALOGICA.

| MINERALES  | ESTACIONES DE MUESTREO |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | 18                     | 19    | 20    | 21    | 23    | 25    | 26    | 28    | 30    | 32    | 35    |
| GRANATE    | 00.00                  | 00.03 | 00.02 | 00.00 | 00.04 | 00.16 | 00.03 | 00.55 | 00.38 | 00.28 | 00.02 |
| OPACOS     | 03.88                  | 07.24 | 02.07 | 03.56 | 03.12 | 02.31 | 02.07 | 04.11 | 02.67 | 05.01 | 05.65 |
| ALTERITA   | 07.08                  | 24.07 | 10.94 | 42.73 | 09.04 | 12.66 | 22.10 | 20.81 | 04.39 | 08.65 | 16.11 |
| HORNBLENDA | 35.67                  | 28.77 | 36.88 | 16.62 | 38.63 | 26.31 | 25.26 | 27.13 | 42.56 | 37.95 | 34.76 |
| EGIRINA    | 36.64                  | 29.32 | 28.14 | 12.10 | 19.44 | 22.54 | 25.24 | 22.62 | 25.01 | 21.46 | 17.08 |
| AUGITA     | 04.49                  | 08.83 | 06.92 | 03.03 | 05.27 | 10.94 | 06.90 | 02.94 | 12.07 | 05.19 | 11.08 |
| ENSTATITA  | 01.00                  | 01.18 | 01.47 | 00.31 | 00.61 | 01.48 | 01.30 | 01.92 | 02.17 | 01.21 | 00.79 |
| HIPERSTENA | 01.30                  | 03.42 | 02.59 | 00.17 | 01.27 | 01.56 | 01.50 | 01.60 | 03.07 | 03.28 | 01.18 |
| BIOTITA    | 00.90                  | 00.34 | 00.85 | 00.63 | 00.98 | 01.29 | 00.90 | 01.40 | 01.57 | 03.56 | 01.82 |
| TURMALINA  | 00.36                  | 00.28 | 00.85 | 00.27 | 01.30 | 00.69 | 00.58 | 00.33 | 00.37 | 00.36 | 00.59 |
| DIOPSIDO   | 01.26                  | 00.45 | 00.90 | 00.19 | 00.48 | 00.69 | 00.20 | 01.10 | 00.92 | 00.44 | 02.30 |
| ACTINOLITA | 00.60                  | 00.71 | 00.95 | 00.35 | 02.11 | 01.92 | 01.52 | 03.00 | 00.40 | 04.92 | 00.35 |
| CIANITA    | 00.61                  | 00.33 | 00.60 | 00.51 | 00.24 | 00.67 | 00.82 | 00.01 | 00.90 | 00.58 | 00.08 |
| EPIDOTA    | 03.14                  | 00.51 | 00.55 | 00.23 | 00.01 | 00.21 | 00.53 | 00.01 | 00.01 | 00.27 | 00.00 |
| ZIRCON     | 00.27                  | 03.75 | 00.97 | 03.71 | 02.88 | 02.87 | 00.26 | 00.67 | 00.82 | 00.54 | 00.66 |
| RUTILO     | 00.00                  | 00.06 | 00.01 | 00.28 | 00.17 | 00.00 | 00.02 | 00.02 | 00.00 | 00.00 | 00.00 |
| ESFENA     | 00.17                  | 01.03 | 00.02 | 00.84 | 00.69 | 00.33 | 00.06 | 00.08 | 00.28 | 00.18 | 00.10 |
| MONACITA   | 00.05                  | 02.09 | 00.14 | 00.84 | 00.11 | 00.33 | 00.06 | 00.15 | 00.18 | 00.14 | 00.16 |
| APATITA    | 00.02                  | 00.13 | 00.00 | 00.28 | 00.63 | 00.08 | 00.00 | 00.06 | 00.12 | 00.20 | 00.18 |
| TOPACIO    | 00.00                  | 00.54 | 00.00 | 01.13 | 01.09 | 00.75 | 00.04 | 00.12 | 00.34 | 00.11 | 00.29 |
| ANDALUSITA | 00.15                  | 01.01 | 00.77 | 04.23 | 02.54 | 02.34 | 00.16 | 00.54 | 00.61 | 00.61 | 00.71 |
| FLUORITA   | 00.08                  | 00.30 | 00.04 | 00.00 | 00.01 | 00.08 | 00.00 | 00.03 | 00.10 | 00.14 | 00.14 |
| SILIMANITA | 00.60                  | 00.94 | 01.03 | 03.39 | 02.65 | 02.92 | 00.11 | 00.89 | 00.42 | 00.99 | 01.35 |
| MAGNETITA  | 03.37                  | 02.75 | 03.03 | 02.08 | 03.12 | 03.06 | 06.89 | 04.76 | 00.90 | 01.75 | 04.28 |
| OTROS      | 00.07                  | 00.06 | 00.04 | 01.16 | 00.06 | 00.60 | 00.07 | 00.25 | 00.04 | 00.04 | 00.12 |

TABLA VII.- VALORES EN % EN NÚMERO DE LOS MINERALES PESADOS PREDOMINANTES HALLADOS EN ARENAS DE PLAYA, FRACCIÓN 3.0  $\phi$ . LAS MUESTRAS 37 Y 39 CORRESPONDEN A UN AMBIENTE EOLICO.

| MINERALES  | ESTACIONES DE MUESTREO |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | 22                     | 24    | 27    | 31    | 33    | 34    | 36    | 37    | 39    |
| GRANATE    | 01.22                  | 00.08 | 00.48 | 00.00 | 00.00 | 03.26 | 00.00 | 01.07 | 00.04 |
| OPACOS     | 15.22                  | 01.41 | 09.64 | 09.71 | 08.75 | 25.83 | 03.08 | 02.87 | 06.14 |
| ALTERITA   | 11.92                  | 60.12 | 14.70 | 14.82 | 15.52 | 09.45 | 24.63 | 06.28 | 10.60 |
| HORNBLENDA | 13.50                  | 09.52 | 15.11 | 30.89 | 38.00 | 12.10 | 30.98 | 36.61 | 29.33 |
| EGIRINA    | 11.95                  | 09.43 | 13.77 | 21.81 | 19.27 | 10.54 | 16.60 | 22.90 | 22.68 |
| AUGITA     | 08.55                  | 02.29 | 18.25 | 03.79 | 02.45 | 05.68 | 05.01 | 11.19 | 07.91 |
| ENSTATITA  | 01.19                  | 00.24 | 02.11 | 01.00 | 01.33 | 00.75 | 00.67 | 00.47 | 01.75 |
| HIPERSTENA | 00.63                  | 00.54 | 02.18 | 01.68 | 00.80 | 03.66 | 00.94 | 02.71 | 01.52 |
| BIOTITA    | 00.14                  | 00.43 | 00.43 | 01.35 | 06.68 | 00.80 | 01.48 | 02.29 | 00.97 |
| TURMALINA  | 00.19                  | 00.27 | 00.13 | 00.41 | 00.64 | 00.29 | 00.37 | 00.70 | 01.17 |
| DIOPSIDO   | 02.59                  | 00.07 | 06.63 | 00.83 | 00.42 | 03.12 | 00.58 | 01.26 | 01.40 |
| ACTINOLITA | 01.09                  | 00.35 | 00.52 | 01.08 | 02.87 | 00.13 | 02.92 | 01.28 | 01.67 |
| CIANITA    | 00.38                  | 00.03 | 00.35 | 00.04 | 00.06 | 00.00 | 00.49 | 01.48 | 00.07 |
| EPIDOTA    | 00.57                  | 00.24 | 00.04 | 00.00 | 01.03 | 00.64 | 01.06 | 00.26 | 00.03 |
| ZIRCON     | 01.30                  | 01.39 | 02.24 | 01.92 | 00.32 | 03.02 | 00.57 | 01.40 | 01.94 |
| RUTILO     | 00.03                  | 00.42 | 00.03 | 00.00 | 00.00 | 00.09 | 00.00 | 00.01 | 00.03 |
| ESFENA     | 00.16                  | 00.84 | 00.40 | 00.18 | 00.11 | 00.17 | 00.09 | 00.06 | 00.34 |
| MONACITA   | 00.24                  | 00.00 | 00.30 | 00.06 | 00.03 | 01.62 | 00.17 | 00.13 | 00.16 |
| APATITA    | 00.02                  | 00.00 | 00.10 | 00.06 | 00.00 | 00.04 | 00.00 | 00.13 | 00.24 |
| TOPACIO    | 00.07                  | 00.42 | 00.11 | 00.00 | 00.00 | 00.12 | 00.00 | 00.11 | 00.21 |
| ANDALUSITA | 00.23                  | 00.42 | 00.59 | 01.44 | 00.22 | 00.14 | 02.07 | 00.85 | 00.57 |
| FLUORITA   | 00.30                  | 01.70 | 00.49 | 00.07 | 00.06 | 00.14 | 00.00 | 00.10 | 00.06 |
| SILIMANITA | 00.28                  | 01.68 | 00.55 | 01.79 | 00.62 | 00.14 | 01.88 | 00.80 | 00.32 |
| MAGNETITA  | 26.21                  | 00.00 | 08.75 | 03.39 | 00.00 | 18.52 | 03.03 | 05.81 | 02.14 |
| OTROS      | 00.00                  | 00.44 | 00.03 | 00.08 | 00.42 | 00.00 | 00.22 | 00.14 | 00.02 |

TABLA VIII. - Proporciones de minerales pesados hallados en las muestras de arroyos, fracción 3.0  $\phi$ .

| MINERAL    | ESTACION DE MUESTREO. |       |       |       |
|------------|-----------------------|-------|-------|-------|
|            | 29                    | 132   | 133   | 134   |
| GRANATE    | 00.00                 | 00.06 | 00.02 | 00.00 |
| OPACOS     | 17.91                 | 21.06 | 26.90 | 09.11 |
| ALTERITA   | 46.79                 | 30.74 | 22.05 | 67.86 |
| HORNBLENDA | 05.43                 | 05.27 | 01.48 | 03.31 |
| EGIRINA    | 00.47                 | 03.47 | 00.29 | 00.12 |
| AUGITA     | 05.93                 | 10.59 | 06.64 | 01.20 |
| ENSTATITA  | 00.16                 | 00.47 | 00.31 | 00.15 |
| HIPERSTENA | 00.34                 | 00.00 | 00.02 | 00.00 |
| BIOTITA    | 00.07                 | 06.65 | 00.29 | 00.31 |
| TURMALINA  | 00.00                 | 00.41 | 00.00 | 00.00 |
| DIOPSIDO   | 04.54                 | 01.21 | 01.56 | 02.13 |
| ACTINOLITA | 00.07                 | 00.66 | 00.00 | 00.00 |
| CIANITA    | 00.00                 | 00.06 | 00.01 | 00.00 |
| EPIDOTA    | 00.15                 | 00.00 | 00.00 | 00.00 |
| ZIRCON     | 00.44                 | 00.07 | 00.04 | 00.28 |
| RUTILO     | 00.00                 | 00.00 | 00.01 | 00.00 |
| ESFENA     | 00.06                 | 00.01 | 00.00 | 00.09 |
| MONACITA   | 00.00                 | 00.02 | 00.01 | 00.09 |
| APATITA    | 00.01                 | 00.00 | 00.00 | 00.00 |
| FLUORITA   | 00.00                 | 00.01 | 00.00 | 00.00 |
| SILIMANITA | 00.01                 | 00.02 | 00.00 | 00.00 |
| MAGNETITA  | 17.64                 | 16.66 | 38.59 | 14.35 |
| OTROS *    | 00.00                 | 00.07 | 00.02 | 00.04 |

TABLA IX.- PORCENTAJES DE ESPECIES DE MINERALES PESADOS DE LAS MUESTRAS DE DUNAS  
FRACCION 3.5  $\phi$ , EXPRESADOS EN % EN NUMERO.

| MINERALES  | ESTACIONES DE MUESTREO |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|            | 18                     | 19    | 20    | 21    | 23    | 25    | 26    | 28    | 30    | 32    | 35    |  |
| GRANATE    | 01.03                  | 02.37 | 00.53 | 01.04 | 00.30 | 00.59 | 00.60 | 00.37 | 00.32 | 00.36 | 01.69 |  |
| OPACOS     | 02.78                  | 02.85 | 04.37 | 09.94 | 02.66 | 02.68 | 01.09 | 01.20 | 02.59 | 03.03 | 03.93 |  |
| ALTERITA   | 26.96                  | 03.43 | 03.77 | 05.68 | 02.59 | 04.88 | 04.50 | 04.20 | 02.77 | 04.38 | 05.27 |  |
| HORNBLENDA | 22.07                  | 31.69 | 33.68 | 25.20 | 37.25 | 34.56 | 34.35 | 41.24 | 39.14 | 40.60 | 38.48 |  |
| EGIRINA    | 13.43                  | 23.07 | 22.92 | 21.64 | 25.96 | 27.67 | 31.96 | 27.89 | 20.73 | 24.01 | 16.27 |  |
| AUGITA     | 05.54                  | 06.75 | 04.86 | 04.90 | 09.52 | 06.17 | 11.03 | 02.54 | 15.65 | 10.13 | 08.11 |  |
| ENSTATITA  | 01.22                  | 01.18 | 01.04 | 01.23 | 01.06 | 01.85 | 00.09 | 01.48 | 01.68 | 01.75 | 01.75 |  |
| HIPERSTENA | 02.06                  | 02.66 | 02.85 | 00.97 | 04.38 | 02.94 | 00.58 | 00.85 | 04.88 | 06.31 | 02.90 |  |
| BIOTITA    | 00.18                  | 01.23 | 00.99 | 00.26 | 01.52 | 00.62 | 00.66 | 00.61 | 00.06 | 00.63 | 00.37 |  |
| TURMALINA  | 00.48                  | 00.73 | 00.49 | 00.00 | 02.03 | 00.77 | 00.02 | 00.76 | 00.07 | 00.07 | 00.63 |  |
| DIOPSIDO   | 00.67                  | 02.60 | 00.96 | 01.48 | 02.70 | 01.74 | 01.46 | 03.15 | 00.93 | 00.72 | 02.88 |  |
| ACTINOLITA | 00.44                  | 00.69 | 02.43 | 02.91 | 01.45 | 02.01 | 02.15 | 00.40 | 00.83 | 02.31 | 02.76 |  |
| CIANITA    | 01.04                  | 01.06 | 00.66 | 01.74 | 00.66 | 01.13 | 02.90 | 00.96 | 02.05 | 00.98 | 02.14 |  |
| EPIDOTA    | 00.99                  | 00.96 | 00.23 | 00.75 | 01.15 | 00.30 | 00.06 | 00.08 | 00.00 | 00.00 | 00.05 |  |
| ZIRCON     | 04.68                  | 08.53 | 10.15 | 08.89 | 01.67 | 04.74 | 02.35 | 01.78 | 02.38 | 01.53 | 05.81 |  |
| RUTILO     | 00.47                  | 00.24 | 00.12 | 00.09 | 00.02 | 00.07 | 00.21 | 00.03 | 00.09 | 00.02 | 00.12 |  |
| ESFENA     | 03.78                  | 00.60 | 02.84 | 00.96 | 00.17 | 00.37 | 00.39 | 00.37 | 00.32 | 00.21 | 00.32 |  |
| MONACITA   | 01.09                  | 02.17 | 02.04 | 00.21 | 00.21 | 00.53 | 00.48 | 00.11 | 00.64 | 00.20 | 00.56 |  |
| APATITA    | 00.62                  | 00.49 | 00.06 | 00.87 | 00.29 | 00.12 | 00.10 | 00.48 | 00.60 | 00.25 | 00.70 |  |
| TOPACIO    | 01.09                  | 01.93 | 00.12 | 01.70 | 00.69 | 01.22 | 00.61 | 00.52 | 00.92 | 00.29 | 00.39 |  |
| ANDALUSITA | 00.62                  | 00.44 | 00.29 | 00.37 | 00.11 | 00.15 | 00.09 | 00.17 | 00.33 | 00.15 | 00.42 |  |
| FLUORITA   | 01.40                  | 00.33 | 00.60 | 00.61 | 00.15 | 00.19 | 00.35 | 00.21 | 00.20 | 00.19 | 00.31 |  |
| SILIMANITA | 00.78                  | 00.49 | 00.71 | 00.41 | 00.08 | 00.25 | 00.31 | 00.31 | 00.39 | 00.18 | 00.42 |  |
| MAGNETITA  | 00.80                  | 01.62 | 02.50 | 06.39 | 01.10 | 03.88 | 02.04 | 03.08 | 00.61 | 02.00 | 02.90 |  |
| OTROS      | 00.04                  | 00.01 | 00.14 | 00.04 | 00.05 | 00.07 | 00.06 | 00.13 | 00.17 | 00.21 | 00.07 |  |

TABLA X.- PROPORCIONES DE MINERALES PESADOS HALLADOS EN ARENAS DE  
 PLAYA, FRACCION 3.5  $\phi$ . LAS MUESTRAS 37 Y 39 CORRESPONDEN  
 A UN AMBIENTE EOLICO.

| MINERALES  | ESTACIONES DE MUESTREO |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | 22                     | 24    | 27    | 31    | 33    | 34    | 36    | 37    | 39    |
| GRANATE    | 03.24                  | 00.25 | 05.37 | 01.27 | 00.88 | 03.01 | 00.41 | 09.72 | 02.69 |
| OPACOS     | 14.54                  | 01.35 | 14.20 | 03.36 | 00.69 | 25.89 | 00.35 | 23.67 | 10.77 |
| ALTERITA   | 05.34                  | 05.19 | 06.50 | 03.08 | 04.72 | 00.88 | 22.67 | 02.26 | 05.40 |
| HORNBLENDA | 21.13                  | 33.13 | 15.51 | 41.76 | 48.31 | 07.41 | 30.27 | 15.70 | 24.87 |
| EGIRINA    | 13.17                  | 21.20 | 12.50 | 25.40 | 21.04 | 02.22 | 15.46 | 06.20 | 13.98 |
| AUGITA     | 09.60                  | 07.01 | 11.09 | 09.99 | 11.48 | 01.28 | 04.81 | 05.36 | 09.72 |
| ENSTATITA  | 01.02                  | 00.30 | 01.95 | 00.70 | 01.17 | 00.43 | 00.73 | 01.45 | 00.56 |
| HIPERSTENA | 02.67                  | 02.32 | 07.55 | 03.68 | 02.40 | 07.95 | 02.05 | 01.97 | 05.03 |
| PIOTITA    | 00.24                  | 00.98 | 00.58 | 00.94 | 01.24 | 00.16 | 00.92 | 00.02 | 00.50 |
| TURMALINA  | 00.24                  | 00.38 | 00.59 | 00.04 | 00.62 | 00.01 | 00.17 | 00.13 | 00.53 |
| DIOPSIDO   | 02.02                  | 01.75 | 03.29 | 00.33 | 00.54 | 00.76 | 01.40 | 02.16 | 00.92 |
| ACTINOLITA | 01.71                  | 01.31 | 00.82 | 01.66 | 00.43 | 00.32 | 01.94 | 02.39 | 02.93 |
| CIANITA    | 00.77                  | 00.55 | 00.78 | 01.56 | 00.90 | 01.59 | 02.38 | 01.09 | 00.72 |
| EPIDOTA    | 00.01                  | 00.71 | 00.03 | 00.01 | 00.29 | 00.01 | 00.57 | 00.21 | 00.01 |
| ZIRCON     | 03.55                  | 12.32 | 03.36 | 02.25 | 01.25 | 07.65 | 09.81 | 05.32 | 12.44 |
| RUTILO     | 00.35                  | 00.07 | 00.18 | 00.09 | 00.00 | 00.67 | 00.00 | 01.64 | 00.22 |
| ESFENA     | 00.58                  | 03.23 | 00.34 | 00.31 | 00.06 | 00.28 | 01.41 | 00.74 | 00.79 |
| MONACITA   | 00.90                  | 02.32 | 00.72 | 00.44 | 00.05 | 00.91 | 00.02 | 01.16 | 00.98 |
| APATITA    | 00.05                  | 00.07 | 00.17 | 00.01 | 00.01 | 00.06 | 00.00 | 00.43 | 00.85 |
| TOPACIO    | 00.33                  | 00.30 | 00.27 | 00.00 | 00.01 | 00.03 | 00.00 | 00.37 | 00.85 |
| ANDALUSITA | 00.11                  | 01.30 | 00.05 | 00.24 | 00.11 | 00.03 | 00.00 | 00.10 | 00.34 |
| FLUORITA   | 00.43                  | 00.50 | 00.22 | 00.08 | 00.05 | 00.25 | 00.05 | 00.61 | 00.18 |
| SILIMANITA | 00.02                  | 01.69 | 00.18 | 00.39 | 00.15 | 00.00 | 00.00 | 00.20 | 00.17 |
| MAGNETITA  | 16.08                  | 01.12 | 11.53 | 01.68 | 02.07 | 25.04 | 02.60 | 16.27 | 00.39 |
| OTROS      | 00.07                  | 00.31 | 00.13 | 00.06 | 00.10 | 00.00 | 01.13 | 00.16 | 00.04 |

TABLA XI. - Valores de % en numero de los minerales pesados hallados en muestras de arroyos, -- fraccion 3.5  $\phi$ .

| MINERAL    | ESTACION DE MUESTREO. |       |       |       |
|------------|-----------------------|-------|-------|-------|
|            | 29                    | 132   | 133   | 134   |
| GRANATE    | 00.43                 | 01.58 | 00.35 | 00.00 |
| OPACOS     | 16.65                 | 10.32 | 13.28 | 17.71 |
| ALTERITA   | 26.99                 | 11.23 | 11.43 | 38.12 |
| HORNBLENDA | 06.97                 | 22.11 | 06.96 | 09.12 |
| EGIRINA    | 00.58                 | 14.85 | 01.63 | 00.20 |
| AUGITA     | 06.73                 | 09.95 | 12.20 | 03.01 |
| ENSTATITA  | 00.70                 | 00.27 | 00.32 | 00.19 |
| HIPERSTENA | 00.72                 | 02.21 | 00.12 | 00.02 |
| BIOTITA    | 00.27                 | 04.15 | 01.25 | 00.63 |
| TURMALINA  | 00.20                 | 00.03 | 00.00 | 00.21 |
| DIOPSIDO   | 02.19                 | 00.94 | 00.68 | 02.07 |
| ACTINOLITA | 00.38                 | 02.06 | 00.37 | 00.41 |
| CIANITA    | 00.14                 | 01.47 | 00.12 | 00.16 |
| EPIDOTA    | 00.06                 | 00.03 | 00.12 | 00.14 |
| ZIRCON     | 00.43                 | 01.62 | 00.37 | 00.16 |
| RUTILO     | 00.01                 | 00.07 | 00.01 | 00.00 |
| ESFENA     | 00.09                 | 00.07 | 00.04 | 00.00 |
| MONACITA   | 00.05                 | 00.11 | 00.08 | 00.02 |
| APATITA    | 00.02                 | 00.21 | 00.02 | 00.05 |
| TOPACIO    | 00.02                 | 00.10 | 00.01 | 00.02 |
| ANDALUSITA | 00.00                 | 00.09 | 00.00 | 00.00 |
| FLUORITA   | 00.06                 | 00.27 | 00.03 | 00.00 |
| SILIMANITA | 00.00                 | 00.05 | 00.00 | 00.00 |
| MAGNETITA  | 36.06                 | 13.27 | 51.08 | 22.17 |
| OTROS      | 00.15                 | 00.15 | 00.01 | 00.05 |

no es posible identificar con el microscopio. Se han agrupado los minerales ilmenita, cromita, dentro del término "opacos".

De la fracción 3.0  $\phi$  se observa que los minerales más abundantes son: hornblenda, alterita, egirina, augita, opacos, magnetita, biotita, actinolita, hiperstena y zircón, en ese orden y en forma general relativa para todas las muestras, mientras que para 3.5  $\phi$  (Fig. 8) el orden de abundancia cambia, siendo en orden decreciente también: hornblenda, egirina, alterita, augita, opacos, magnetita, zircón, hiperstena, biotita y actinolita.

El comportamiento de estas proporciones es muy irregular, lo que es más observable en los minerales de playa y arroyo. No obstante, hay una constante proporcionalidad a través de la zona en algunos minerales; los valores no cambian, se mantienen constantes. En 3.0  $\phi$  de la muestra 24 (Fig. 7) es más abundante alterita, mientras que en 3.5  $\phi$  de la misma muestra es más predominante la hornblenda. En los arroyos la alterita compone más del 30 % en 3.0  $\phi$ , siendo la más abundante. Para 3.5  $\phi$  hornblenda en los arroyos vuelve a predominar.

Como lo muestran los resultados, los minerales pesados predominantes son: hornblenda, egirina, augita, alterita, opacos, magnetita, biotita, actinolita, hiperstena y zircón; menores minerales incluyen enstatita, esfena, diópsido y cianita. Los minerales agrupados como "otros" forman una porción muy pequeña del contenido total e incluyen granate, monacita, topacio, epidota, apatita, fluorita, turmalina, andalusita, silimanita, rutilo, corindón, berilo, pirofilita, olivino, clorita, oro y muscovita.

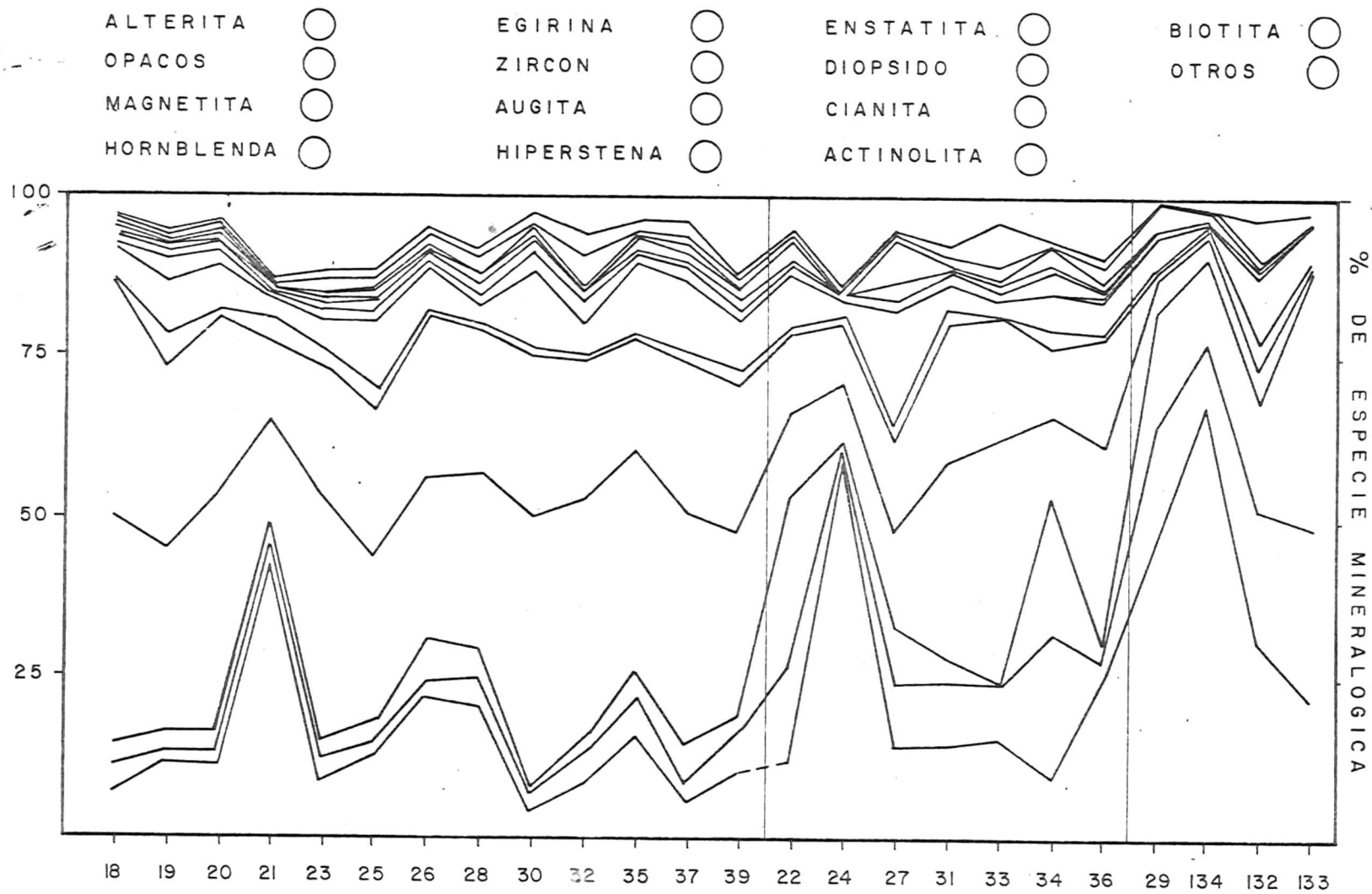


Fig. 7. Relación entre minerales pesados y puntos de muestreo. 3.0 ø

- |              |              |             |              |
|--------------|--------------|-------------|--------------|
| ○ ALTERITA   | ○ EGIRINA    | ○ ENSTATITA | ○ ACTINOLITA |
| ○ OPACOS     | ○ ZIRCON     | ○ ESFENA    | ○ OTROS      |
| ○ MAGNETITA  | ○ ANGITA     | ○ DIOPSIDO  |              |
| ○ HORNBLENDA | ○ HIPERSTENA | ○ CIANITA   |              |

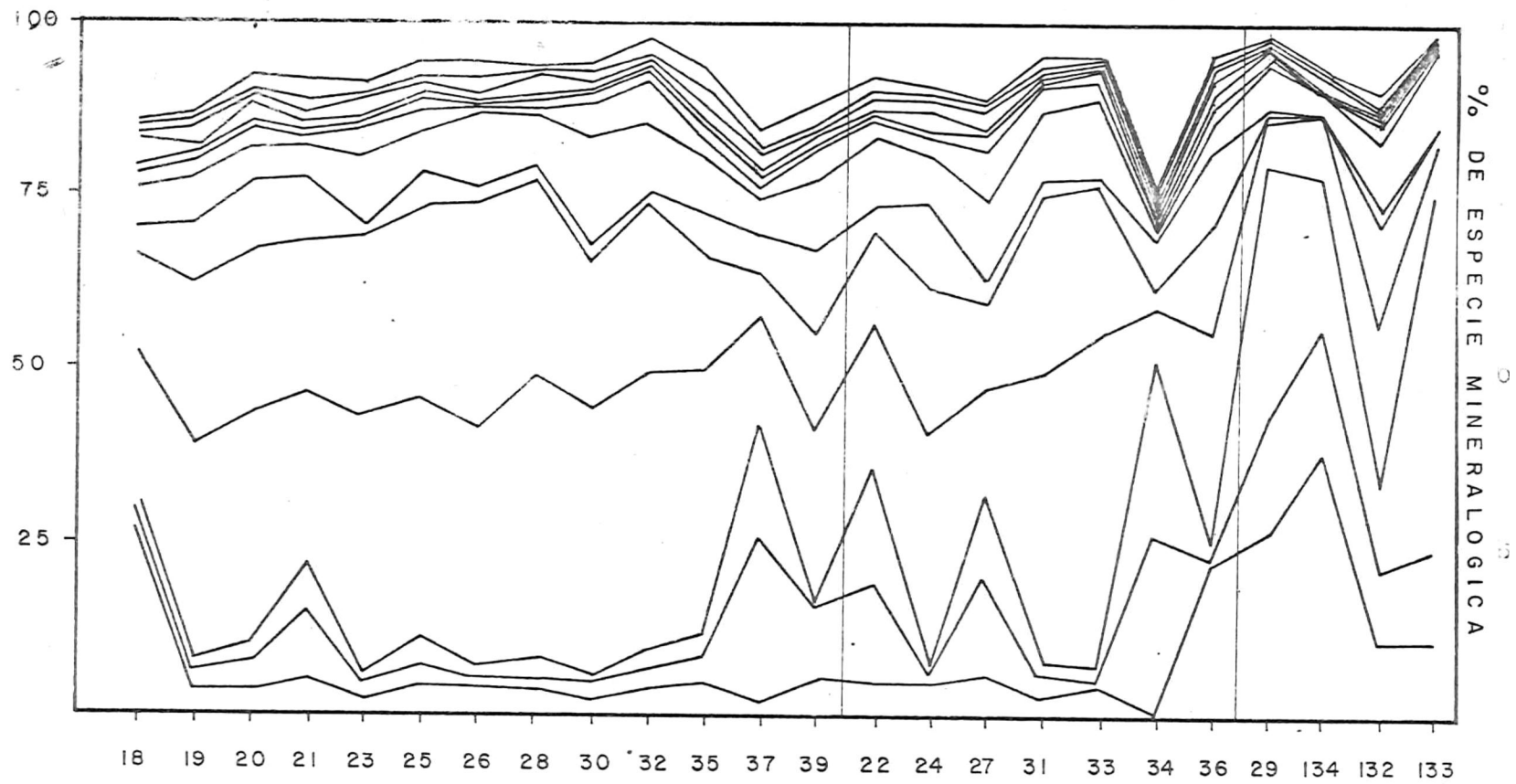


Fig. 8. Relación entre minerales pesados y estaciones de muestreo. 3.5 ø

## DISCUSIONES

### a) Minerales de importancia económica

Con la separación de las muestras en base a la gravedad específica se obtienen dos fracciones: una "ligera", compuesta -- principalmente de cuarzo y feldespatos, y una "pesada", formada por más de 30 especies mineralógicas diferentes. Es en esta --- fracción en la que se hallan los minerales más importantes económicamente hablando; el más predominante de todos es el zircón, seguido por los denominados "opacos", en los que se han detectado granos de ilmenita, cromita y otros con inclusiones de magnetita. Además es notoria la presencia de rutilo, fluorita, apatita, topacio y granate, que no por su reducida proporción dejan de ser menos importantes. Se ha detectado oro, principalmente - en las muestras de arroyo. Cabe señalar que todos estos minerales proceden en mayor medida de rocas graníticas, las que juegan un papel muy pobre dentro del área, por lo que el hecho de hallarlos concentrados en los sedimentos los hace más importantes aún.

### b) Fracción de minerales pesados.

Las proporciones de los minerales pesados en sedimentos arenáceos son muy reducidas, mientras que en rocas ígneas y metamórficas pueden llegar a ser un constituyente muy importante -- (Carver, 1971). No obstante, las proporciones de la fracción pesada pueden aumentar en los sedimentos gracias a la equivalencia

cia hidráulica de los minerales y a la acción selectiva de corrientes y oleaje.

También puede influir en una mayor concentración de los minerales, aunque en menor medida, la composición de las rocas fuente, además del hecho de muestrear sobre parches oscuros formados precisamente como acumulación mecánica de minerales pesados, y no sobre el sedimento homogéneo. Las mayores proporciones de minerales pesados ocurren en 3.5 % de las muestras de playa y duna, pues la moda de la distribución de pesados cae en este tamaño de grano. Esto no es observable en las muestras de arroyo, en las que el transporte es esporádico.

c) Análisis de la distribución de minerales pesados.

Se ha indicado que la proveniencia de los sedimentos puede determinarse usando algunas especies en particular, ó usando todo el conjunto de minerales pesados buscando resolverlo en asociaciones indicadoras del carácter genético; las figuras 9 y 10 se han elaborado para determinar el origen de los sedimentos mediante la distribución de los minerales pesados más abundantes. Estas proporciones oscilan levemente sobre la zona; a excepción de las muestras de la playa contigua a Punta Lobos, en todas predominan hornblenda, egirina y augita, con ocasionales aumentos de hiperstena, biotita y actinolita. Este hecho parece indicar la presencia de una sola asociación, dominada por hornblenda-piroxenos, representando la influencia de las rocas volcánicas y metavolcánicas de la formación Alisitos (Fig.9). Los porcentajes de

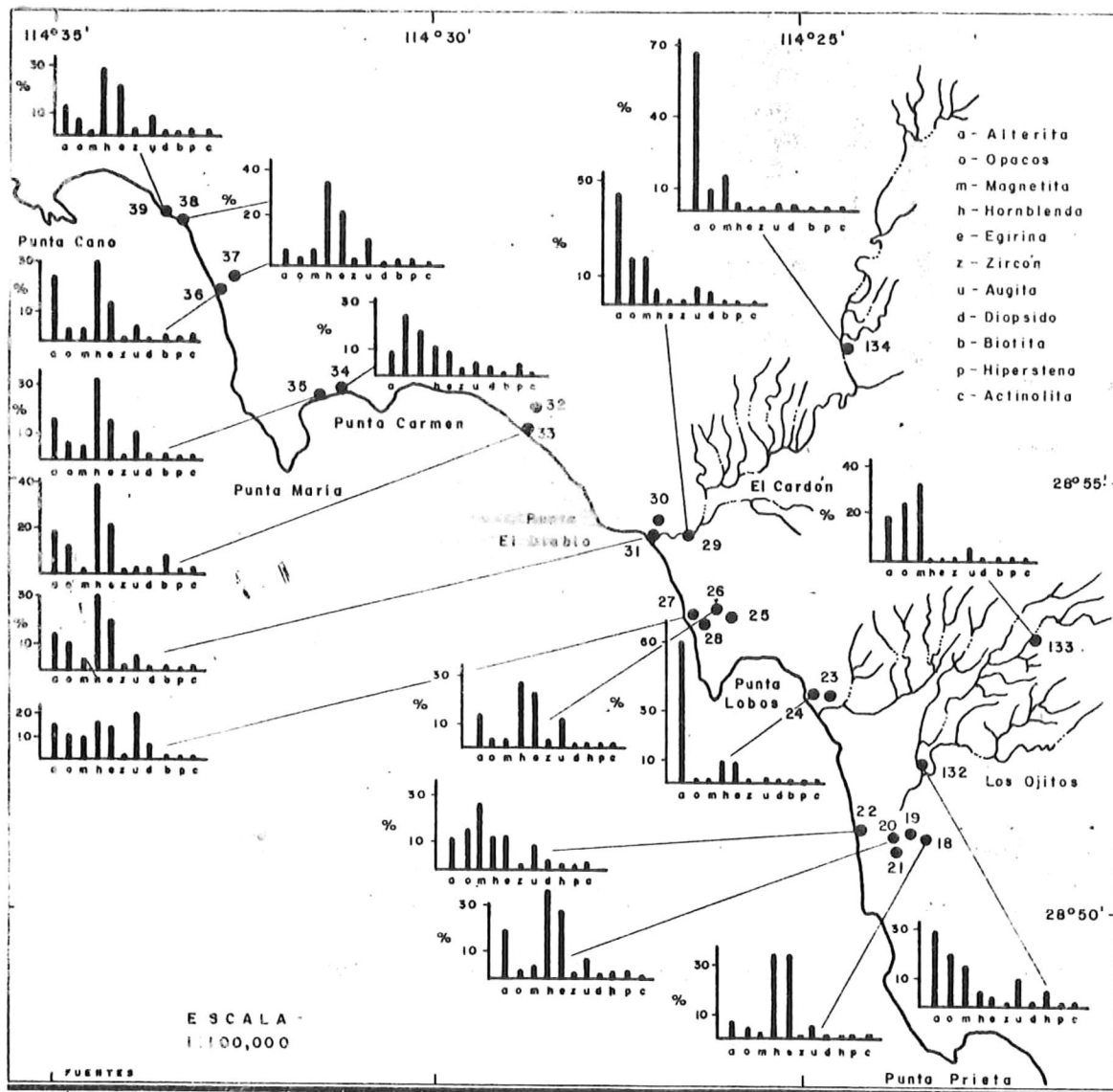


FIG. 9 - DISTRIBUCION DE LOS PORCIENTOS DE LAS ESPECIES MINERALOGICAS PESADAS PREDOMINANTES CORRESPONDIENTES A LA FRACCION 3.0

zircón, diópsido, alterita y opacos se mantienen más ó menos --- constantes a lo largo de la zona. Similares comportamientos mues-  
 tran los minerales de 3.5  $\phi$  (Fig. 10); entre las distribuciones  
 de minerales de las dos subfracciones no hay marcadas diferen-  
 cias, aunque en 3.5  $\phi$  aumenten las proporciones de zircón e hi-  
 perstena, y disminuyan las de alterita y opacos, debido posible-  
 mente a la equivalencia hidráulica de estos minerales.

Las muestras de los arroyos de 3.0  $\phi$  exhiben variaciones --  
 más notorias en las proporciones altas, aunque no con un patrón  
 definido. En el arroyo El Cardón hay mayor cantidad de alterita  
 y menor de opacos y piroxenos en el NE que en la parte SW del --  
 mismo. En el arroyo Los Ojitos ocurre una ligera variante: hay -  
 menor proporción de alterita y mayor de opacos en la porción NE  
 con respecto a la porción SW, pero en ésta última los minerales  
 hornblenda y piroxenos son más abundantes. En los arroyos de la  
 Fig. 10 se exhibe un comportamiento similar.

Si se toma en cuenta que el transporte litoral ocurre para-  
 lelo a la línea de costa con una dirección NW-SE (Wright et al.,  
 1973), con las distribuciones se inferiría la posible influencia  
 actual de puntas y acantilados que se riegan en la zona, y las -  
 proporciones denotarían una influencia decisiva de rocas volcáni-  
 cas, sobre todo en los sedimentos litorales de dunas y playas. -  
 Tiene sentido suponer todo esto, más si se observa que las dis-  
 tribuciones de los minerales en los arroyos indican inactividad  
 temporal de sus cauces. De hecho, situaciones tales como la ob-  
 servable desaparición de los cauces antes de tocar la línea de -

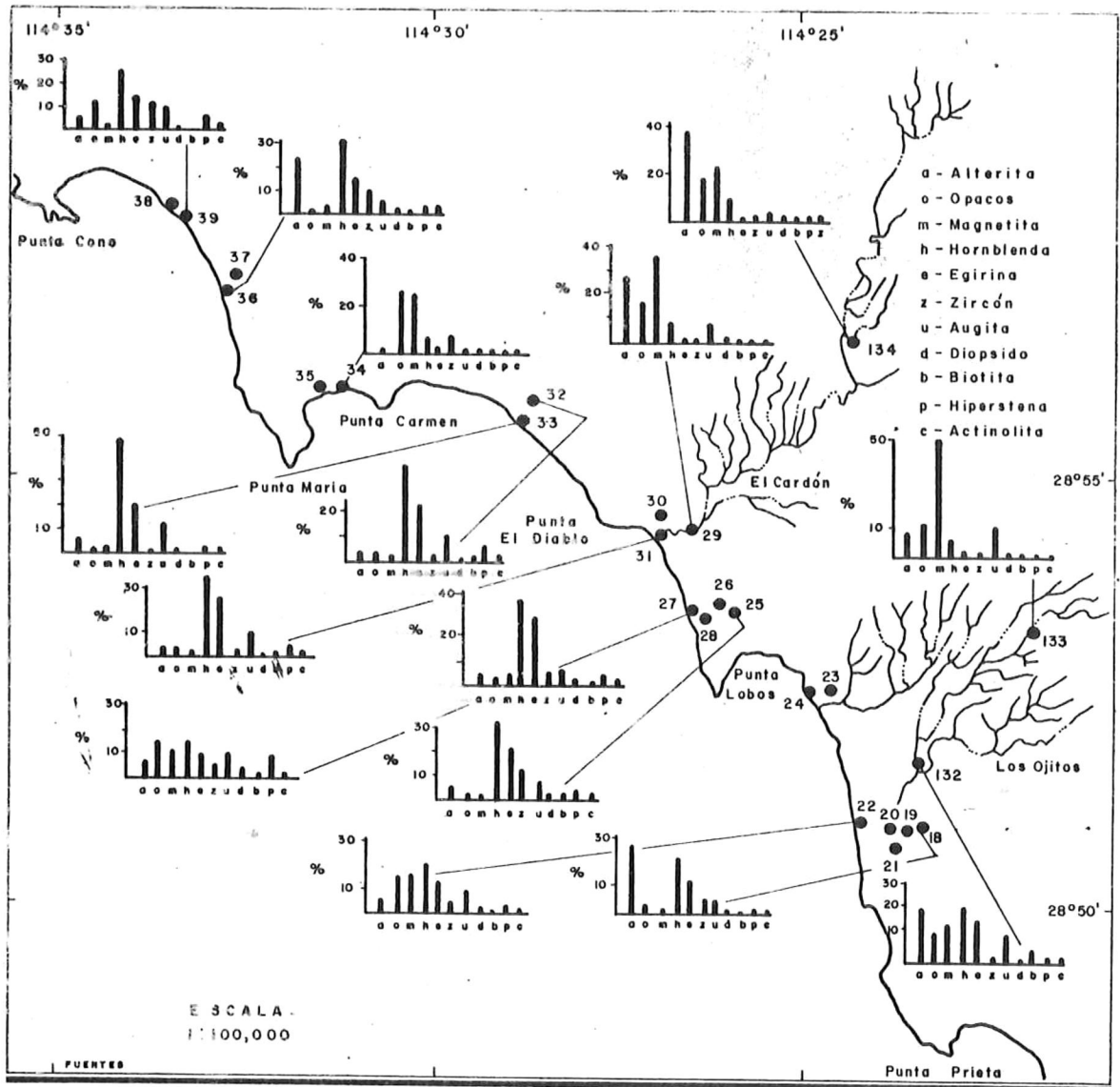


FIG. 10- DISTRIBUCIONES RELATIVAS DE LOS MINERALES PESADOS MAS ABUNDANTES EN PORCIENTO DE LA FRACCION 3.5 Ø .

costa (con excepción del Cardón), la presencia de mayor cantidad de alterita hacia continente, gran abundancia de fragmentos angulosos de roca y arcillas, parecen evidenciar bastante cercanía con sus fuentes y un exiguo aporte de sedimentos en la actualidad. Los únicos aportes se limitarían a escasos periodos de lluvias y al acarreo producido por el oleaje y corrientes marinas en las bocas durante mareas altas ó vivas. Cabe hacer notar al respecto que en esta zona el rango de mareas es muy amplio.

Es notable como algunos minerales son característicos de una clase particular de rocas fuente, de ahí que series ó asociaciones de minerales pesados sean indicadores importantes de proveniencia de los sedimentos en los que forman parte (Pettijohn et al., 1972). De esta forma resulta más completo determinar las fuentes de que se originan los sedimentos. El análisis se dificulta cuando los sedimentos resultan ser policíclicos, es decir, que han sido reciclados varias veces. No obstante, en este caso se puede suponer que los sedimentos del área en gran parte corresponden a un primer ciclo, por la presencia de cristales euhedrales de zircón, granate, fluorita, egirina, topacio, ilmenita, andalusita y augita, y en menor medida se denotan varios ciclos, en base a la existencia de granos redondeados de zircón, rutilo, monacita, fluorita y granate.

Con base en el criterio de asociaciones mineralógicas se puede hallar que la litología de la zona se ve reflejada de alguna manera en el carácter composicional de los sedimentos; como se anotaba anteriormente, la zona parece poseer una sola asociación

ción, representada por la serie hornblenda-egirina-augita-hiperstena-biotita-actinolita, además de una asociación menor ó subasociación, compuesta de opacos-alterita. Esto ocurre tanto para un tamaño de grano como para el otro, de tal forma que es posible analizar por igual cualquiera de las dos subfracciones.

La asociación predominante bien pudiera proceder de las rocas volcánicas y metavolcánicas de la Formación Alisitos, y la subasociación en menor medida de las rocas sedimentarias de la Formación Tepetate. La primera aflora en abundancia en toda la zona, formando esencialmente las puntas María, Carmen, Lobos y el Diablo. Por otra parte, puede existir una influencia mínima de rocas graníticas, por la presencia de zircón de hábito bipiramidal y prismático, de apatita, biotita y esporádicas observaciones de rutilo, topacio, esfena, monacita y turmalina rosa. Es muy factible que los sedimentos del litoral de la zona sean aportados principalmente por la erosión del oleaje sobre las puntas y acantilados rocosos. Los minerales de origen granítico posiblemente provengan, en parte, de la influencia de Punta Conejo y de un acantilado granítico cercano a Punta Carmen.

d) Análisis de proveniencia por correlaciones.

El anterior análisis es una de las muchas formas en que se pueden definir las proveniencias de sedimentos por asociaciones de minerales pesados. También es posible generar tales asociaciones mediante grados asociativos obtenidos por medio del coeficiente de correlación entre parejas de minerales (Briggs, ---

1965). Los datos en conjunto se analizaron con un programa de --  
 computación hecho especialmente para la discriminación de ambien-  
 tes sedimentarios, pero que es muy útil para los fines que se --  
 persiguen en este estudio por usar coeficientes de correlación.

Este programa recibe los datos en forma de matriz, para co-  
 rrelacionar tanto los % de los minerales entre sí, como los % de  
 los minerales muestra contra muestra; expresa los resultados en  
 matrices de correlación y en dendrogramas que dan una idea del  
 agrupamiento de minerales ó muestras.

El análisis de la matriz de correlación describe agrupamien-  
 tos en base al criterio de grado asociativo entre pares de mine-  
 rales. Según este criterio, los minerales altamente asociativos,  
 es decir, los que se asemejan bastante entre sí y por tanto pue-  
 den provenir de un mismo tipo de roca, tienen un coeficiente de  
 correlación mayor de 0.8, mientras que en los moderadamente aso-  
 ciativos (que en menor grado pueden proceder de un mismo origen  
 ) el coeficiente está entre 0.53 y 0.8. En los minerales pesados  
 de 3.0  $\phi$  los grupos altamente asociativos son: opacos-magnetita,  
 hornblenda-egirina, topacio-andalusita y andalusita-silimanita--  
 topacio; los grupos moderadamente asociativos para la misma sub-  
 fracción son: alterita-rutilo, hornblenda-hiperstena-turmalina--  
 -actinolita, egirina-enstatita-hiperstena-cianita, augita-diópsi-  
 do, enstatita-hiperstena-egirina-hornblenda, apatita-turmalina--  
 -hornblenda, zircón-esfena-monacita-topacio-andalusita-silimani-  
 ta, rutilo-alterita-esfena-topacio-fluorita-otros, apatita-turma-  
 lina-topacio-andalusita, topacio-zircón-rutilo-esfena-apatita-o-

tros-silimanita, fluorita-rutilo, andalusita-zircón-esfena-apatita-otros. Las asociaciones que mejor representarían a esta subfracción serían:

- a) opacos-magnetita,
- b) hornblenda-egirina-enstatita-hiperstena-cianita-actinolita-turmalina y
- c) andalusita-topacio-silimanita-zircón-esfena-monacita-rutilo-otros-apatita-fluorita.

De la subfracción 3.5  $\phi$  se puede extraer que los grupos de minerales altamente asociativos son: granate-opacos-rutilo, opacos-granate, hornblenda-egirina y andalusita-silimanita. Así mismo, los grupos moderadamente asociativos son: opacos-rutilo-magnetita, enstatita-hiperstena, turmalina-epidota, epidota-turmalina-topacio, zircón-esfena-monacita-andalusita, rutilo-opacos, esfena-monacita-zircón-andalusita-fluorita-silimanita, apatita-topacio, topacio-epidota-apatita, fluorita-esfena, magnetita-opacos, silimanita-esfena-monacita y andalusita-zircón-esfena-monacita. Es posible que las asociaciones que mejor representen a estos grupos sean:

- a) granate-rutilo-opacos-magnetita,
- b) hornblenda-egirina y
- c) andalusita-silimanita-esfena-monacita-zircón-fluorita-topacio-turmalina-epidota-apatita.

Se puede observar que hay una gran semejanza entre las asociaciones obtenidas tanto para 3.0 como para 3.5  $\phi$ ; este análisis

sis, como el anterior, dá resultados similares para ambos tamaños de grano, así que pueden usarse uno u otro indistintamente. Es factible entonces que las asociaciones puedan resumirse para toda la zona en unas asociaciones únicas, desechando el grupo magnetita-opacos-granate, porque pueden provenir de cualquier tipo de roca. Estas asociaciones serían:

- a) hornblenda-egirina-enstatita-hiperstena-cianita-actinolita-turmalina, de indudable origen máfico y metamórfico, expresamente de las rocas volcánicas y metavolcánicas de la Formación Alisitos.
- b) andalusita-silimanita-zircón-esfena-monacita-topacio-apatita-fluorita-rutilo, que bien pudiera ser contribuida por la erosión de plutones graníticos y sus aureolas de contacto, emplazados en los cauces de los arroyos y en la parte N de la zona, principalmente por oleaje y corrientes y esporádicamente por los arroyos.

Se había mencionado en el análisis de la distribución que los sedimentos de la zona podrían estar representados por una sola asociación de minerales accesorios, en base a la distribución de las proporciones más altas de estos minerales; no obstante, en el análisis de correlación se muestran específicamente dos asociaciones ó subasociaciones diferentes que comparten de manera jerárquica la determinación del origen sedimentario: la influencia mayor de la Formación Alisitos y menor predominio de rocas graníticas y posiblemente sedimentarias.

Por otra parte, se realizó además un análisis de los dendro

gramas proporcionados por la correlación de los datos muestra --  
 contra muestra, para buscar alguna posible influencia litológica  
 local sobre los sedimentos. En las figuras 11 y 12 se puede obser  
 var que no existe tal influencia. Con excepción del arroyo el --  
 Cardón, que sí parece tener una leve influencia sobre algunos --  
 puntos (Fig. 12), pues su cauce toca la línea de costa, los de--  
 más arroyos no muestran dominio alguno en cuanto que se agrupan  
 aparte ó no se agrupan con las muestras aledañas.

### CONCLUSIONES

El análisis de distribución de minerales pesados viene a co  
 rroborar las asociaciones expuestas por el análisis de matrices  
 de correlación, brindando ambos básicamente resultados semejan--  
 tes.

Por otra parte, es indistinto trabajar tanto con 3.0  $\phi$  como  
 con 3.5  $\phi$ ; ambos tamaños de grano presentan asociaciones simila  
 res, que definen la proveniencia de los sedimentos del área. Es  
 tas asociaciones son:

- a) hornblenda-egirina-enstatita-hiperstena-actinolita-cianita  
 -turmalina.
- b) andalusita-silimanita-zircón-esfena-monacita-rutilo-topa--  
 cio-apatita-fluorita.

La primera asociación procede de las rocas volcánicas y me  
 tavolcánicas de la formación Alisitos, expresamente de la ero--  
 sión por el oleaje de las puntas y acantilados. La segunda pro--

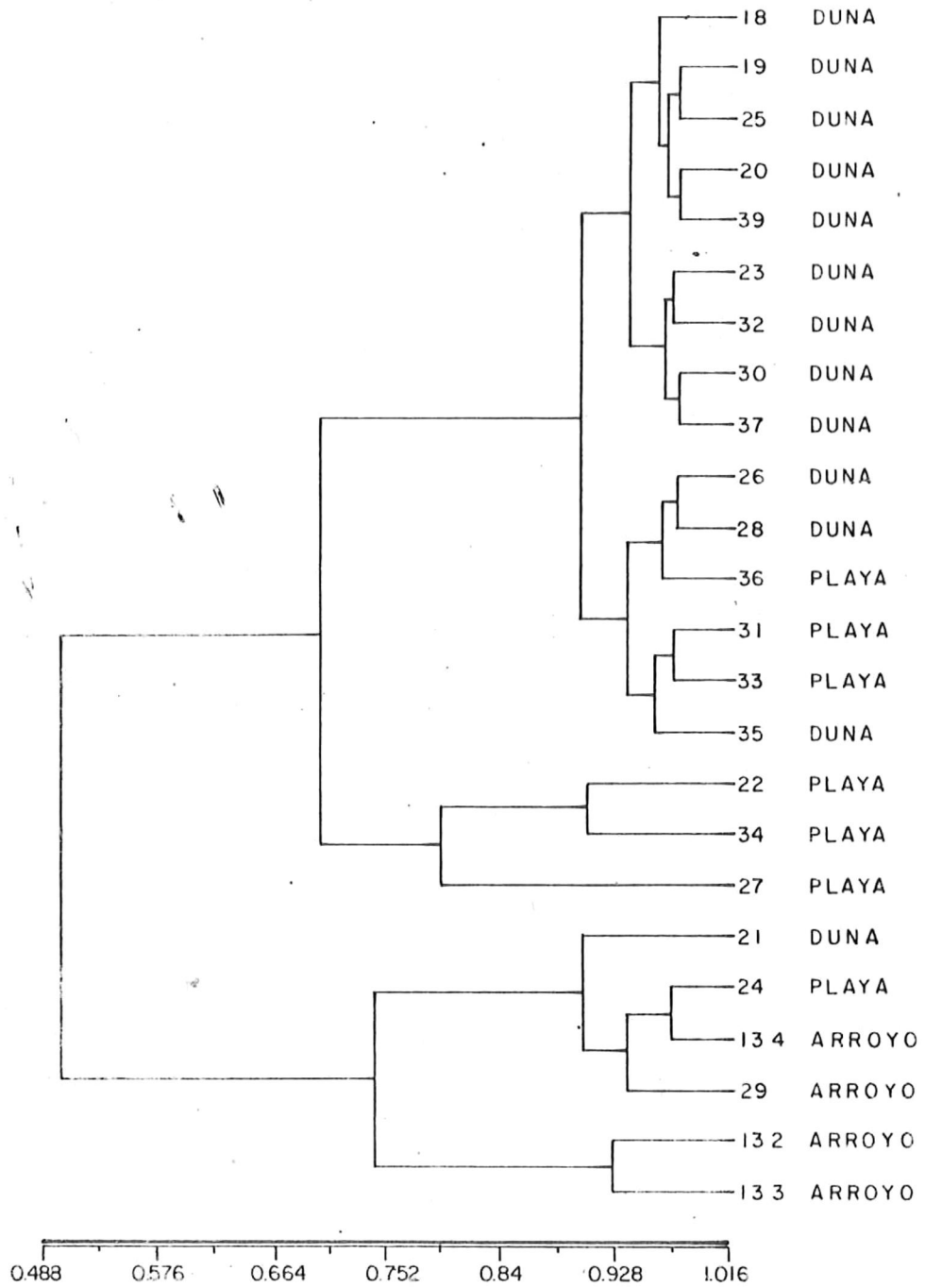


FIG. II = DENDOGRAMA DE CORRELACIONES MUESTRA CONTRA MUESTRA, PARA LA FRACCION 3.0 Ø.

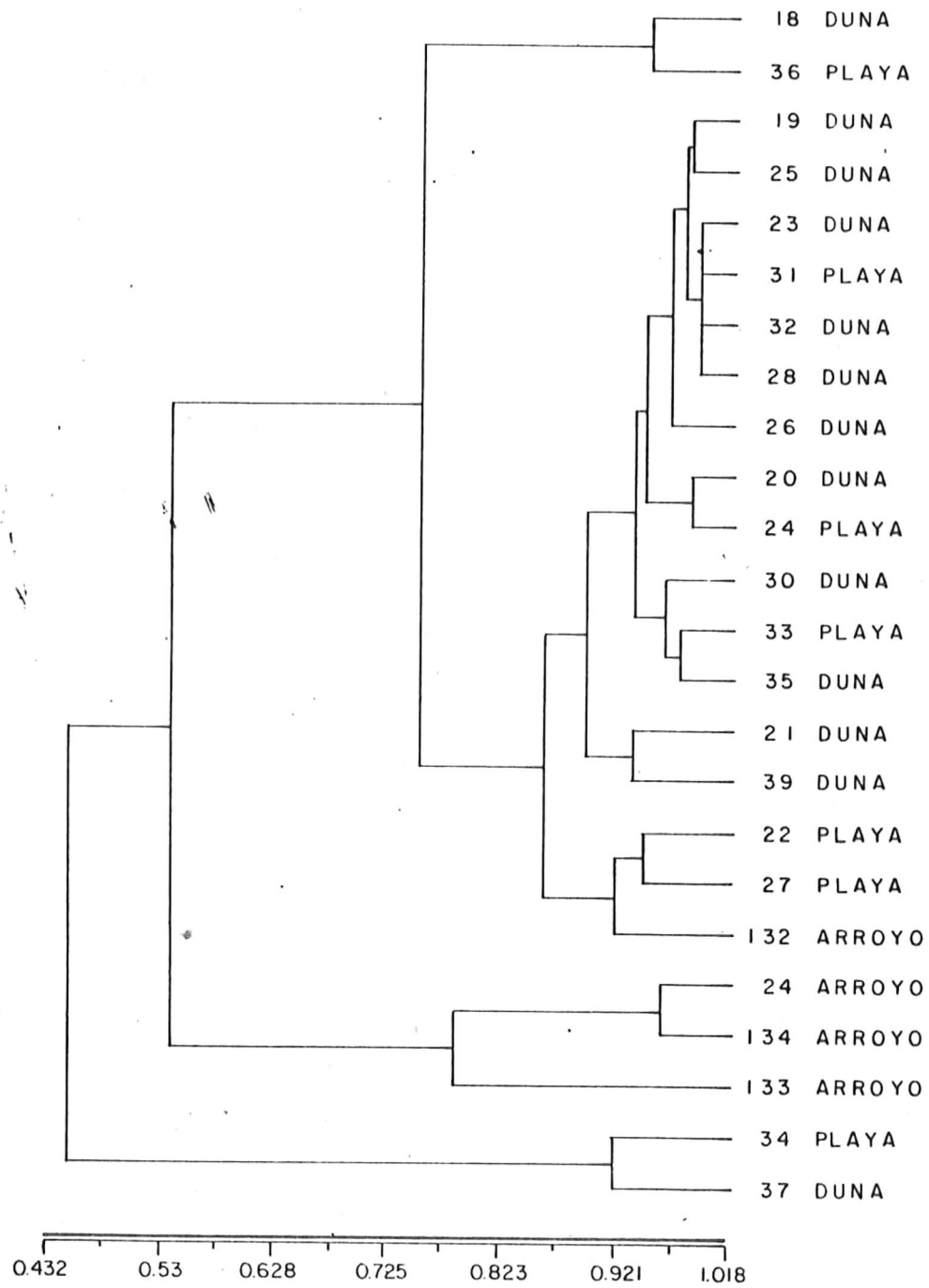


FIG. 12 - DENDOGRAMA DE CORRELACIONES MUESTRA CONTRA MUESTRA PARA LA FRACCION 3.5 Ø.

viene de las rocas graníticas emplazadas en la zona y de sus aureolas de contacto con otras rocas.

La mayor influencia de aporte sobre los sedimentos de la zona recae en las rocas de la formación Alisitos. Es determinante que los arroyos son una fuente actual de aportes insignificantes de sedimentos. Esto se vé apoyado en el análisis hecho al correlacionar muestra contra muestra, en el que se mantiene un margen de influencia litológica general sobre el carácter composicional de los sedimentos. Es notable el agrupamiento de las muestras -- por ambientes, lo que en sí no refleja una influencia de aporte real de los arroyos; la influencia marcada es de aporte desde -- las playas hacia las dunas. Indudablemente que existe una alta semejanza entre las proporciones de minerales pesados de duna y playa para que exista este comportamiento.

Para estudios de este tipo algunos minerales en particular, como el zircón y la hiperstena, no podrían usarse, dado que mantienen una proporción constante dentro del análisis global. Es recomendable hacer uso de otras características en estos minerales en especial, tales como vacuolas, inclusiones, redondéz, etc. para determinar el origen de aquellos y el de los sedimentos de los que forman parte.

Por la presencia de minerales económicamente importantes, -- como son oro, zircón, ilmenita, cromita, granate, magnetita, rutilo y topacio, la zona muestra un particular interés, que puede analizarse desde otro punto de vista diferente al aquí expuesto. La mayoría de estos minerales son menas metálicas importantes.

## BIBLIOGRAFIA

- ARANDA, M.F.J., 1983. Estudio de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, B. C. Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada B.C., México.
- BACA, Ch.C., 1981. Procedencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada B.C., México.
- BLATT, H., 1967. Provenance determinations and recycling of sediments. *Jour. of Sedimentary Petrol.*; Vol. 37, p.1031-1044.
- BRIGGS, L.L., 1965. Heavy minerals correlations and provenances. *Jour. of Sedimentary Petrol.*; Vol. 35, N° 4, p.939-955.
- CARRIQUIRY, J.D., 1985. Análisis de la distribución de los minerales pesados presentes en los sedimentos clásticos de la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada B.C., México.
- CARVER, R.E., ed., 1971. *Procedures in sedimentary Petrology*. New York, Wiley-Interscience; 653 pp.
- DUFFETT, W.N., 1969. Arroyo-shoreline relationships in Northwest B.C., México. Ph.D. dissertation, Univ. of Colorado.
- FESSENDEN, F.W., 1959. Removal of heavy liquids separates from glass centrifuge tubes. *Jour. of Sedimentary Petrol.*; Vol. 29, p.621.
- FIFE, D.L., 1974. Reconnaissance geology of the Santa Rosalía quadrangle, State of B.C., México. *Geology of Peninsular California*; AAPG, SEPM y SEG. p. 91-106.

- GASTIL, R.G., R.P. Phillips y E.C. Allison, 1975. Reconnaissance Geology of the State of B.C., México. Geological Society of America. pp.170.
- JACOB, K-H., E. Gock, A. Mucke y H. Akin, 1979. Sampling and evaluation of an Fe-Ti-Bearing beach placer deposit in Java-Indonesia. Natural Resources and Development; Vol. 10, -- ISC., p50-61.
- PARDEE, J.T., 1934. Beach placers of the Oregon coast. Department of the Interior, Geology Survey; Circular 8, Washington, D.C.
- PEREZ, H.R., 1982. Relación mineralógica entre el área drenada - por el arroyo El Carmen y su depósito. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Euseñada B.C., México.
- PETTIJOHN, F.J., 1957. Sedimentary Rocks. Harper & Brothers, New York. 731 pp.
- PETTIJOHN, F.J., P.E. Potter y R. Siever, 1972. Sand and Sandstones; Springer-Verlag. Berlin- Heidelberg, 618 pp.
- PEROGERANCELM, M., 1966. The distribution of heavy minerals and their hydraulic equivalents in sediments of the Mediterranean Continental Shelf of Israel. Jour. of Sedimentary Petrology; Vol. 36, N° 1, p163-174.
- RAMESAN, V., 1966. Improved methods of heavy minerals separation and counting suitable for fine grained sandstones. Jour. of Sedimentary Petrology; Vol. 35, N° 4, p939-955.

- RITTENHOUSE, G., 1943. Transportation and deposition of heavy minerals. Bull. of the Geological Soc. of America; Vol. 54, p. 1725-1780.
- ROSSEMBLUM, S., 1958. Magnetic susceptibilities of minerals in the Frantz-Isodynamic separator. American Mineralogy; Vol. 43, p. 170-173.
- ROYSE, Ch., 1970. An introduction to sediment analysis. Arizona State University, 130 pp.
- SAENZ, R.R., 1978. Breve análisis de los recursos minerales de salmueras y arenas negras de playa de Guerrero Negro y San Antonio del Mar, B.C. Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, México D.F.
- da SILVA, M.A.M., 1979. Provenance of heavy minerals in beach sands, SE Brazil: from Rio Grande to Chui (Rio Grande do Sul State). Sedimentary Petrology; Vol. 24, N° 1/2, p133.
- VAN ANDEL, Tj.H., 1955. Recent sediments of the Rhone delta; II, sources and deposition of heavy minerals; Geol. Mijnbouwkundig Genootschap Nederland, Verhand; Vol. 15, p516-556.
- VAN ANDEL, Tj.H. y D.M. Poole, 1960. Sources of recent sediments in the Northern Gulf of México; Jour. of Sedimentary Petrology; Vol. 30, N° 1, p. 91-122.
- WRIGHT, L.D. H.H. Roberts, J.M. Coleman, R.L. Kupfer y L.W. Bowden, 1973. Process-form variability of multiclass coasts: Baja California. Louisiana State University. 53 pp.