



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

'EVALUACION Y PROCEDENCIA DE LAS ARENAS NEGRAS DE  
LA PLAYA SAN ANTONIO DEL MAR, B.C., MEXICO.'



TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TITULO  
DE  
OCEANOLOGO  
PRESENTA:  
RAMON CHAVEZ AMPARAN

ENSENADA, B.C., JULIO DE 1990.


"EVALUACION Y PROCEDENCIA DE LAS ARENAS NEGRAS  
DE LA PLAYA SAN ANTONIO DEL MAR, B.C., MEXICO."

T E S I S  
QUE PRESENTA:  
RAMON CHAVEZ AMPARAN

APROBADA POR:




-----  
PRESIDENTE DEL JURADO  
OC. ALFREDO CHEE BARRAGAN



-----  
SINODAL PROPIETARIO  
OC. AMILCAR L. CUPUL MAGAÑA.



-----  
SINODAL PROPIETARIO  
OC. PEDRO CASTRO CASTRO



-----  
SINODAL SUPLENTE  
OC. JOSE LUIS FERMAN A.



-----  
SINODAL SUPLENTE  
OC. LUIS CUPUL MAGAÑA

## AGRADECIMIENTOS

A los Oceanólogos Alfredo Chee Barragan, Amilcar Cupul Magaña, Pedro Castro Castro, Luis Cupul Magañas y Jose Luis Ferman por su asesoria y atinadas observaciones para la realización de este escrito.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas por todas las facilidades prestadas para el procesamiento de este estudio.

A la Universidad Autonoma de Baja California.

A la generación XXV de Oceanólogos.

A mis amigos Paty, Sandra, Max, Nestor, David, Carlos, Luis, Alejandro y Miguel Angel.

A Gabriela.

A todos ellos

Gracias.

## RESUMEN

Con el objeto de evaluar y determinar el origen de las arenas negras de la playa de San Antonio del Mar, localizada en la porción nor-occidental de la península de Baja California. Se analizaron 60 muestras en diferentes ambientes sedimentarios constituidos por depósitos actuales. Las arenas provienen del arroyo "La Calentura" que desemboca en la localidad; del aporte por corrientes litorales que distribuyen los sedimentos a lo largo de la costa y del retrabajo del sedimento que forman las terrazas marinas adyacentes a la playa. El área aparentemente constituye un depósito de placer de minerales pesados el cual consiste de ilmenita, magnetita, circón, rutilo, monazita, granate, esfena, epidota, micas, piroxenos y anfíbol. Los minerales pesados se concentran principalmente en la fracción de 3.5 $\phi$ , la mayor concentración se encuentra en las zonas de berma y duna. El contenido promedio de minerales pesados en la zona es de 34.71 %, en un depósito de 5.5 millones de toneladas de reservas probadas. El contenido promedio de óxido de titanio en la ilmenita es de 51.35 %, valor ligeramente inferior al especificado por el mercado internacional para la ilmenita (54.0 % de óxido de titanio) para considerarse económicamente explotable. No obstante, el elevado tonelaje, las áreas potenciales favorables y la posibilidad de producir rutilo sintético a partir de la ilmenita, hace posible que las arenas negras de San Antonio del Mar constituyan un yacimiento de tipo económico.

## INDICE

I. INTRODUCCION.....	1
I.1. Antecedentes generales.....	4
I.2. Antecedentes particulares.....	5
I.3. Objetivos.....	6
II. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	7
III. METODOLOGIA.....	10
III.1. Campo.....	10
III.2. Laboratorio.....	10
III.3. Analisis.....	12
IV. RESULTADOS.....	15
V. DISCUSIONES.....	22
VI. CONCLUSIONES.....	27
VII. LITERATURA CITADA.....	28

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. Localización del area de estudio.....8
- FIGURA 2. Plano topográfico y localización de muestras  
en la zona de estudio.....11
- FIGURA 3. A) Gráfica de porcentaje real de minerales  
pesados por estación en el depósito  
B) Gráfica de ley mineral por especie  
mineral en el depósito.....17
- FIGURA 4. A) Gráfica del porcentaje real de minerales  
pesados de 3.5  $\phi$  por estación  
B) Gráfica del ley mineral por especie  
mineral para la fracción 3.5  $\phi$ .....18
- FIGURA 5. Gráfica de ley mineral por especie para  
minerales pesados totales y para la  
fracción 3.5  $\phi$ .....19

## LISTA DE TABLAS

TABLA I. Grupos de minerales pesados de acuerdo a la susceptibilidad magnética del separador CARPCO y su relación con el separador FRANZ-ISODINAMIC.....	13
TABLA II. Ley mineral y tonelaje para el depósito global y fracción de 3.5ø en la playa San Antonio del Mar.....	20
TABLA III. Resultados del analisis granulometrico de la zona de estudio.....	21

## I. INTRODUCCION.

El estudio de los depósitos sedimentarios actuales es de gran utilidad para la interpretación de los depósitos sedimentarios antiguos, los cuales pueden ser susceptibles a explotación económica.

Los minerales formadores de rocas son acarreados principalmente por ríos y arroyos, para ser finalmente depositados en las playas donde las corrientes litorales los distribuyen a lo largo de la costa. El ambiente de playa está influenciado por varios factores: oleaje, viento, mareas y corrientes litorales que en conjunto determinan, ya sea erosión o depositación. (Maruri, 1988). Durante los ciclos erosivos los minerales formadores de roca son fragmentados y alterados por la acción del intemperismo, perdurando los minerales más estables como el granate, óxidos de hierro, óxidos de titanio, rutilo, circón, monazita, oro, casiterita y otros, a estos se les conoce como minerales pesados, además se encuentran en gravas y arenas de ríos y son susceptibles a formar depósitos de placer (Park y Macdiarmid, 1975). Un yacimiento que puede resultar de tipo económicamente aprovechable, se forma donde la

fisiografía y el clima han provisto las condiciones ideales para la acumulación en cantidad suficiente (Shepard, 1973).

Los factores más importantes que influyen en la formación de depósitos de importancia económica de minerales pesados son: 1) el área de roca fuente de los minerales pesados expuesta a erosión; 2) la duración e intensidad del ciclo erosivo; 3) el contenido mineral de la roca expuesta y, 4) el clima, la topografía y la localización (Macdonald, 1973); otro factor importante es el depósito y agente de transporte.

Las acumulaciones importantes de placer, se presentan en la base de las dunas frontales, en las playas abiertas donde las olas de tormenta han retrabajado las arenas de duna (Park y Macdiarmid, 1975), y en trampas naturales formadas por ambientes rocosos que obstaculizan el paso de las corrientes marinas; los yacimientos son generalmente de forma lenticular y varían en tamaño hasta cientos de metros de longitud y algunos metros de espesor.

Los minerales de interés económico encontrados en placeres de playa tienen una gravedad específica que

varía entre 3.7 y 7.1; estos minerales son más resistentes al intemperismo y la abrasión, se presentan como material granular en tamaños de 2.0  $\phi$  a 4.0  $\phi$ .

Los principales depósitos comerciales explotados en el mundo se encuentran en: Australia, rutilo en arenas de playa; India, depósitos de playa de ilmenita y rutilo; Malasia, depósitos de placer de ilmenita, y Senegal con ilmenita de playa.

La alta demanda que actualmente poseen los depósitos de placer se debe a que sus productos derivados, como el óxido de titanio que se usa principalmente en la industria de la pintura por su alto índice de refracción y por la estabilidad química, que lo hace apropiado para la producción de pigmentos de alta calidad. En la actualidad esta adquiriendo demanda en la fabricación de materiales para navegación y en proyectos espaciales. En cuanto al circón, se emplea para la industria de fundición, equipo resistente a la corrosión, refractarios y actualmente en la industria nuclear.

El precio de la ilmenita en base al 52-54 % de óxido de titanio, en enero de 1985 fué de 70-75 U.S.

dolares por tonelada, el rutilo con 96 % de óxido de titanio fué de 510-520 U.S. dolares por toneladas y el precio del circón con un contenido mínimo de circonio del 65 % fué de 155 U.S. dolares por tonelada (Engineering and Mining Journal, 1987a.). Estos precios varían de acuerdo a factores de uniformidad química del material, la pureza del concentrado, el alto contenido del metal y el tamaño de las partículas.

Una compañía Australiana invirtió recientemente 65 millones de dolares australianos para instalar una planta de rutilo sintético que emplea 180 000 toneladas de ilmenita con 59 % de óxido de titanio, para producir 100 000 toneladas de rutilo sintético con 92 % de titanio, el cual es empleado en la producción de pigmentos (Engineering and Mining Journal, 1987b).

### I.1 Antecedentes generales.

La mayoría de los estudios realizados sobre depósitos de minerales pesados principalmente se relacionan a procesos de formación, descripción mineralógica, importancia económica e inclusive su relación con procesos litorales.

Los primeros estudios relacionados con recursos minerales en la península datan de principios de siglo, ( Wittich (1909); Bose (1913), y Santillan y Barrera (1930)).

Da Silva (1978), reporta que el Río Grande de To Chui es el principal agente de aporte de minerales pesados, en las playas del sureste de Brasil.

Baca (1981), determina que los arroyos que desembocan en la Bahía de Todos Santos, Baja California, son los aportadores de minerales pesados a las playas aledañas.

Navarro (1985), concluye que los arroyos son una de las principales fuentes de aporte de minerales pesados a la costa, en la region noroeste de Baja California.

## I.2 Antecedentes particulares.

El primer registro que se tiene de trabajos en la zona de estudio, en base a cuantificación de arenas negras corresponde a Saenz (1971), teniendo como resultado altos porcentajes de minerales pesados, dominando magnetita, ilmenita y circón.

Bentelspacher en 1977, realiza un calculo preliminar del yacimiento de arenas negras, del orden de 2 millones de toneladas de arena y 60 % de fracción pesada.

Barajas (1986), menciona que el contenido de oxido de titanio para la ilmenita en la zona, es ligeramente inferior a la concentración requerida en el mercado mundial para ser considerada de importancia económica.

Maruri (1988), determina que el porcentaje de minerales pesados en las zonas de playa y duna, es mayor del 45 % con una ley de 2.21 % de oxido de titanio.

### I.3. Objetivos.

Evaluar la fracción de minerales pesados totales por especie.

Determinar el origen de las arenas negras de la playa San Antonio del Mar, bajo los criterios mineralógicos y granulométricos.

## II. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

La playa San Antonio del Mar se localiza a 137 Km. al sur del Puerto de Ensenada, en las coordenadas  $31^{\circ} 07' 45''$  de latitud norte y los  $116^{\circ} 18'$  longitud oeste (fig. 1).

La zona de estudio consiste de un depósito de arenas negras, asociado a la desembocadura del Arroyo "La Calentura", el cual nace en las estribaciones de la Sierra Juárez. La costa, generalmente escarpada, muestra numerosas terrazas marinas que manifiestan la emersión y el rejuvenecimiento del litoral (Barajas 1986).

Los depósitos que se observan en las terrazas marinas representan una secuencia regresiva, con depósitos de alta energía (gravas y arenas) en la parte superior, y depósitos de plataforma constituidos por lutitas con intercalaciones de calizas arcillosas hacia la base (Maruri, 1988).

Los sedimentos de interés económico se observan en dos formas, el primero como un ambiente sedimentario moderno que está representado por arenas de playa y dunas eólicas de postplaya, y el segundo como depósito

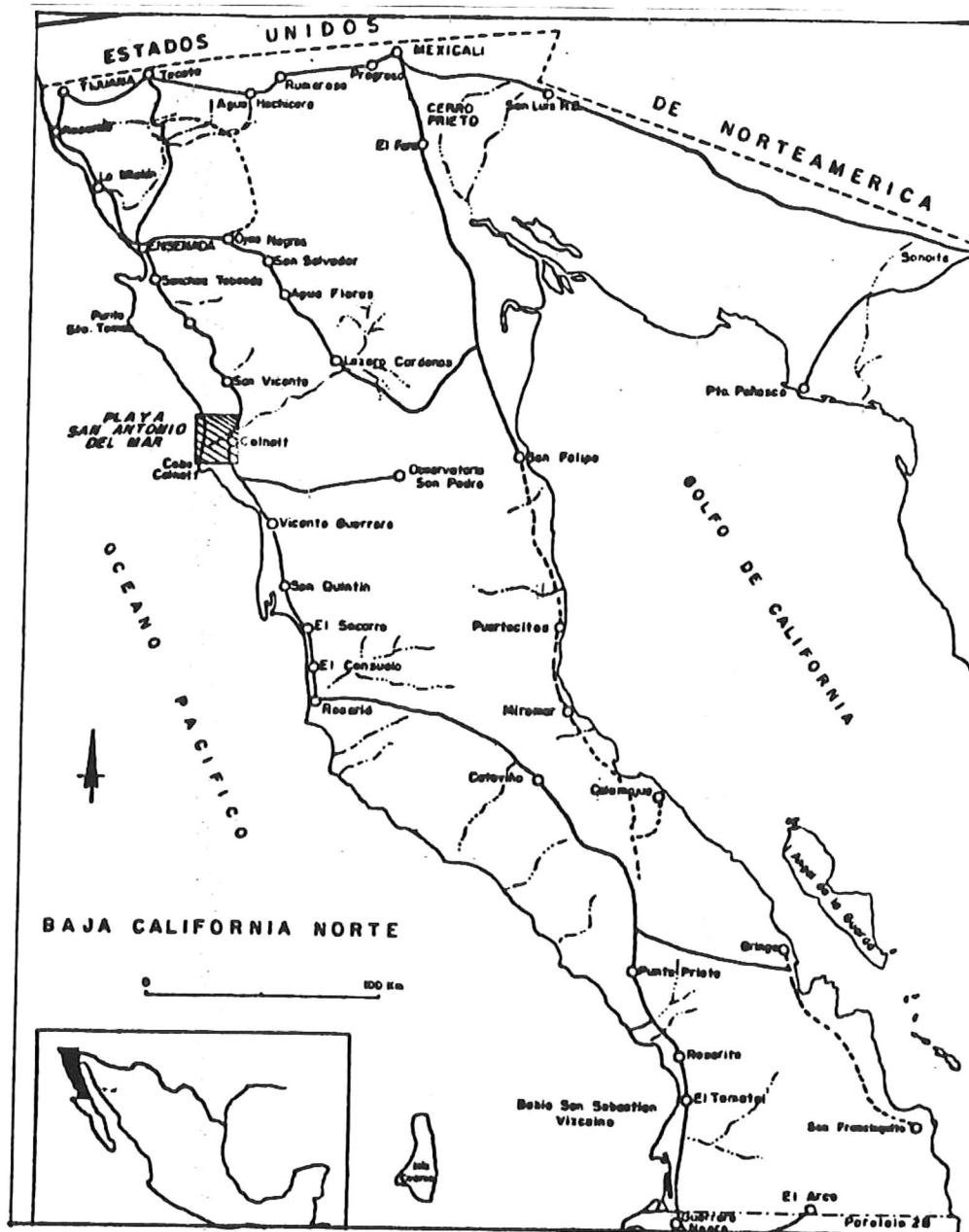


FIGURA 1. Localización del área de estudio.

de paleoplaya en la parte superior de las terrazas adyacentes a la costa.

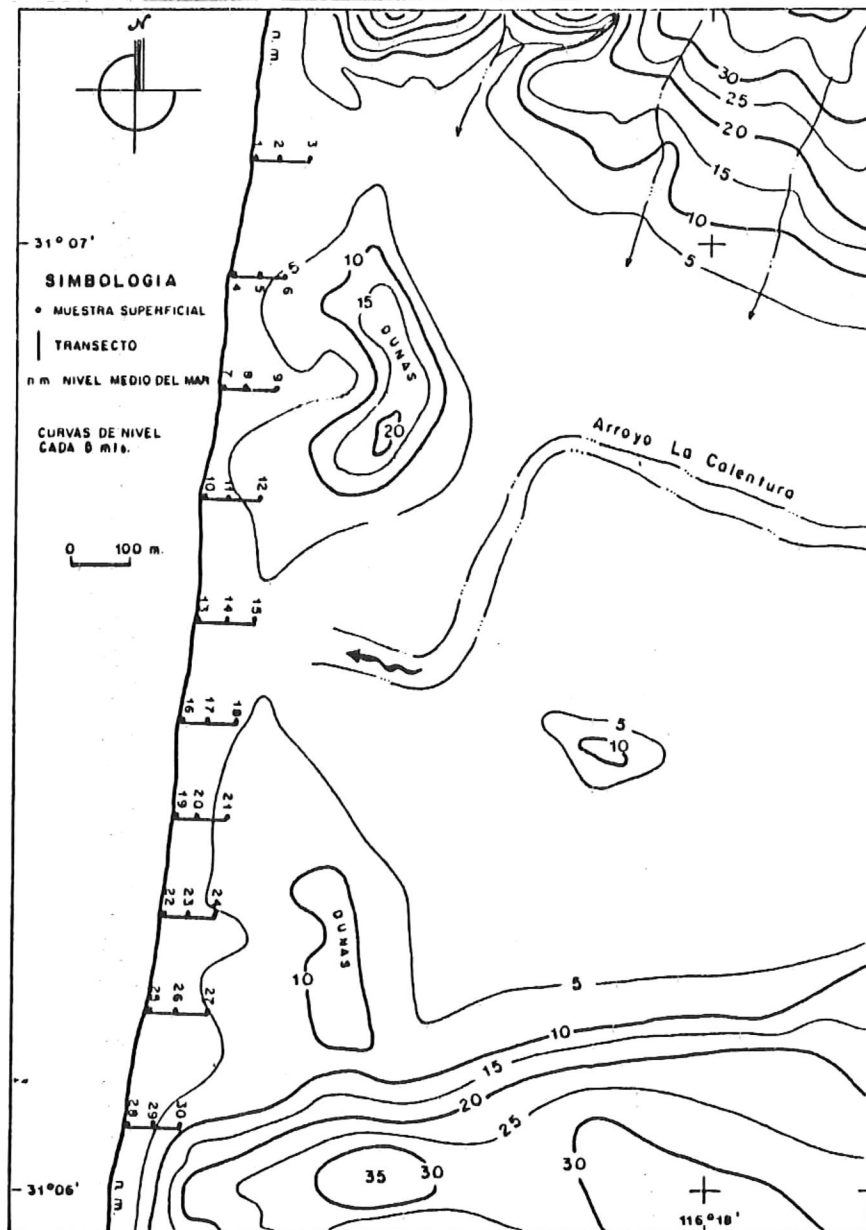
### III. METODOLOGIA.

#### III.1. Campo.

El muestreo se realizó de norte a sur sobre la playa, abarcando aproximadamente 3 Kms. de longitud por 100 mts. de ancho promedio que presenta dicha zona. Se tomaron 30 muestras en transectos perpendiculares a la línea de playa, las cuales consistieron en 10 de playa, 10 de berma y 10 de duna (fig. 2), se recolectó en bolsas de plástico debidamente etiquetadas, aproximadamente 0.5 kg. de arena a 0.5 m. de profundidad.

#### III.2. Laboratorio.

Se realizó el pretratamiento de muestras de acuerdo a las técnicas descritas por Royse (1970). Se analizaron dos submuestras, la primera se tamizó utilizando una serie de tamices U.S. standar de 0.0  $\phi$  a 4.0  $\phi$  con intervalos de 0.5  $\phi$  obteniendo la fracción 3.5  $\phi$ . Junto con la segunda submuestra sin tamizar, las muestras de la fracción 3.5 $\phi$  se separaron los minerales pesados de los ligeros, por medio del método de bromoformo descrito



**FIGURA 2** - PLANO TOPOGRAFICO Y DE LOCALIZACION DE MUESTRAS, EN LA PLAYA SAN ANTONIO DEL MAR, BAJA CALIFORNIA, MEXICO.

por Carver (1976). Se obtuvieron un total de 45 muestras de minerales pesados exclusivamente, las cuales 30 muestras correspondieron a minerales pesados sin tamizar, esto con el objeto de realizar la evaluación global del depósito, 15 muestras correspondientes a la fracción 3.5  $\phi$  donde se concentraba el grueso de minerales pesados dentro del depósito.

La fracción 3.5 $\phi$  se subdividió, conforme a la susceptibilidad magnética presente en los minerales pesados (tabla I), para esto se empleo un separador magnético tipo Carpco.

Los minerales fueron montados en placas para su identificación mediante un microscópio petrográfico, posteriormente se realizó el conteo de las especies minerales por el método de cordon hasta un total de 300 granos por placa Keer (1977).

### III.3. Analisis.

El analisis granulométrico consistio en obtener la media, asimetría, dispersión y kurtosis por medio del método de momentos descrito por Folk (1974).

La cuantificación del depósito consistio en identificar las especies minerales por estación. Se

TABLA I  
Grupos de minerales pesados de acuerdo a la  
susceptibilidad magnetica del separador  
CARPCO y su relacion con el separador  
Franz-Isodinamic

IMAN DE MANO	GRUPO I 0.4 AMP	GRUPO II 1.2 AMP	GRUPO III 2.5 AMP	GRUPO IV 2.5 AMP	GRUPO IV > 2.5 AMP
MAGNETITA PIRROTITA	ILMENITA GRANATE OLIVINO CROMITA CLORITOIDE	HORBLENDA HIPERSTENA AUGITA ACTINOLITA ESTAUROLIT EPIDOTA BIOTITA TURMALINA (OBSCURA)	DIOPSIDO TREMOLITA ENSTATITA ESPINELA ESTAUROLIT (TRNSP.) MOSCOVITA ZOISITA TURMALINA (TRANSP.)	ESFENA LEUCOCENO APATITA ANDALUCITA MONAZITA YENOTIMA	ZIRCON RUTILO ANATASA BROOKITA PIRITA CORINDON TOPACIO FLUORITA CIANITA  SILEMANITA ANHIDRITA

considero el 100% a las especies de minerales pesados totales y se obtuvo el porcentaje relativo para cada especie mineral, estos datos se extrapolaron a porcentajes reales de minerales pesados existentes en el depósito, obteniendo los porcentajes de cada especie mineral con su respectivo tonelaje, partiendo de la información obtenida por Barajas (1986) del orden 5.5 millones de toneladas de reservas probadas en el depósito.

#### IV. RESULTADOS

La figura 3, muestra dos gráficas, la gráfica A, expone el porcentaje real de minerales pesados por estación, teniendo altos porcentaje de minerales pesados en las estaciones 2, 12, 15, 17 y 27, teniendo el mayor porcentaje en la estación 15 la cual corresponde a la desembocadura principal del arroyo. La gráfica B, presenta la ley mineral del depósito por especie mineral, teniendo a las especies minerales económicamente importantes con un porcentaje para la ilmenita de 4.6 %, magnetita 3.34 % y circón 1.08 %.

La figura 4, muestra para la gráfica A, el porcentaje real de minerales pesados por estación para la fracción 3.5  $\phi$ , notandose claramente el dominio de los minerales pesados en ésta fracción. La gráfica B, representa la ley del mineral dentro del depósito por especie mineral, resaltando el predominio de la magnetita y el anfíbol en esta fracción.

La figura 5, muestra una gráfica en la cual se representa el porcentaje de las especies que corresponden a la fracción de 3.5  $\phi$ , notando que

que guardan un porcentaje considerable las especies minerales de ilmenita (1.34 %), magnetita (3.13 %) y circón (0.31%), los cuales son de mayor importancia económica en el depósito.

La tabla II muestra las leyes minerales y tonelaje por especie mineral para la fracción 3.5  $\phi$  y depósito en bruto, teniendo para ilmenita aproximadamente 250 000 ton., magnetita 183 000 ton. y circón 60 000 ton.

La tabla III, representa los resultados del análisis granulométrico, obteniendo la media en intervalos de 1.9  $\phi$  a 2.8  $\phi$ , asimetría hacia los finos, dispersión de bien a moderadamente bien clasificados y kurtosis de mesocurtica a platicurtica.

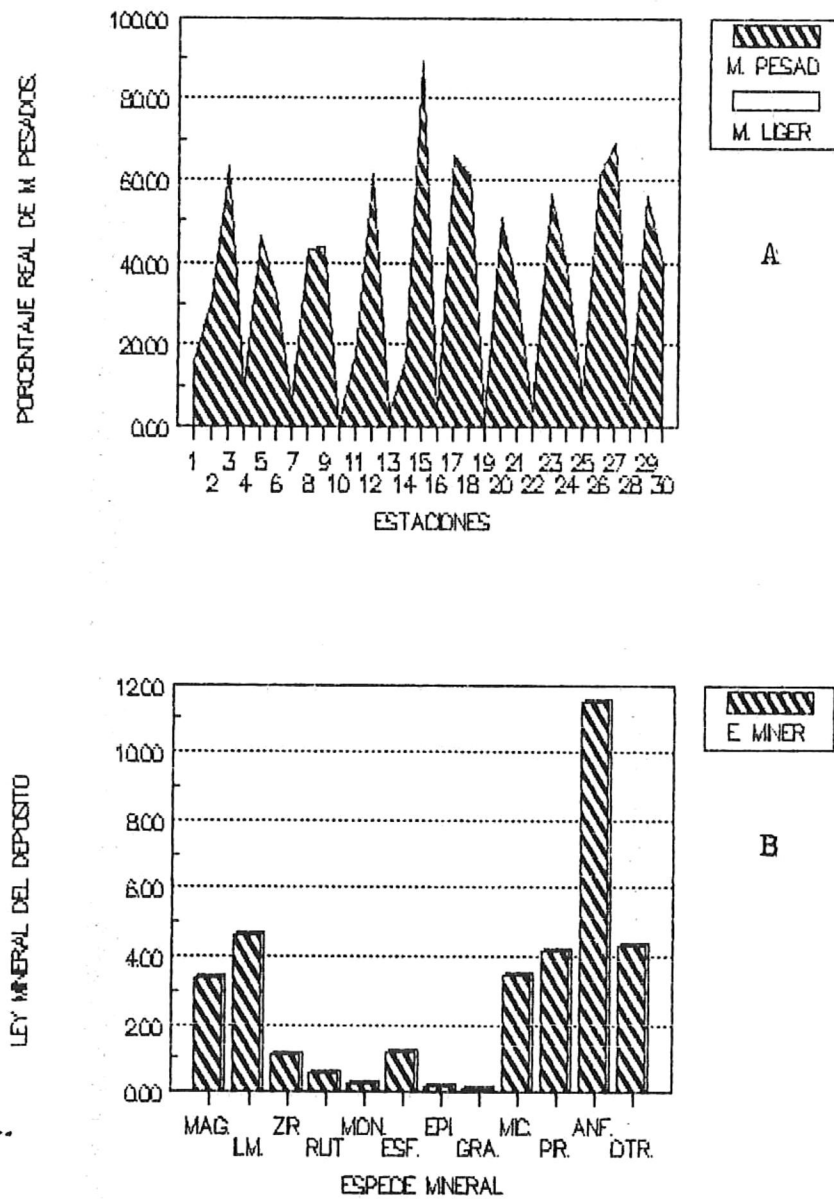


FIGURA 3. A) grafica de porcentaje real de minerales pesados por estacion.  
 B) grafica de ley mineral por especie mineral.

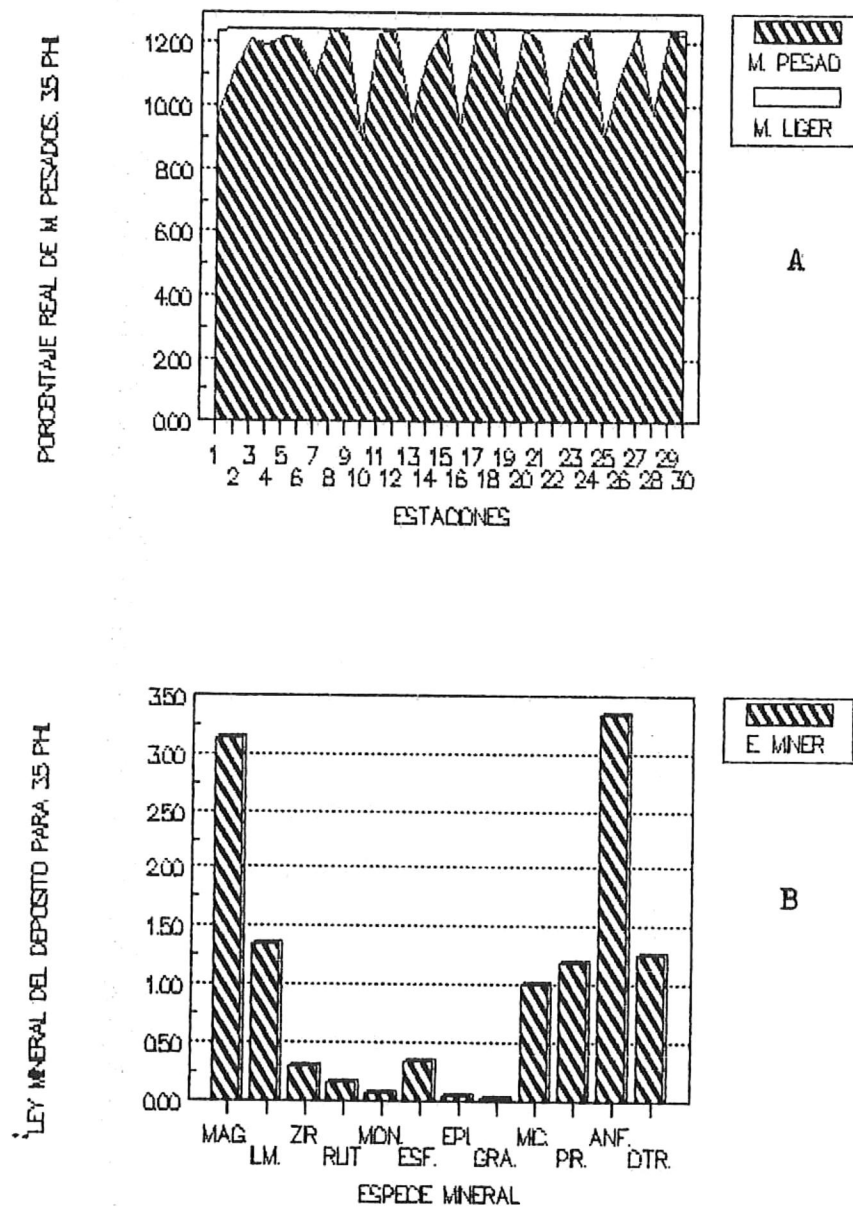


FIGURA 4. A) grafica del porcentaje real de minerales pesados de 3.5 phi por estacion.  
 B) grafica de ley mineral por especie mineral para la fraccion 3.5 phi.

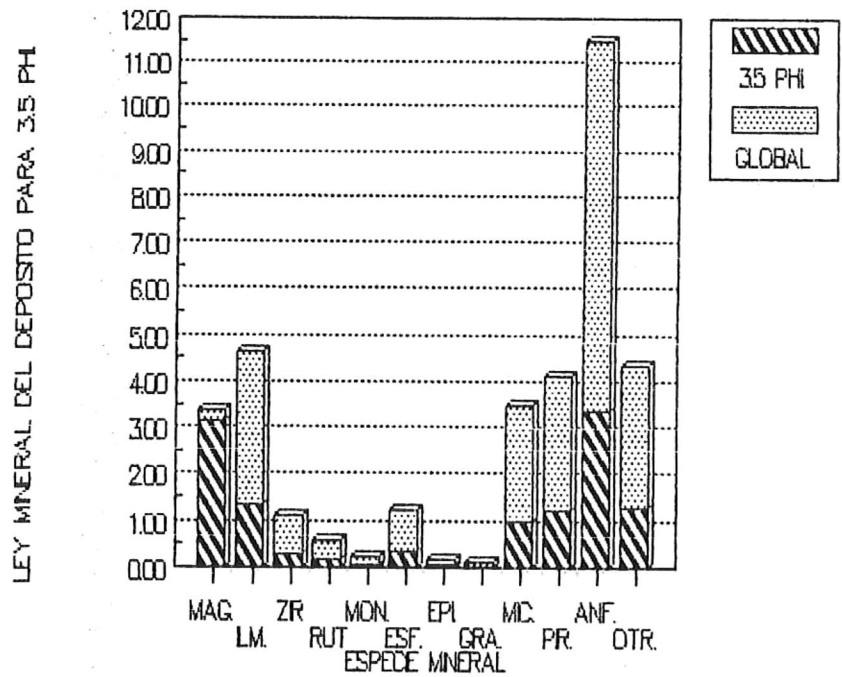


FIGURA 5. grafica de ley mineral por especie para minerales pesados totales y fraccion 3.5 phi.

TABLA II  
 LEY MINERAL Y TONELAJE PARA EL DEPOSITO GLOBAL  
 Y FRACCION 3.5 PHI. EN LA PLAYA SAN ANTONIO  
 DEL MAR, B.C., MEXICO.

ESPECIE MINERAL	LEY GLOBAL %	LEY 3.5 PHI %	TONELADAS GLOBALES (EN MILES)	TONELADAS PARA 3.5 PHI. (EN MILES)
ANFIBOL	11.47	3.34	634,365.32	184,700.00
PIROXENO	4.129	1.20	228,360.45	66,340.22
MICAS	3.491	1.01	193,074.92	55,836.35
EPIDOTA	0.187	0.05	10,452.92	3,261.72
ESFENA	1.204	0.35	66,589.00	19,349.23
GRANATE	0.087	0.02	4,881.66	1,437.37
MONAZITA	0.231	0.06	12,775.79	3,703.99
RUTILO	0.556	0.16	30,750.40	8,845.36
ZIRCON	1.085	0.31	60,007.53	17,137.89
ILMENITA	4.608	1.34	254,852.25	55,283.52
MAGNETITA	3.340	3.13	183,700.00	173,037.42
OTROS	4.323	1.26	239,089.91	69,657.23
TOTALES	34.71	12.25	1,918,891.10	657,626.30

TABLA III. resultados de analisis granulometrico.

ESTACION	DISPERSION		ASIMETRIA		KURTOSIS		MEDIA
P-1	0.482	MBC	0.221	CS	3.158	M	2.444
P-4	0.508	MBC	0.300	CS	3.241	M	2.311
P-7	0.477	BC	0.377	CS	3.742	M	2.361
P-10	0.610	MBC	0.813	AP	3.322	M	2.016
P-13	0.553	MBC	0.227	CS	2.689	P	2.153
P-16	0.519	MBC	0.519	AP	3.488	M	1.956
P-19	0.516	MBC	0.828	AP	3.662	M	1.884
P-22	0.506	MBC	0.662	AP	3.267	M	2.059
P-25	0.537	MBC	0.450	AP	2.898	P	2.173
P-28	0.511	MBC	0.239	CS	2.672	P	2.228
B-2	0.451	BC	0.480	CS	3.978	M	2.576
B-5	0.484	BC	0.262	CS	3.235	M	2.519
B-8	0.559	MBC	0.532	AP	2.787	M	2.205
B-11	0.483	MBC	0.420	CS	3.234	M	2.346
B-14	0.468	BC	0.628	AP	3.458	P	2.116
B-17	0.553	MBC	0.259	CS	2.629	P	2.313
B-20	0.442	BC	0.486	CS	3.551	M	2.326
B-23	0.459	BC	0.416	CS	3.429	M	2.384
B-28	0.466	MBC	0.491	CS	3.074	M	2.336
B-29	0.478	BC	0.417	CS	3.139	P	2.269
D-3	0.512	MBC	0.133	CS	2.976	M	2.625
D-6	0.546	MBC	0.590	AP	3.151	P	2.217
D-9	0.471	BC	0.428	CS	3.528	M	2.298
D-12	0.524	MBC	0.292	CS	2.720	M	2.422
D-15	0.523	MBC	-0.731	AN	3.200	M	2.800
D-18	0.491	BC	0.295	CS	3.158	M	2.537
D-21	0.520	MBC	0.441	AP	3.047	P	2.273
D-24	0.574	MBC	-0.099	CS	2.330	P	2.444
D-27	0.463	BC	0.192	CS	3.059	M	2.547
D-30	0.452	BC	0.237	CS	3.113	M	2.380

## V. DISCUSIONES

El porcentaje promedio de minerales pesados dentro del depósito es de 34.71 % , observandose los mayores porcentaje en las zonas de berma y duna (fig. 3), encontrando la mayor cantidad en la zona de descarga del arroyo, posiblemente sea debido a que el arroyo arrastra a su paso sedimento de la terraza, depositandolo en la playa el cual es clasificando por oleaje, viento y corrientes litorales, de esta manera aumentando el porcentaje promedio de la zona mineralizada. En la zona de terraza , Barajas (1986), reporta un porcentaje promedio de 11.8 % de minerales pesados , en una capa mineralizada de 13 m; esto probablemente sea la principal fuente de aporte al depósito. La gráfica B, representa el porcentaje real de cada especie mineral dentro del depósito. Para los minerales de mayor interés económico se observa que la ilmenita tiene una ley de 4.6 % , la magnetita 3.34 % y circón 1.085 % , estos porcentajes podrían considerarse interesantes al determinar su tonelaje en base a 5.5 millones de toneladas de reservas probadas (tabla II), pero se reportarían exelentes condiciones al extrapolar los porcentajes a 130 millones de toneladas de reservas potenciales que reporta Barajas (1986).

La figura 4, presenta dos gráficas, la gráfica A, muestra que el mayor porcentaje de minerales pesados se registra para fracción 3.5  $\phi$ , observando una distribución muy homogénea, lo cual podría dar buenas perspectivas, pues la fracción 3.5  $\phi$  es la de mayor demanda dentro del mercado internacional (Maruri, 1988). La figura B, presenta una ley aceptable para las especies minerales de ilmenita (1.34 %), magnetita (3.13 %) y circón (0.31 %), esto podría resultar muy conveniente ya que son porcentajes altos para la fracción de mayor demanda en el mercado.

La figura 5, se observa que la magnetita casi se encuentra en su totalidad en la fracción de 3.5  $\phi$ , la ilmenita y circón abarcan un muy buen porcentaje, esto se podría asumir a partir de que dentro del depósito, el porcentaje de la fracción pesada de 3.5  $\phi$  representa el 12.25 %.

La tabla II, expone la especie mineral y su respectiva ley observada para los minerales pesados totales y para la fracción 3.5 $\phi$  dentro del depósito, aquí se representa la ley de minerales pesados dentro del depósito, la cual es de 34.71 % y se consideraría

rica si se toma en cuenta los reportes que existen para los depósitos titaníferos de Australia que tienen concentraciones de ilmenita mayores al 4 % y concentraciones de minerales pesados arriba del 10 % considerándose como un depósito de alto valor (Gardner, 1955).

El contenido mínimo de óxido de titanio en la ilmenita de Australia para su comercialización es del 54 % y para el circón es del 65 % de circonio. Estos porcentajes se pueden comparar con el contenido promedio que reporta Barajas (1986) para la ilmenita de San Antonio del Mar, que contiene 51.3 % de óxido de titanio, el circonio se presenta en un porcentaje bajo para ser considerado importante en el circón, y la magnetita existente en la zona, es una especie con bajo porcentaje de óxido de titanio. Comparando se podría considerar al depósito como de baja ley en contenido de óxido de titanio y circonio, pero de muy alto tonelaje, ya que se reportan 5.5 millones de toneladas para la zona de estudio, y aproximadamente 130 millones de toneladas como reservas probables que corresponde a las terrazas marinas (Barajas, 1986).

En Australia se esta produciendo rutilo sintético que emplea 180 000 toneladas de ilmenita con 59 % de titanio para producir 100 000 toneladas de rutilo sintético con 92 % de titanio el cual es empleado en la producción de pigmento de titanio. A pesar de que el contenido es ligeramente menor en las ilmenitas de San Antonio del Mar (51.35 %), el elevado tonelaje, las áreas potenciales favorables y la posibilidad de producir rutilo sintético, sería factible la explotación de las arenas negras.

La tabla III, representa el analisis granulométrico, apreciando que los sedimentos de duna, berma y playa son muy similares en cuanto a su media promedio, presentandose una disminucion del tamaño de grano hacia la duna. La dispersión representa la medida de clasificación del sedimento (Folk, 1974); los sedimentos de playa son moderadamente bien clasificados, mientras que hacia las dunas son de moderadamente bien clasificados a bien clasificados, esto indica que el viento y el oleaje actúan seleccionando los diferentes medios ambientes; el oleaje influyendo sobre la playa y el viento sobre la berma y duna, clasificando y

transportando los granos. La asimetría indica el sesgo del sedimento, ya sea, hacia el material grueso o fino; los sedimentos de la playa, berma y duna tienden a ser asimétricos hacia los finos. Las muestras 15 y 24 presentan asimetría negativa, posiblemente debido a que se encuentran en la desembocadura del arroyo "La Calentura" (Fig. 2), en el cual el sedimento presenta fragmentos de conchas y gravas que son depositados ahí como descarga del arroyo. Se podría suponer que el origen de las arenas negras, se debe principalmente al arroyo que desemboca en el área durante la época de lluvias, el cual a su paso va erosionando la terraza marina; a las corrientes litorales que fluyen paralelas a la costa y acumulan arena en la cara de la playa, debido al entrampamiento que representan los acantilados para el sedimento.

El origen del depósito de arenas negras es una consecuencia de las terrazas marinas adyacentes a la costa. Estas terrazas representan un paleodepósito originado por procesos regresivos.

## VI. CONCLUSIONES

1) La mayor concentración de minerales pesados se localiza en la zona de berma y duna. Teniendo un porcentaje de minerales pesados del 34.71 % con ley de 4.608 % de ilmenita, magnetita 3.34 % y circón 1.085 %.

2) El 12.25 % de minerales pesados en el depósito corresponde a la fracción 3.5  $\phi$ , tamaño de mayor demanda en el mercado mundial.

3) El depósito de arenas negras es de baja ley en contenido de óxido de titanio, y circonio, pero de muy alto tonelaje lo que da buenas perspectivas para su extracción.

4) Dado que es posible la producción de rutilo sintético a partir de la ilmenita, las arenas de San Antonio del Mar pueden constituir un atractivo económico.

5) El origen de las arenas negras de la playa San Antonio del Mar es debido a la erosión que ejerce el arroyo "La Calentura" sobre la terraza marina; al transporte litoral y los acantilados limitantes, que en conjunto con el oleaje y el viento transportan, clasifican y depositan el sedimento en la zona.

## VII. LITERATURA CITADA

BACA-CHACON, C., 1981. Procedencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, B.C., Tesis Prof. U.A.B.C., 50p.

BARAJAS, M.A., 1986. Informe de análisis químicos de los elementos de San Antonio del Mar, B.C.. Informe técnico, C.R.M.

BEUTELSPACHER, S., 1977. Algunos comentarios sobre yacimientos de arenas negras de San Antonio del Mar, B.C. México. Informe técnico, C.R.M.

BOSE, E. Y E. WITTICH, 1913. Informe relativo a la exploración de la región norte de la costa nor-occidental de la Baja California. Instituto Geológico de México. Parergones IV. 307-511p

DA SILVA, M.A., 1978. Provenance of heavy minerals in beach sands, southeastern Brazil; from Rio Grande To Chui. Sedimentary Geology Vol. 24. 133-148p.

ENGINEERING AND MINNING JOURNAL, 1987a. Publicación mensual de Mc Graw-Hill Co. 188 (2).

ENGINEERING AND MINNING JOURNAL, 1987b. Publicación mensual de Mc Graw-Hil Co. 188 (11): 44-47p.

FOLK, R.L., 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Pub. Co. Austin, Texas. 182p.

GARDNER, D.E., 1955. Beach-sand heavy mineral deposits of eastern Australia. Bureau of mineral resource, Geology and Geophysics. Commonwealth of Australia. No. 28.

KEER, P., 1977. Optical Mineralogy. N.Y., Mc Graw-Hill.

MARURI, A., 1988, Estudio de ambientes sedimentarios del área de San Antonio del Mar, Baja California, México. Tesis prof. Fac. de Ing. U.N.A.M.

MCDONALD, E.H., 1973. Manual of Beach Mining Practice. In: exploration and evaluation. Edit. Camberra.

NAVARRO-PALACIOS, R.A., 1985. Procedencia de minerales pesados en arroyos y playas del litoral de Punta Cono a Punta San Carlos en la costa NW de B.C. Tesis Prof. U.A.B.C., 52p.

PARK, CH. Y R. MACDIARMID, 1975. Ore Deposits. W.H. Freeman Co., San Francisco. 530p.

ROYSE, CH., 1970. Introduction To The Sediment Analysis. Arizona University. 180p.

SAENZ, R., 1971. Breve análisis de los recursos minerales de salmueras y arenas negras de playas de Guerrero Negro y San Antonio del Mar, B.C. Tesis Prof. I.P.N.

SANTILLAN, M. Y T. BARRERA, 1930. Las posibilidades petrolíferas en la costa occidental de la Baja California, entre los paralelos 30° y 32° de latitud norte, México. Anales del Ins. de Geología. 5:1-37p.

SHEPARD, P.F., 1973. Submarine Geology. Harper and Row Pub., N.Y., 517p.

WITTICH, E., 1909. Contribución a la Geología de la región meridional de la Baja California. Soc. Geol. Mex., Vol. IV, 5-14p.