

**UTILIZACION DE LOS MINERALES PESADOS COMO
INDICADORES DEL MOVIMIENTO DE LOS SEDIMENTOS ENTRE
PUNTA LOS BUENOS Y PLAYAS DE ROSARITO, BC, MEXICO.**

**USING HEAVY MINERALS AS
TRACERS OF THE SEDIMENT MOVEMENT BETWEEN
PUNTA LOS BUENOS AND PLAYAS DE ROSARITO, BC, MEXICO**

Amílcar Leví Cupul Magaña
Roberto Pérez Higuera
Alfredo Chee Barragán

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, BC, México

Cupul Magaña Amílcar Leví, Pérez Higuera, R. y Chee Barragán, A. Utilización de los minerales pesados como indicadores del movimiento de los sedimentos entre Punta Los Buenos y Playas de Rosarito, BC, México. Using Heavy Minerals as Tracers of the Sediment Movement between Punta Los Buenos and Playas de Rosarito, BC, Mexico. *Ciencias Marinas* 13(4):97-109, 1987.

RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio de la composición mineralógica de las playas localizadas entre Punta Los Buenos y Rosarito, BC, México y se separaron minerales ligeros y pesados con el objetivo de utilizar éstos últimos como indicadores de proveniencia y para determinar la dirección del transporte litoral paralelo a la costa.

Se identificaron un total de 23 especies de minerales pesados. Los más abundantes fueron la hornblenda y los minerales opacos (principalmente magnetita). Los mejores trazadores naturales del movimiento de arena en la zona de estudio resultaron monacita y zircón.

Se determinó que para la época de muestreo la dirección predominante del transporte de sedimentos es hacia el sur, y que la mayoría de los minerales provienen de las rocas sedimentarias locales (Formación Rosario) que son aportados a las playas por los arroyos.

ABSTRACT

A study of the mineralogic composition of the beaches located between Punta Los Buenos and Rosarito, BC, Mexico, was carried out, separating light minerals from heavy minerals to use the latter as tracers of origin and to determine the direction of the movement of the littoral transport parallel to the coast.

A total of 23 species of heavy minerals were identified, being hornblende and opaque minerals (magnetite mainly) the most abundant. The best natural tracers of sand movement in the study area were monazite and zircon.

It was determined that for the time of the sampling, the predominant direction of the sediments transport is southward, and that most of the minerals come from the local sedimentary rocks (Rosario Formation) which are supplied by streams to the beaches.

INTRODUCCION

El movimiento de sedimentos a lo largo de la playa es causado principalmente por la acción de las corrientes litorales, generadas por el rompimiento de las olas al aproximarse con un ángulo respecto a la playa.

Ciertos minerales reflejan el área fuente y son usados como trazadores naturales para delinear la dirección de transporte de arena en las playas, ya sea por variaciones en la concentración de todo el conjunto de minerales pesados o por la variación en la concentración de un solo mineral (Trask, 1951; Neiheisel, 1965; Judge, 1970; Sunamura y Horikawa, 1971; Wilde y Case, 1977).

La región costera de Rosarito, BC, es una zona importante debido a la infraestructura hotelera y a la presencia de la Central Termoeléctrica Tijuana, la cual genera electricidad para abastecer al Estado de Baja California. El conocimiento del transporte litoral en esta zona permitirá planear las actividades y estructuras futuras para un mejor aprovechamiento de la costa.

El objetivo de este trabajo es determinar la dirección predominante del transporte litoral paralelo a la costa, utilizando minerales pesados como indicadores del movimiento de los sedimentos entre Punta Los Buenos y Rosarito, BC, e inferir las posibles fuentes de aporte de sedimento a la zona.

Descripción del área de estudio

El área de estudio está situada en la costa noroeste del Estado de Baja California, entre Punta Los Buenos y Playas de Rosarito, con una extensión aproximada de 18km, entre los 32°20' y 32°30' de latitud N y 117°04' y 117°10' de longitud W.

Morfología Costera:

La costa es una alternancia de acantilados y playas; la altura de los cantiles varía entre los 5m y 15m, existen algunas puntas

INTRODUCTION

The sediment movement along the beach is caused mainly by the littoral currents, generated by the wave breaking when approaching a certain angle with respect to the beach.

Certain minerals reflect the source area and are used as natural tracers to outline the transport direction of sand in the beaches, either by the variations in the concentration of all the heavy minerals or of only one mineral (Trask, 1951; Neiheisel, 1965; Judge, 1970; Sunamura and Horikawa, 1971; Wilde and Case, 1977).

The coastal region of Rosarito, BC, is an important area because of its hotel industry infrastructure and of the presence of the Central Termoeléctrica Tijuana (thermal power station), which supplies electricity to the State of Baja California. Understanding the littoral transport in this area will allow to plan future activities and structures and use the coast to its greatest advantage.

The objective of this study is to determine the predominant direction of the littoral transport parallel to the coast, using heavy minerals as tracers of the sediment movement between Punta Los Buenos and Rosarito, BC, and to infer the possible supplying source of sediment to the zone.

Description of the Study Area

The study area is located in the northwestern coast of the State of Baja California, between Punta Los Buenos and Playas de Rosarito, with an approximate extension of 18km, between the 32° 20' and 32° 30' North latitude and 117° 04' and 117° 10' West longitude.

Coastal Morphology:

The coast is an alternation of cliffs and beaches; the cliffs height varies from 5m to 15m; it has some rocky ends such as Punta

rocosas como Punta Bandera y Punta Los Buenos, constituidas de basalto.

La zona de Punta Los Buenos a Santa Mónica del Sur se compone en su mayor parte por cantiles entre los 5 y 15 metros de altura, y con alternancia de playas de bolsillo cuyo sedimento va desde arenas finas hasta cantos rodados. Las playas generalmente son muy cortas en amplitud y longitud.

Desde Santa Mónica del Sur hasta Tío Sam se constituye principalmente por playas tendidas y arenosas, que alcanzan hasta 8km de longitud, con tamaño de grano fino y ausencia de cantiles. A partir de la última localidad, afloran nuevamente los cantiles con alternancia de playas de bolsillo hasta llegar a la desembocadura del arroyo El Morro (Figura 1).

Los arroyos principales que desembocan en esta zona son Arroyo San Antonio de Los Buenos, Arroyo Seco y Arroyo Rosarito los cuales tienen aporte significativo de sedimento sólo en las épocas de lluvia.

MATERIALES Y METODOS

La colecta de muestras se realizó en el mes de agosto de 1985, a intervalos entre una estación y otra de 250m a 1,500m. Se colectaron un total de 21 muestras de la cara de la playa y tres de arroyos.

Las muestras fueron colectadas con un nucleador de mano tomando aproximadamente 300g de arena a 5cm de profundidad.

En el laboratorio se les eliminaron sales solubles y materia orgánica con agua destilada y peróxido de hidrógeno respectivamente. La separación granulométrica se realizó con una serie de tamices US Standard a intervalos de 0.5 ϕ , en un rango de 0.0 a 4.0 ϕ (Royse, 1970; Carver, 1971).

La separación de minerales pesados se llevó a cabo en las fracciones de tamaño 3.0 ϕ y 3.5 ϕ y se utilizó bromoformo (g.e. 2.89) mediante el método de Fessenden (1959). Se escogieron estas fracciones para la separación de minerales pesados debido a que en éstas se encuentra la mayor concentración (Ritten-

Bandera and Punta Los Buenos, composed of basalt. The area from Punta Los Buenos to Santa Mónica del Sur is mostly composed of cliffs from 5m to 15m high, and with an alternation of pocket beaches whose sediment is composed of fine sand to pebbles. The beaches in general are very small in width and in length.

From Santa Mónica del Sur up to Tío Sam, the coast is composed mainly of spread out and sandy beaches, reaching up to 8km length, with fine grain and absence of cliffs. From the last locality, the cliffs, with an alternation of pocket beaches, crop out again up to the outlet of El Morro stream (Fig. 1).

The main streams that flow in this area are San Antonio de Los Buenos, Arroyo Seco and Arroyo Rosarito, which obtain a significant supply of sediment only in the rainy season.

MATERIALS AND METHODS

The sampling was carried out in the month of August, 1985 at intervals, from one station to another, from 250m to 1,500m, collecting a total of 21 samples from the beach face and from three streams.

The samples were collected with a hand core sampler, taking approximately 300g of sand at 5cm depth.

In the laboratory, soluble salts and organic matter were removed with distilled water and hydrogen-peroxide respectively, the granulometric separation was done with a series of sieves US Standard at intervals of 0.5 ϕ in a range of 0.0 ϕ to 4.0 ϕ (Royse, 1970; Carver, 1971).

The heavy minerals separation was carried out in fractions of 3.0 ϕ and 3.5 ϕ , using bromoform (g.e. 2.89) by the Fessenden method (1959). These fractions were chosen for the separation of heavy minerals because the greatest concentration is found in them (Rittenhouse, 1943) and because in the biggest fractions, the grains interfere with the assemblage of plates. (Krumbein and Rassmusen, 1941).

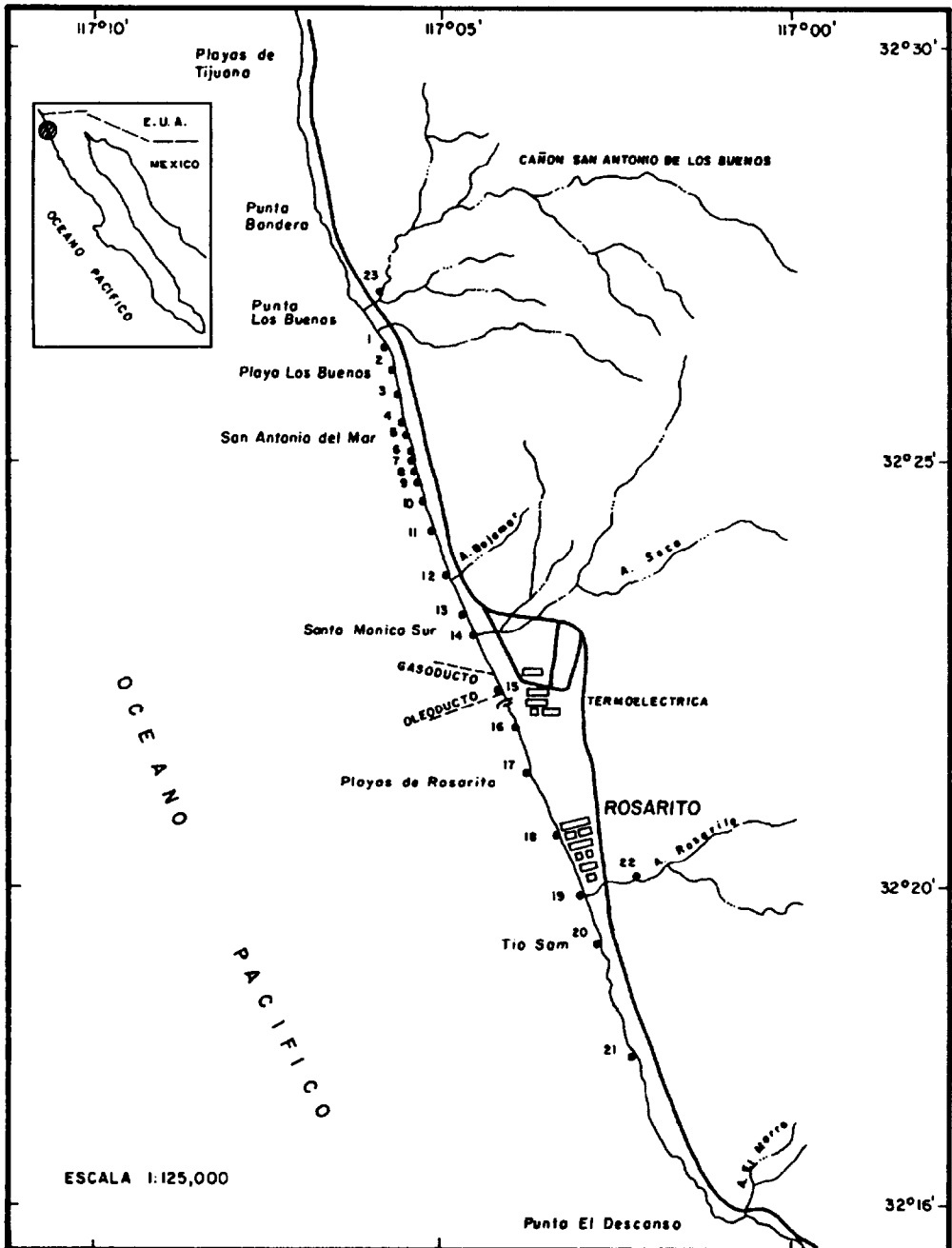


Figura 1. Localización del área de estudio y puntos de muestreo.
Figure 1. Localization of the study area and sampled stations.

house, 1943) y debido a que en las fracciones más grandes, los granos interfieren con el montaje de placas. (Krumbein y Rasmussen, 1941).

Los minerales pesados fueron montados en placas utilizando un medio con índice de refracción conocido (histoclad, $n=1.54$), y se obtuvo en total 48 placas en las cuales se identificaron los minerales presentes mediante un microscopio petrográfico.

El conteo se realizó mediante el método de línea (Ramesan, V., 1966), se contaron en promedio 330 granos por placa en cada una de las fracciones de acuerdo con lo propuesto por Dryden (1931).

El procesamiento de los datos se realizó con rutinas estadísticas y de graficado en una microcomputadora.

RESULTADOS

En las tablas I y II se muestran los porcentajes relativos de minerales pesados obtenidos de los conteos realizados para las muestras de playa en las fracciones de tamaño 3.0 ϕ y 3.5 ϕ respectivamente.

En la fracción 3.0 ϕ (Tabla I) el mineral más abundante es la hornblenda, seguido por los minerales opacos (principalmente magnetita), moscovita, monacita, esfena, epidota y zircón.

En la fracción 3.5 ϕ (Tabla II) de nuevo el mineral más abundante es la hornblenda, seguida por los minerales opacos, moscovita, monacita, esfena y zircón.

Se compararon todos los minerales presentes en la fracción 3.0 ϕ graficando los porcentajes de cada uno de ellos contra las distancia y únicamente la monacita mostró una tendencia definida de dilución (figura 2) los demás minerales presentaron un comportamiento casi homogéneo a lo largo de la playa.

En la fracción 3.5 ϕ la monacita mostró la misma tendencia que en la fracción anterior y además el zircón presentó comportamiento similar a la monacita en esta fracción (Figuras 3 y 4).

The heavy metals were assembled in plates using a known refraction index (histoclad, $n=1.54$), obtaining a total of 48 plates in which the heavy minerals were identified using a petrographic microscope.

The counting was carried out by the line method (Ramesan, V., 1966), an average of 330 grains were counted by plate in each of the fractions as suggested by Dryden (1931).

The data processing was carried out with statistical and graphical routines in a microcomputer.

RESULTS

In Tables I and II, the relative percentages of heavy minerals are shown, obtained from the countings carried out for the beach samples in the size fractions of 3.0 ϕ and 3.5 ϕ respectively.

In the 3.0 ϕ fraction (Table I) the most abundant mineral is hornblende, followed by opaque minerals (mainly magnetite), moscovite, monazite, sphene, epidote and zircon.

In the 3.5 ϕ fraction (Table II) again the most abundant mineral was hornblende, followed by opaque minerals, moscovite, monazite, sphene and zircon.

All the present minerals in the 3.0 ϕ fraction were compared, plotting the percentages of each with the distances, and only the monazite showed a defined tendency of dissolution (Figure 2), other minerals showed an almost homogeneous behavior along the beach.

In the 3.5 ϕ fraction, the monazite showed the same tendency as in the previous fraction, and zircon showed a similar behavior to the monazite in this fraction as well (Figs. 3 and 4).

DISCUSSION

The mineralogic composition of beaches as well as of streams depends on the class, quantity and size of the minerals in the rock of origin, which are disintegrated as they are transported and chemically decomposed (Pet-tijohn, 1941).

Tabla I. Porcentajes relativos de minerales pesados obtenidos de los conteos (Fracción 3.0 ϕ).
Table I. Relative percentages of heavy minerals obtained from the countings (Fraction 3.0 ϕ).

Estación	Hornblenda	Opacos	Moscovita	Monacita	Zircón	Esfena	Epidota
1	88.27	4.98	3.98	0.66	0.33	0.00	0.33
2	87.41	3.22	3.22	0.96	0.00	1.61	0.64
3	89.18	2.40	0.60	0.90	0.30	2.40	0.90
4	82.51	4.60	2.45	0.00	0.31	1.22	1.22
5	84.88	1.14	4.28	2.28	0.00	2.28	0.28
6	77.57	6.66	7.57	3.33	0.00	0.00	0.90
7	87.57	0.90	3.63	2.42	0.00	2.12	0.00
8	76.87	5.10	9.30	4.50	0.00	0.30	0.90
9	82.05	0.00	6.86	3.28	0.00	1.79	0.59
10	80.90	5.15	4.24	1.81	0.30	0.90	1.51
11	86.40	0.00	5.74	1.51	0.00	0.30	0.60
12	84.33	1.80	6.28	4.21	0.00	0.30	0.00
13	84.24	0.90	5.45	0.90	0.00	4.24	0.30
14	61.98	21.72	1.27	10.22	0.34	0.31	0.00
15	80.60	0.90	5.45	1.51	0.00	3.93	0.60
16	87.57	0.00	3.93	0.30	0.00	3.63	0.60
17	87.87	0.60	3.33	2.72	0.00	2.72	0.30
18	88.18	0.60	2.12	0.90	0.30	2.72	1.21
19	78.18	2.54	4.53	9.34	0.28	0.84	0.28
20	87.27	0.90	5.45	0.30	0.00	3.63	0.60
21	85.49	1.81	5.43	2.41	0.00	1.51	0.60

Tabla II. Porcentajes relativos de minerales pesados obtenidos de los conteos (Fracción 3.5 ϕ).
Table II. Relative percentages of heavy minerals obtained from the countings (Fraction 3.5 ϕ).

Estación	Hornblenda	Opacos	Moscovita	Monacita	Zircón	Esfena	Epidota
1	73.05	16.23	5.84	0.64	0.32	1.62	0.97
2	36.66	53.33	2.12	3.03	2.12	0.30	0.30
3	72.42	16.06	5.15	1.21	0.90	0.90	0.30
4	34.31	46.15	2.95	7.39	3.55	0.00	0.29
5	84.19	0.60	3.64	1.21	0.00	1.82	0.91
6	8.45	82.47	1.20	0.60	4.83	0.00	0.00
7	46.36	40.60	3.30	1.81	0.90	2.72	0.30
8	14.70	73.82	4.41	1.47	2.64	0.58	0.00
9	64.02	22.11	3.30	3.63	0.66	1.32	0.99
0	19.46	71.85	1.49	0.89	4.79	0.00	0.00
1	59.69	23.93	9.09	1.21	1.21	1.21	0.60
2	30.23	54.49	1.79	2.39	2.69	5.08	0.60
3	48.33	33.02	6.34	0.60	1.20	9.06	0.30
4	13.20	67.97	0.84	7.86	6.46	1.40	0.00
5	46.06	38.78	5.15	2.12	1.81	3.33	0.00
6	69.69	10.30	6.66	1.81	0.60	6.06	1.21
7	62.95	16.26	6.92	1.80	0.30	8.43	0.90
8	72.12	13.03	4.54	0.90	0.30	6.66	0.90
9	45.16	35.21	1.88	0.75	1.61	0.53	0.80
0	46.42	29.76	7.14	4.16	2.97	5.05	1.19
1	71.68	10.54	5.12	1.80	0.30	6.62	0.60

DISCUSION

La composición mineralógica tanto de playas como de arroyos, depende de la clase, cantidad y tamaño de los minerales en la roca de origen, los cuales son disgregados conforme actúan el transporte y la descomposición química (Pettijohn, 1941).

Las proporciones de minerales pesados en las muestras de playa para ambas fracciones se mantienen más o menos constantes. En casi todas predomina la hornblenda, principalmente en la fracción 3.0 ϕ (Tabla I). En la fracción 3.5 ϕ (Tabla II), hay una mayor abundancia de los demás minerales, principalmente los opacos, que fueron los más abundantes en las muestras 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14. Este aumento puede deberse a que dichos minerales estén entrando al sistema de playa en los tamaños menores y se reflejen en los porcentajes de abundancia; además la hornblenda se encuentra presente en los tamaños mayores. Esto se observó al revisar el contenido mineralógico de las muestras en todas las fracciones de tamaños.

En las muestras de arroyos se observan variaciones en las proporciones mineralógicas, con una disminución notable en los porcentajes de hornblenda y un aumento en opacos, moscovita, monacita y zircón. Analizando lo anterior es evidente que las concentraciones del mineral más abundante que es la hornblenda, disminuyen en los arroyos y se incrementa la abundancia principalmente de opacos, monacita y zircón con lo que se puede establecer que al menos estos minerales puedan provenir de la misma fuente y sean aportados por los arroyos en las épocas de lluvias. De aquí se puede pensar que la asociación mineralógica de las playas esté representada por Hornblenda-opacos-moscovita-monacita, con hornblenda como el constituyente principal.

El hecho de analizar únicamente las fracciones 3.0 ϕ y 3.5 ϕ para determinar la dirección de transporte de sedimento, considerando una fuente definida que suministra el material a la playa, puede llevar a los siguientes casos:

The proportions of heavy minerals in the beach samples for both fractions are more or less constant. In most of them the hornblende prevails; mainly in the 3.0 ϕ fraction (Table I). In the 3.5 ϕ fraction there is a greater abundance of other minerals, mainly the opaques, being the most abundant in the samples 2, 4, 6, 8, 10, 12 and 14. This increase may be due to the fact that those minerals are getting into the beach system in smaller sizes and are reflected in the abundance percentages; moreover, the hornblende is found in the bigger size fraction. This was observed when checking the mineralogic content of the samples in all the fractions size.

In the streams samples, variations in the mineralogic proportions are observed, with a remarkable decrease in the percentages of hornblende and an increase in opaques, moscovite, monazite and zircon. Analyzing the mentioned facts, it appears that the concentrations of the most abundant mineral, which is the hornblende, decrease in the streams and the abundance of mainly the opaques, monazite and zircon increase. Thus, it can be established that at least these minerals might come from the same source and are supplied by the streams in the rainy seasons. It is possible to think that the mineralogic association of the beaches is represented by hornblende - opaques - moscovite - monazite, with hornblende as the main constituent.

Analyzing only the 3.0 ϕ and the 3.5 ϕ fractions to determine the direction of the sediment transport, and considering a defined source which supplies the material to the beach, can lead to the following cases:

Case I.- If the mineral which is going to be used as tracer gets into the beach system in a bigger size than the analyzed one, it will tend to increase the concentration as it gets further from the source area in direction of the littoral transport.

Case II.- If the trace mineral gets into the beach system in the same size as the analyzed one, this will tend to dissolve as it gets further from the source area in the direction of the transport.

Caso I.- Si el mineral que va a usarse como trazador entra al sistema de playa en un tamaño mayor al analizado, tenderá a aumentar la concentración conforme se aleje de la fuente en dirección del transporte litoral.

Caso II.- Si el mineral trazador entra al sistema de playa en el mismo tamaño al analizado, éste tenderá a diluirse conforme se aleje de la fuente en dirección del transporte.

Caso III.- Si el mineral trazador es aportado a la playa en todas las clases de tamaño, no es posible usar sólo una de las fracciones para determinar la dirección del transporte.

Tomando en consideración los casos mencionados para la determinación del sentido del transporte litoral, únicamente se tomaron en cuenta los minerales que cumplieron con el caso II, los cuales fueron monacita, esfena y zircón.

Case III.- If the trace mineral is supplied to the beach in all different sizes, it is not possible to use only one of the fractions to determine the direction of the transport.

Considering the cases mentioned for the determination of the direction of the littoral transport, only the minerals of the case II (monazite, sphene and zircon) were taken into account.

Analyzing Figure 2, a tendency of dissolution of the monazite was observed, from stations 14 to 20, located on the Rosarito beaches, tracing a transport to the South. As for the samples of the northern part of the area, a defined behavior is not observed. The monazite concentrations present oscillations which can be due mainly to the fact that the beach is not continuous because it is constituted by rocky ends and pocket beaches. These beaches, at any moment, can act as places of accumulation of heavy minerals hiding the behavior of the trace minerals.

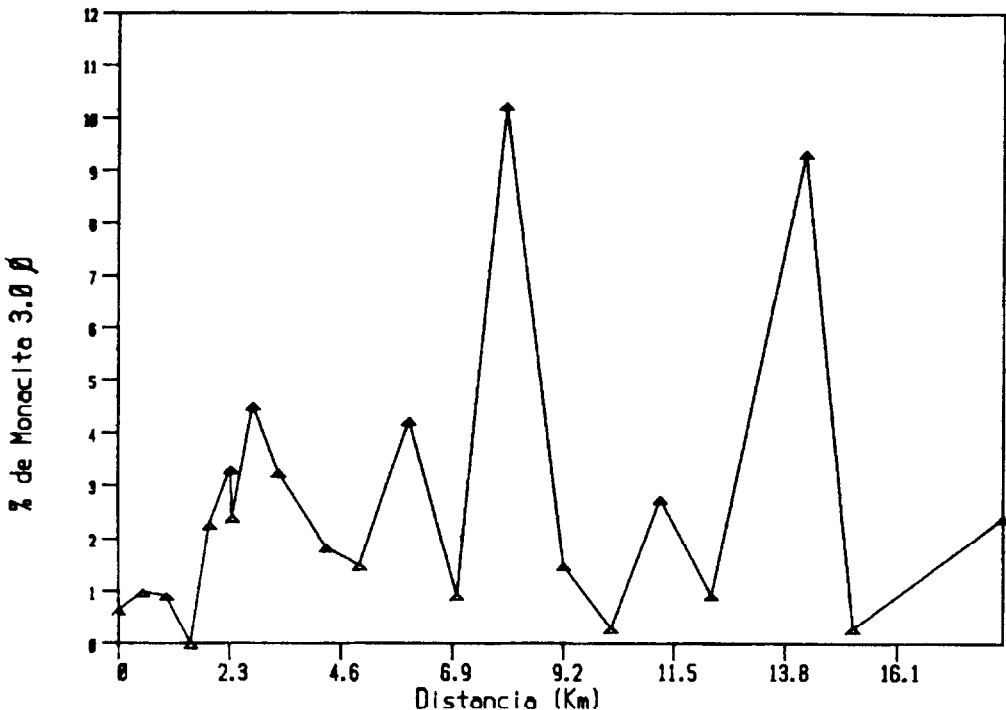


Figura 2. Distribución de monacita a lo largo de la zona de estudio (Fracción 3.0φ).
Figure 2. Distribution of monazite along the study area (Fraction 3.5φ).

Al analizar la Figura 2, se observa una tendencia de dilución de la monacita desde la estación 14 hasta la estación 20. Dichas estaciones se localizan en Playas de Rosarito y marcan un transporte hacia el sur. Para las muestras del norte del área no se observa un comportamiento definido. Las concentraciones de monacita presentan oscilaciones que pueden deberse, principalmente, a que la playa no es continua ya que se encuentra formada por puntas rocosas y playas de bolsillo. En un momento dado estas playas pueden actuar como lugares de acumulación de minerales pesados y enmascarar el comportamiento de los minerales trazadores.

En la fracción 3.5 ϕ (Fig. 3) se observa una tendencia más marcada en la dilución de la monacita desde la estación 14 a la 20, marcando un transporte hacia el sur. En esta fracción el zircón (Fig. 4) muestra el mismo comportamiento que la monacita al marcar un transporte hacia el sur desde la estación 14 hasta la estación 21, y se presenta el mismo comportamiento para las muestras del norte del área que en la fracción 3.0 ϕ .

La Figura 5 muestra las gráficas de monacita y zircón para la fracción 3.5 ϕ , en la cual se observa que estos dos minerales presentan el mismo comportamiento desde la estación 14 a la 21 donde ambos marcan un transporte hacia el sur.

Las estaciones 14 y 20 corresponden a las desembocaduras de los arroyos Seco y Rosarito, respectivamente, y se observan los porcentajes más altos para monacita y zircón. Esto indica que los dos arroyos están actuando como aportadores de estos minerales. Al analizar los minerales de las muestras de esta zona se observó que el zircón está entrando al sistema de playa en los tamaños menores (3.5 - 4.0 ϕ) y la monacita en los tamaños mayores (3.0 - 3.5 ϕ).

El zircón y la monacita se encuentran redondeados y sólo algunos se presentan euhedrales. Esto nos sugiere que el zircón y la monacita redondeados son minerales que al menos tienen dos ciclos y pueden provenir de las rocas sedimentarias de la Formación Rosario cuyos afloramientos se encuentran en

In the 3.5 ϕ fraction (Figure 3) a more noticeable tendency in the dissolution of the monazite is observed, from stations 14 to 20, tracing a transport southward. In this fraction, the zircon (Figure 4) shows the same behavior as in the monazite when tracing a transport southward from the stations 14 to 21, and the same behavior is presented for the samples of the northern area as those of the 3.0 ϕ fraction.

Figure 5 shows the graphs of monazite and zircon for the 3.5 ϕ fraction, in which it is observed that these two minerals present the same behavior from stations 14 to 21, where both trace a transport southward. The stations 14 and 20 correspond to the outlets of the Arroyo Seco and Rosarito streams respectively, and higher percentages are observed for the monazite and zircon, showing that both streams are acting as suppliers of these minerals. Analyzing the minerals of the samples of this area, it is observed that the zircon is getting into the beach system in shorter sizes (3.5-4.0 ϕ) and the monazite in larger sizes (3.0-3.5 ϕ).

The zircon and the monazite are found rounded and only in some cases they are euhedral. This suggests that the rounded zircon and monazite are minerals which have at least two cycles and might come from the sedimentary rocks from the Rosario Formation, whose outcrops are found in the eastern part of the area and are cut by the Arroyo Seco and Rosarito streams, which supply these minerals to the beaches. The euhedral zircon might come from the erosion of the cliffs and from the rocky ends, constituted mainly by basalts from the Rosarito Beach Formation and which could be transported southward by the littoral currents. Marmolejo Lara (1985) mentions that the beach in front of the thermal power station in Rosarito has a net sediment transport to the South.

The waves in the California coast come in general from the Northwest and West, in periods of 10 to 13s and causes probably a transport southward (Judge, 1970). However,

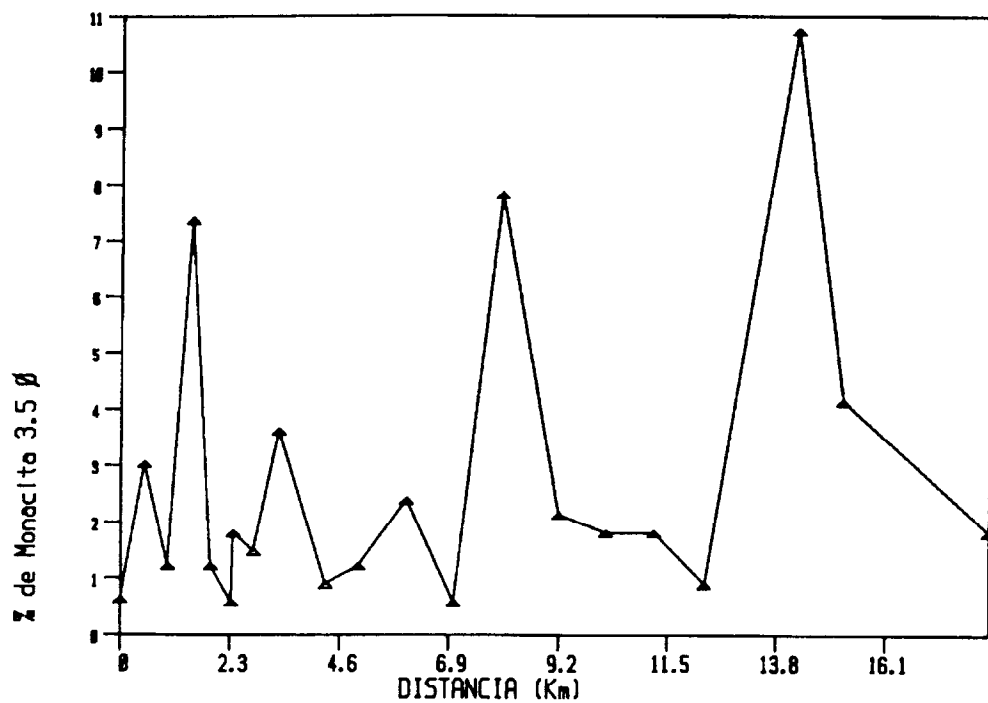


Figura 3. Distribución de monacita a lo largo de la zona de estudio (Facción 3.5φ).
 Figure 3. Distribution of monazite along the study area (Fraction 3.5φ).

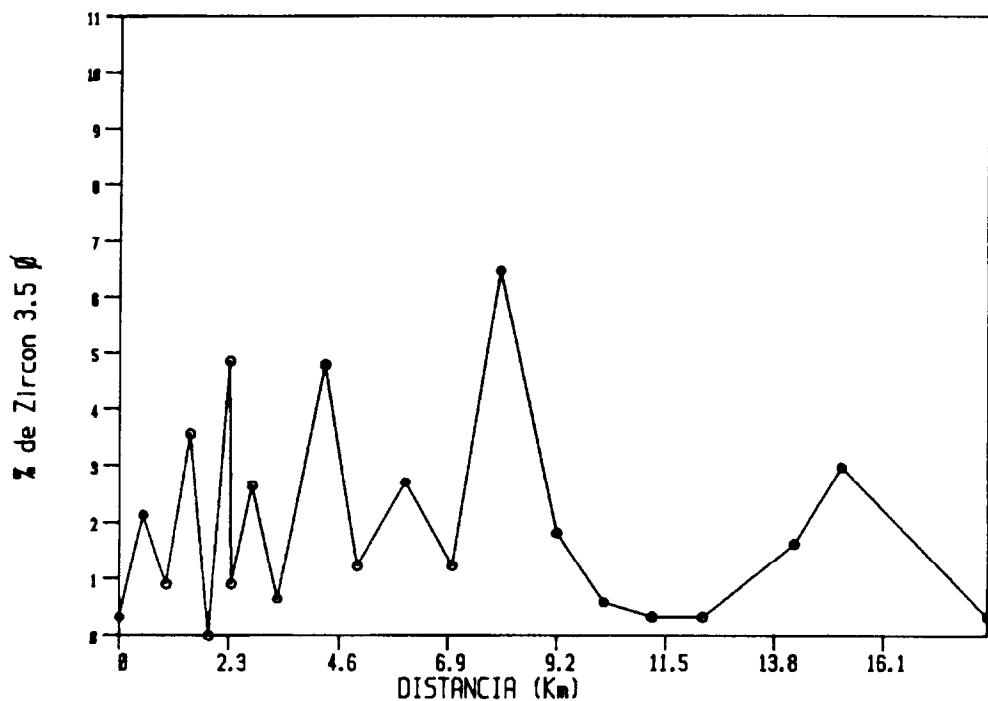


Figura 4. Distribución de zircon a lo largo de la zona de estudio (Facción 3.5φ).
 Figure 4. Distribution of zircon along the study area (Fraction 3.5φ).

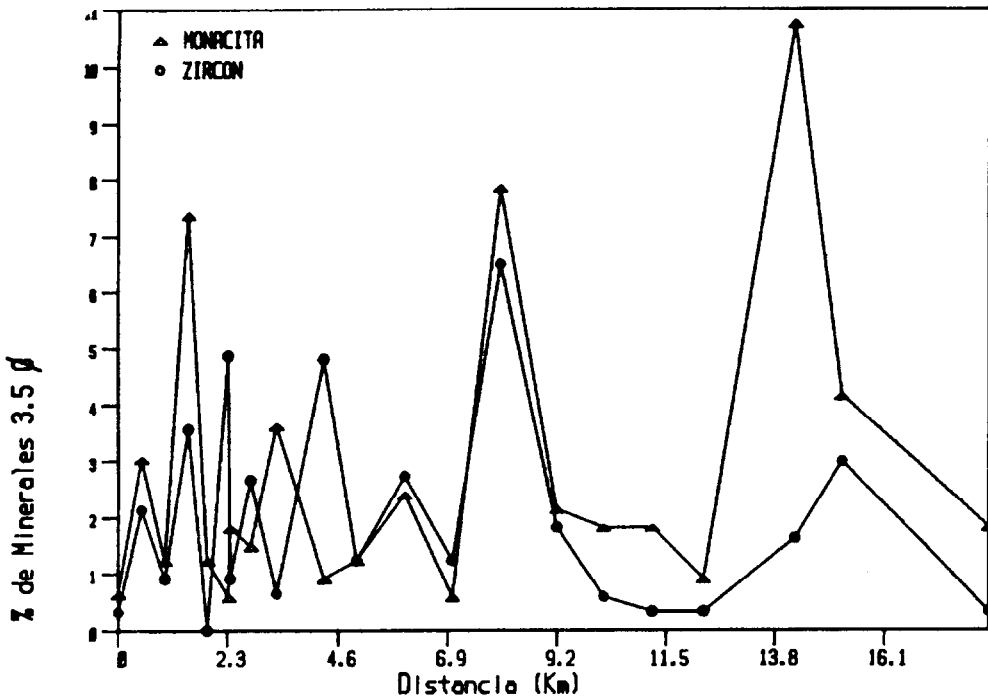


Figura 5. Comportamiento de las distribuciones de monacita y zircon en la fracción 3.5φ.
 Figure 5. Behavior of the monazite and zircon distributions in the 3.5φ fraction.

la parte este del área y son cortados por los arroyos Seco y Rosarito que son los aporadores de estos minerales a las playas. El zircon euhedral puede provenir de la erosión de los cantiles y de las puntas rocosas constituidas principalmente por basaltos de la Formación Rosarito Beach y que pueden ser transportados hacia el sur por las corrientes litorales. Marmolejo Lara (1985) menciona que para la playa frente a la Central Termoeléctrica en Rosarito, se tiene un transporte neto de sedimento hacia el sur.

El oleaje en la costa de California generalmente se aproxima del noroeste y oeste en períodos de 10 a 13 segundos y probablemente causan transporte hacia el sur. (Judge, 1970). Sin embargo, cuando los swells del hemisferio sur son importantes, parte de la costa del sur de California tiene corrientes litorales hacia el norte (Emery, 1960). Al analizarse fotografías aéreas de la zona de estudio se observó que existía acumulación de sedimento en la parte sur de las puntas rocosas lo que puede indicar un transporte

when the swells from the southern hemisphere are considerable, part of the southern coast of California has littoral currents to the North (Emery, 1960). Analyzing aerial photographs of the study area, the existence of an accumulation of sediment is observed in the southern part of the rocky ends, which might indicate a net transport to the North for all the area or this transport might be local only close to the ends, because of the diffraction of the wave while acting over the rocky ends.

The sampled streams, disconnected from the ocean nearly all year long, show a temporary activity of their beds, and the considerable quantity of sediment is supplied only during intense pluvial precipitations. That is why the minerals in this area may reflect only seasonal conditions.

CONCLUSIONS

The sediments in the study area are characterized by the association of hornblende

neto hacia el norte para toda la zona o dicho transporte puede ser local, sólo en las proximidades de las puntas, debido a la difracción del oleaje al actuar sobre las salientes rocosas.

Los arroyos muestreados, desconectados del océano la mayor parte del año, indican actividad temporal de sus cauces y el aporte de cantidades apreciables de sedimento se da sólo durante precipitaciones pluviales intensas, por lo que es posible que los minerales, en esta área, sólo reflejen condiciones estacionales.

CONCLUSIONES

Los sedimentos de la zona de estudio están caracterizados por la asociación hornblenda-opacos-moscovita-monacita, con hornblenda como el constituyente principal.

Los minerales pesados se pueden utilizar como minerales trazadores de la corriente litoral, únicamente en playas continuas, es decir, que no estén interrumpidas por puntas rocosas y playas de bolsillo ya que éstas actúan como lugares de acumulación de minerales pesados que en un momento dado enmascaran el comportamiento de los minerales utilizados como trazadores.

Los mejores trazadores naturales de la corriente litoral en playas de Rosarito fueron monacita en la fracción 3.0 ϕ y monacita y zircon en la fracción 3.5 ϕ , las cuales marcaron en ambas fracciones un transporte litoral hacia el sur, de la estación 14 a la estación 21.

Las fuentes de estos minerales son principalmente las rocas sedimentarias de la Formación Rosario, localizadas al este de la zona de estudio y cortadas por Arroyo Seco y Arroyo Rosarito.

Mediante la utilización de los rasgos morfológicos de las playas observables a partir de fotografías aéreas, se observó acumulación de sedimento en la parte sur de las puntas rocosas localizadas al norte del área lo que indica la probable existencia de transporte neto de sedimento hacia el norte, con cambios estacionales de dirección de transporte, hacia el sur.

- opagues - moscovite - monazite, with hornblende as the main constituent.

Heavy minerals can be used as trace minerals of the littoral current only in continuous beaches. That means that they are not obstructed by rocky ends and pocket beaches because these ends and beaches act as places of accumulation of heavy minerals which sometimes hide the behavior of the minerals used as tracers.

The best natural tracers of the littoral current in the Rosarito beaches were monazite in the 3.0 ϕ fraction and monazite and zircon in the 3.5 ϕ fraction, tracing both fractions a littoral transport to the South, from stations 14 to 21.

The source areas of these minerals are mainly the sedimentary rocks of the Rosario Formation, located at the east of the study area, and are cut by the Arroyo Seco and Arroyo Rosarito streams.

Using the morphologic characteristics of the beaches, observed on aerial photographs, a sediment accumulation in the southern part of the rocky ends was observed, located at the northern part of the area, which indicates the probable existence of net sediment transport to the North, with seasonal changes in the transport direction to the South.

Guadalupe González translated this paper into English.

LITERATURA CITADA

Carver, R. (1971) *Procedures in Sedimentary Petrology*. John Wiley & Sons. 653 pp.

Dryden, A.L. (1931) *Accuracy in Percentage Representation of Heavy Mineral Frequencies*. Nat. Acad. of Sci. Proc. Vol. 17: 233-238.

Fessenden, F.W. (1959) *Removal of Heavy Liquids Separates from Glass Centrifuge Tubes*. J. of Sedim. Petrol. Vol. 17, 621 pp.

Judge, C.W. (1970) *Heavy Minerals in Beach and Streams Sediments Indicators of Shore Processes Between Monterey and Los Angeles*,

- California. US. Army Corps of Engineers. Tech. Memo. No. 33. Coastal Engineer Research Center.
- Krumbein, W.C. and Rassmusen, W.C. (1941). The Probable Error of Sampling Beach Sand for Heavy Mineral Analysis. *J. of Sedim. Petrol.* Vol. 11, No. 1: 10-20.
- Marmolejo-Lara, M. (1985). Control de azolvamiento en una obra de toma de agua marina. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC, 60 pp.
- Minch, J.A. (1967). Stratigraphy and Structure of the Tijuana Rosarito Beach Area, Northwestern Baja California, Mexico. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 78(2): 1155-1178.
- Neiheisel, J. (1965) Source and Distribution of Sediments at Brunswick Harbor and Vicinity, Georgia. US Army. Coastal Engineering Research Center. Technical Memo., No. 12, 49 pp.
- Pettijohn, F.J. (1941) Persistence of Heavy Minerals and Geologic Age. *J. of Geology.* Vol. 49.
- Ramesan, V. (1966) Improved Methods of Mineral Separation and Counting Suitable for Fine Grained Sandstones. *J. Sed. Petrol.* Vol. 36, No. 2: 629-631.
- Rittenhouse, G. (1943) Transportation and Deposition of Heavy Minerals. *Geol. Soc. of Amer. Bull.* Vol. 54: 1725-1780.
- Royse, Ch. (1970). An Introduction to the Sediments Analysis. Arizona State University.
- Sunamura, T. and Horikawa, K. (1971) Predominant Direction of Littoral Transport Along Kujyukury Beach, Japan. *Coastal Engineering in Japan*, 14: 107-117.
- Trask, P. D. (1951) Source of Beach Sand at Santa Barbara, California, as Indicated by Mineral Grains Studies. Beach Erosion Board. Corps. of Engineers. Tech. Memo. No. 23, 25 pp.
- Wilde, P. and Case, CH.W. (1977) Technique for Predicting Sediment Transport in the Marine Environment Using Natural Heavy Minerals Tracers. *Shore and Beach.*