

PROVENIENCIA DE DEPOSITOS SEDIMENTARIOS EN UNA FRANJA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA, MEXICO

PROVENANCE OF SEDIMENTARY DEPOSITS IN A COASTAL PORTION OF BAJA CALIFORNIA, MEXICO

Alfredo Chee Barragán
Roberto Pérez Higuera

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apdo. Postal 453
Ensenada, BC

Chee Barragán Alfredo y Pérez Higuera, R. Proveniencia de depositos sedimentarios en una franja costera de Baja California, México. *Provenance of Sedimentary Deposits in a Coastal Portion of Baja California, Mexico. Ciencias Marinas* 14(2): 29-44,1988.

RESUMEN

Con base en el contenido de minerales pesados en muestras de playa, dunas y arroyos sobre una franja costera en Baja California, se determinaron las asociaciones mineralógicas con las que se infiere la procedencia del material de las playas. Las principales asociaciones están representadas por hornblenda-silimanita-magnetita-zircón y augita egirina-hiperstena. Los análisis de correlación entre las especies mineralógicas, así como sus características texturales, indican que las rocas volcánicas y metavolcánicas de la formación Alisitos son los principales aportadores de minerales a las playas de esta zona. De la misma manera, es posible inferir que los procesos erosivos sobre la costa son más importantes, en el aporte de material, que los arroyos que drenan el área.

ABSTRACT

Based on the heavy metal content in our samples of beach, dunes and streams on a coastal portion of Baja California, mineralogic associations, used to infer the provenance of the material on the beaches, were determined. The main associations are represented by hornblende-sillimanite-magnetite-zircon and augite egirine-hypersthene. The correlation analyses between the mineralogic species and their textural characteristics indicate that the volcanic and metavolcanic rocks of the Alisitos Formation are the main mineral suppliers to the beaches in this area. It is also possible to infer that the erosive processes on the coast are more important as to the material supply than the streams that flow in the area.

INTRODUCCION

La mineralogía de un depósito sedimentario o roca es de gran valía para poder inferir su posible proveniencia. Este término comprende todos los factores relacionados con la producción u origen del sedimento a partir de una roca fuente o madre. Según Briggs (1965), los minerales que pueden proporcionar

INTRODUCTION

The mineralogy of a sedimentary deposit of rock is very important to infer its possible provenance. This term comprises all the factors related to the sediment production or origin from a source or "mother rock". According to Briggs (1965), the minerals likely to produce knowledge on the sediment origin are

conocimiento sobre el origen de los sedimentos son los minerales pesados, porque debido a su estabilidad pueden resistir el transporte hasta su lugar de acumulación. Los minerales pesados representan una fracción proporcional menor al 2% de los sedimentos arenaceos (Pettijohn, 1957) y son definidos como aquellos minerales que poseen una gravedad específica mayor que 2.85, y pueden constituir depósitos de placer en dunas y playas (Pardee, 1934).

Desde 1849, con la fiebre del oro en California, se observa que los distritos mineros pueden localizarse siguiendo la huella del mineral deseado aguas arriba, hasta determinar las posibles rocas fuente. Este principio continua siendo de gran ayuda en estudios de procedencia de cuerpos sedimentarios, pero además se presta atención a todos los minerales pesados encontrados en cada muestra, ya que algunos minerales aún siendo escasos en la muestra estudiada, su sola presencia indica el posible origen litológico del sedimento.

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 (Pettijohn, 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, ya que ésta 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.

Específicamente en Baja California no hay estudios a la fecha, que usen minerales pesados para determinar posibles fuentes de depósitos sedimentarios en la zona; algunos sólo 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. Sin embargo, vale la pena mencionar a Duffet (1969), quien

the heavy minerals because, due to their stability they can resist transportation to their accumulation site. Heavy minerals represent a proportional fraction lower than 2% of the sandy sediments (Pettijohn, 1957), are defined as minerals with specific gravity higher than 2.85 and can constitute placer deposits in dunes and beaches (Pardee, 1934).

From 1948, coinciding with the time of the Gold Fever in California, the mineral districts can be located following the track of the mineral desired up the water flow until the possible source rocks. Although this principle is still very important in provenance studies of sedimentary rocks, special attention is given to all heavy minerals found in each sample since the presence itself of some minerals, even scarce, in the sample studied indicates the possible lithologic origin of the sediment.

According to Carver (1971), heavy minerals of sediments come mainly from igneous and metamorphic rocks; in the former, they represent an approximate fraction of 15% of the total proportion of minerals, whereas in the latter, they are the main constituents. Some minerals are characteristic of a particular type of rock, so mineral series are important rock and source area indicators (Pettijohn, Potter and Siever, 1972). Therefore, it is possible to understand the nature and character of the provenance by studying the deposit composition, since it is based on the identification of the rock and source area features, grouping the heavy minerals in genetic associations that correspond to a particular type of rock.

Specifically in Baja California, there are no study using heavy minerals to determine possible sources of sedimentary deposits in the area; some of them are restricted to mineralogic deposits, and only a few, to heavy mineral provenance in other coastal areas of the State of Baja California. Note, however, that Duffet (1969) carried out a comprehensive geologic-geographic study of the NW coastal area of Baja California up to the parallel 30, analyzing the relationships that the streams present between the sedimentary supplies and their mouth on the shoreline. Then, he obtained a classification of the

realiza un estudio muy detallado de tipo geológico-geográfico de la región costera NW de Baja California 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.

La zona de estudio está situada sobre la costa Oeste de la Península de Baja California entre los paralelos 28°47' y 29°38'. Consiste de una franja costera de relieve muy irregular (Fig. 1), con una longitud aproximada de 160km 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 limita 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 Crácico; Punta María, de roca metamórfica y sedimentos marinos; y Punta Cono, formada por roca granítica. Entre estos rasgos se encuentran playas formadas principalmente por material que varía de arenas gruesas a finas y tienen una nítida interstratificación.

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 interstratificación. Es interesante hacer notar que algunas dunas aisladas, estabilizadas por la vegetación que crece sobre 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.

Por la costa y hacia el Norte, se localiza Punta Blanco y Punta Los Morros (Fig. 1), las cuales están constituidas principalmente por material volcánico.

stream-coastal line patterns. Based on this analysis, he stated that the streams did not contribute with significant quantities of sediment to the shoreline under the present environmental conditions.

The study zone is located on the western coast of the Baja California Peninsula between the parallels 28° 47' and 29° 38'. It consists of a coastal area of very irregular relief (Fig. 1), approximately 160km long and with a general tendency and configuration dominated by a NW-SE strike slip fault system of postbatolithitic origin.

The most notable accidents conforming it are: Punta Prieta, constituted by granitic rocks, limits the area in the south; in the North, Punta Lobos, Punta El Diablo and Punta Carmen are all of metamorphic rocks and volcanic sediments of the Cretaceous; Punta María is of metamorphic rock and marine sediments; eventually, Punta Cono is formed by granitic rocks. Presenting these features, there are beaches formed mainly by material that vary from coarse to fine sand and have a clear interstratification.

Associated with the southern section of the beaches, there are large fields of dunes, Barjan type, integrated by very fine grey sands, that show a perfect interstratification. Note that some isolate dunes, stabilized by the vegetation that grows on them, are darker than those that tend to migrate. In the area, there are dark mineral layers (called "pavimentos"), of very fine grain, caused by the dune migration and wind deflation.

Punta Blanco and Punta Los Morros (Fig. 1), located on the coast and northward, are constituted mainly by volcanic material.

Punta Canoas and Punta San Carlos are the last important physiographic features of the area, formed mainly by volcanic rock and sedimentary material of marine origin, classified as the Rosario Formation (upper Cretaceous) (Gastil *et al.*, 1975).

Large cliffs are found in the area comprised from Punta San Carlos to Punta Canoas. In this section, the beach is open with

Punta Canoas y Punta San Carlos, son las últimas salientes importantes del área, formadas principalmente por roca volcánica y material sedimentario de origen marino, clasificado como de la Formación Rosario (Cretácico superior), (Gastil, *et al.*, 1975).

En la región comprendida de Punta San Carlos a Punta Canoas es donde se encuentran grandes cantiles. En esta sección la playa es abierta con pendiente moderada. Los cantiles están constituidos de areniscas con bandas intercaladas de lutita y yeso. La lutita es tono gris, bien consolidada oscura con restos de organismos.

Los arroyos que drenan el área tienen rumbo SW y son principalmente: Santa Catarina, Las Lámparas, La Bocana, Mujeres, Lázar, Morros Colorados, San José, El Sauz, Cardón y Ojitos (Fig. 1). Debido a la escasez de precipitación pluvial en esta zona, estos arroyos son de corrientes esporádicas, por lo que sus bocas 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: hornblenda, actinolita, andalusita, apatita, augita, anatasa, biotita, clinozoicita, brookita, cianita, clorita, cloritoide, diópsido, epidota, egirina, esfena, cromita, glaucófano, estauroлита, granate (variedades café verde y verdeazul), ilmenita, leucóxeno, magnetita, monacita, moscovita, olivino, rutilo, serpentina, silimanita, tremolita, turmalina y zircón (granos euhedrales y retrabajados).

METODOLOGIA

Los puntos del muestreo están indicados en la Figura 1. Con base en las concentraciones de minerales oscuros visibles en los depósitos, se colectaron un total de 56 muestras. De éstas, 14 corresponden a dunas, dos a zonas de deflación (pavimentos), 25 a playas y 15 a arroyos.

En el laboratorio se llevó a cabo el pretratamiento y la separación granulométrica en intervalos de tamaño de acuerdo con Royce

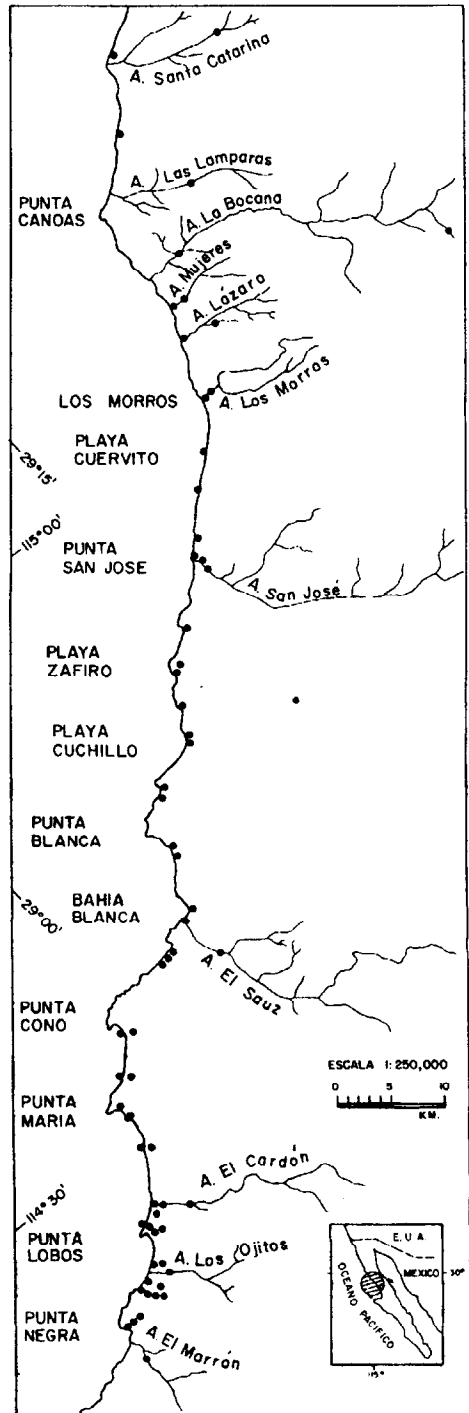


Figura 1. Localización del área de estudio.
Figure 1. Location of the study area.

(1970). La separación de las fracciones ligeras y pesadas de los minerales se efectuó utilizando el método descrito por Fessenden (1959). Para la fracción de minerales pesados con el fin de facilitar su identificación se usó la técnica de Rosseblum (1958), adaptada al separador magnético CARPCO, para la obtención de las clases de susceptibilidad magnética. La identificación de los minerales predominantes, así como sus características texturales se hizo por medio de un microscopio petrográfico. Se efectuaron análisis de correlación, entre cada uno de los minerales pesados con el fin de obtener parejas o grupos de minerales capaces de generar una asociación mineralógica según el criterio utilizado por Briggs (1965).

RESULTADOS

Las tablas I, II y III muestran los porcentajes de especies de minerales más abundantes en las zonas de playa, arroyos y dunas respectivamente. El término "alterita" se refiere a un grupo de minerales alterados o agregados cristalinos comportables como pesados que no es posible identificar al microscopio (Van Andel, 1955). Los minerales hematita, ilmenita y cromita se agruparon dentro de los "opacos", los minerales agrupados como "otros" forman una porción del contenido total e incluyen topacio, fluorita, andalusita, corindón, berilo, pirofilita, olivino, clorita, oro y moscovita.

En la zona de playas (Tabla I), los minerales predominantes son: hornblenda, opacos, alterita, egrina, magnetita e hiperstena, tanto para la fracción 3.0ϕ como para 3.5ϕ . Las playas de la parte Norte específicamente Santa Catarina y Mujeres, presentan porcentajes de 24% de hiperstena y 22% de monacita, los cuales son los más altos en toda la zona. Los valores altos de biotita se presentan en las playas Zafiro y Cuchillo con 8% y 9% respectivamente. En las playas El Cuervito y El Sauz, se concentran los valores más altos de "opacos" con 46% y 34% respectivamente. Las playas de la parte Sur como Cardón, Lobos y Ojitos presentan las más altas concentraciones de hornblenda (42%), wfein (25%), alterados (36%), augita (18%) y zircón (10%). Las concentraciones de rutilo,

moderate slope. The cliffs are constituted of sandstone with lutite interstratification and gypsum. The lutite is grey, well consolidated, dark with rests of organisms.

The streams that drain the area are SW oriented and are mainly: Santa Catarina, Las Lámparas, La bocana, Mujeres, Lázaro, Morros Colorados, San José, El Sauz, Cardón and Ojitos (Fig. 1). Due to scarce rainfall in this area, these streams have sporadic currents, so their mouths disappear in some cases before touching the shoreline.

As final product, heavy minerals brought by streams from the rocks they drain could be: hornblende, actinolite, andalusite, apatite, augite, anatase, biotite, clinozoisite, brookite, cyanite, chlorite, chloritoid, diopside, epidote, egrine, esfene, chromite, glaucophane, staurolite, granite (green brown and green blue varieties), ilmenite, leucoxene, magnetite, monazite muscovite, olivine, rutile, serpentinite, sillimanite, tremolite, tourmaline and zircon (euhedral and re-worked grains).

METHODOLOGY

The sampling sites are indicated on Figure 1. Based on the concentrations of dark minerals visible in the deposits, a total of 56 samples was collected, 14 of which correspond to dunes, two to deflation areas, 25 to beaches and 15 to streams.

In the laboratory, the pre-processing and the granulometric separation in size intervals was carried out according to Royce (1970). The separation of the light and heavy fractions from the minerals was made using the method described by Fessenden (1959). In order to make the identification of heavy minerals fraction, the Rosseblum's technique was used (1958), adapted to the magnetic separator CARPCO, to obtain the classes of magnetic susceptibility. The predominant mineral identification, as well as their textural characteristics were made using a petrographic microscope. Analyses of correlation was carried out between each of the heavy minerals to obtain mineral couples or groups able to generate a mineralogic association according to the criterium used by Briggs, (1965).

Tabla I. Porcentaje de especies de minerales presentes en las playas. La primera columna corresponde a 3.0ϕ y la segunda a 3.5ϕ.

Table I. Percentage of mineral species present on the beaches. The first column corresponds to 3.0 ϕ and the second one to 3.5 ϕ.

	G r a n a t e		O p a c o s		H o r n b l e n d a		E g i r i n a		A u g i t a - e g i r i n a		A v a n t a		H i p e r s t e n a	
Santa Catarina	3	5	14	7	10	25	3	12	4	8	2	*	4	14
Mujeres	1	9	9	6	18	29	12	9	11	3	11	*	24	12
Lázaro	2	5	27	13	5	19	10	10	6	5	6	1	10	9
Morros Colorados	*	1	12	8	13	22	17	8	6	5	6	2	11	10
El Cuervito	2	6	17	34	12	16	10	7	8	5	2	0	12	9
San José	9	7	43	33	4	10	4	8	2	*	*	0	4	5
Zafiro	6	6	13	3	14	18	7	16	10	10	*	1	9	11
Cuchillo	6	7	2	3	20	31	21	18	14	1	2	1	13	23
El Sauz	4	4	46	16	8	20	6	9	4	9	1	2	8	13
Bahía Blanco	5	5	10	12	19	38	17	11	6	9	1	*	12	14
Guaty	5	5	20	18	22	25	14	10	6	4	*	0	13	14
Gaby	3	*	20	17	20	29	8	12	7	7	*	*	11	15
Napa	3	8	21	22	23	30	9	8	7	6	*	*	12	14
Cono	0	*	3	*	31	30	17	15	-	-	5	5	1	2
María	2	4	17	13	25	28	15	12	-	-	4	6	2	2
Cardón	0	1	10	3	31	42	22	25	-	-	4	10	2	4
Lobos	*	5	10	14	15	16	14	13	-	-	18	11	2	8
Ojitos	1	2	8	8	12	27	11	17	-	-	5	8	1	3

(* = Porcentaje menor de 0.5%)

(* = Percentage less than 0.5%)

apatita, silimanita, enstatita, turmalina y epidota permanecen constantes en todas las playas del área de estudio.

La Tabla II muestra los porcentajes de especies de minerales presentes en los arroyos; en orden de abundancia los minerales son alterita, opacos, hornblenda, hiperstena, magnetita y egirina. El arroyo Las Lámparas presenta una concentración de 13% de zircón y de 30% de monacita; estas concentraciones son

RESULTS

Tables I, II and III show the percentages of the most abundant mineral species in the beach, stream and dune areas respectively. The term "alterite" refers to a group of crystalline altered or conglomerated minerals which behave like heavy minerals, impossible to identify by microscope (Van Andel, 1955). The hematite, ilmenite and chromite minerals were grouped into "opaque minerals";

Tabla I. continuación

	B i o t i t a	M o n a c i t a	R u t i l o	Z i r c ò n	A p a t i t a	A l t e r i t a	M a g n e t i t a	S i l l i m a n i t a	E n s t a t i t a	T u r m a l i n a	E p i d o t a	O t r o s
Santa Catarina	3 5	22 7	0 1	9 1	0 2	23 13	2 1	0 -	* -	* -	* -	4 8
Mujeres	2 1	2 9	0 1	1 2	0 0	0 19	10 2	1 -	* -	0 -	0 -	11 3
Lázaro	3 2	4 4	1 *	2 *	0 *	12 13	14 19	0 -	1 -	0 -	0 -	6 5
Morros Colorados	2 *	4 20	1 0	2 0	* 3	10 21	16 1	0 -	0 -	* -	1 -	6 5
El Cuervito	6 1	2 3	* *	1 *	0 0	16 10	12 10	0 -	0 -	* -	0 -	8 5
San José	1 0	2 2	* *	6 3	0 0	10 6	15 26	* -	* -	* -	* -	2 *
Zafiro	8 5	7 10	1 1	4 2	1 2	11 15	11 1	0 -	* -	0 -	0 -	10 10
Cuchillo	7 9	2 3	* 0	1 *	0 *	9 3	3 1	0 -	* -	0 -	0 -	14 1
El Sauz	0 0	4 7	1 *	3 4	0 1	2 8	15 8	* -	* -	0 -	0 -	4 9
Bahía Blanco	0 0	8 7	0 *	7 1	0 0	14 2	2 *	1 -	0 -	0 -	0 -	6 9
Guaty	0 0	5 8	0 0	* 1	* 0	12 10	2 3	* -	0 -	0 -	0 -	6 4
Gaby	0 0	9 10	1 0	6 3	0 0	8 7	6 *	1 -	0 -	0 -	0 -	7 7
Napa	0 0	4 3	* 0	2 1	0 0	13 6	7 2	0 -	0 -	0 -	0 0	7 6
Cono	1 1	* *	0 0	1 10	0 0	6 23	3 3	1 0	1 1	* *	1 1	* *
María	4 1	1 *	* *	2 4	* *	12 3	19 14	* *	1 1	* *	1 *	* *
Cardón	1 1	* *	0 *	2 2	* *	15 3	3 2	2 *	1 1	* *	0 *	* *
Lobos	* 1	* 1	* *	2 3	* *	15 7	9 12	1 *	2 2	* 1	* *	* *
Ojitos	* 1	* 2	* *	1 8	* *	36 5	13 9	1 1	* 1	* *	* *	* *

(* = Porcentaje menor de 0.5%)
 (* = Percentage less than 0.5%)

Tabla II. Porcentaje de especies de minerales presentes en los arroyos. La primera columna corresponde a 3.0 º y la segunda a 3.5 º.

Table II. Percentage of mineral species present in the streams. The first column corresponds to 3.0 º and the second one to 3.5 º.

	G		O		H		E		A		H	
	r		p		o		g		v		i	
	a		a		r		i		a		p	
	n		c		b		r		i		e	
	a		o		l		i		r		r	
	t		s		e		n		i		s	
	e				n		a		n		t	
					d		a		a		e	
					a						n	
											a	

Santa Catarina	2	2	20	24	4	8	3	8	3	6	2	1	6	4
Las Lámparas	1	1	8	4	4	5	3	3	3	*	3	*	5	15
La Bocana	1	4	13	26	11	17	2	5	8	1	8	1	12	10
Mujeres	3	2	22	22	23	29	6	6	4	0	0	0	13	17
Lázaro	3	2	21	25	19	29	4	1	6	2	0	0	13	19
Morros Colorados	1	3	3	21	9	6	3	1	1	1	*	0	7	6
San José	1	7	6	6	20	28	17	7	9	3	3	3	18	18
El Sauz	9	6	9	6	24	37	14	16	8	1	8	1	13	20
Cardón	0	*	14	17	4	8	*	*	-	-	4	5	*	*
Ojitos	*	1	24	13	3	15	2	9	-	-	9	11	*	1

	B		M		R		Z		A		A	
	i		o		u		i		p		l	
	o		a		t		r		a		t	
	t		c		i		c		i		e	
	i		i		i		o		t		r	
	t		t		l		n		t		i	
	a		a		o				a		t	
											a	

Santa Catarina	1	*	2	7	*	0	1	2	0	2	42	6
Las Lámparas	*	1	33	39	0	2	13	13	0	0	26	16
La Bocana	*	4	4	4	*	0	1	1	0	*	3	8
Mujeres	4	1	4	2	*	0	2	2	0	0	15	16
Lázaro	5	0	4	1	1	0	2	1	0	0	16	9
Morros Colorados	*	13	1	8	*	0	2	1	0	1	23	4
San José	8	*	3	10	*	0	1	1	*	*	10	15
El Sauz	5	0	4	1	*	0	1	*	0	*	2	7
Cardón	*	*	*	*	0	*	*	*	*	*	57	33
Ojitos	4	3	*	*	*	*	*	1	0	*	26	11

(* = Porcentaje menor de 0.5%)
 (* = Percentage less than 0.5%)

Tabla II. continuación

	M		S		E		T		E		O	
	a		i		n		u		p		t	
	g		l		s		r		i		o	
	n		m		t		m		d		r	
	e		a		a		a		i		o	
	t		n		t		l		o		t	
	i		i		i		i		o		r	
	t		t		t		n		t		o	
	a		a		a		a		a		s	
Santa Catarina	2	30	0	0	*	0	0	0	*	0	3	6
Las Lámparas	33	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	*
La Bocana	4	20	0	0	*	0	0	0	0	0	8	1
Mujeres	4	1	0	0	*	0	0	0	0	0	4	0
Lázaro	4	11	0	0	*	0	0	0	0	0	6	2
Morros Colorados	1	37	0	0	*	0	0	0	0	0	1	1
San José	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3
El Sauz	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Cardón	16	29	*	0	*	*	0	*	*	*	*	*
Ojitos	28	37	*	*	*	*	*	*	0	*	*	*

(* = Porcentaje menor de 0.5%)

(* = Percentage less than 0.5%)

las más altas en toda la zona de estudio. Los arroyos San José y El Sauz tienen concentraciones de 18 a 20% de hiperstena, de 7 a 9% de granate y en específico el arroyo El Sauz presenta concentraciones de 37% de hornblenda y 16% de egrina. La augita presentó su máximo valor en el arroyo Los Ojitos con 11% y alterita 57% en el arroyo Cardón.

En cuanto a la zona de las Dunas, los minerales más abundantes en orden decreciente son: hornblenda, egrina, hiperstena, alterita y opacos. Correspondiendo para la zona de El Cardón concentraciones de 46% de hornblenda y 27% de egrina, los valores más altos de estos minerales. En las Dunas de El Sauz se detectan los más altos valores de granate (11%) y alterita (26%); en San José La hiperstena alcanza un valor de 22% mientras que los opacos llegan a su máximo valor de 10%.

the minerals grouped as "others" form a portion of the total content and include topaz, fluorite, andalusite, corundum, beryl, pyrophyllite, olivine, chlorite, gold and muscovite.

In the beach zone (Table I), the minerals are basically: hornblende, opaque minerals, alterite, egrine, magnetite and hypersthene, for the 3.0 ϕ as for the 3.5 ϕ fraction. The beaches of the northern part, particularly Santa Catarina and Mujeres, present percentages of 25% of hypersthene and 22% of monazite, which are the highest in the whole area. The high values of biotite are found in the Zafiro and Cuchilla beaches with 8% and 9% respectively. In El Cuervito and El Sauz beaches, the highest values of opaque minerals are found with 46% and 34% respectively. The beaches on the southern part such as Cardón, Lobos, and Ojitos present the highest hornblende concentrations (42%), egrine (25%), altered (36%), augite (18%) and zircon (10%). The concentrations of rutile, apatite,

Tabla III. Porcentaje de especies de minerales presentes en las dunas. La primera columna corresponde a 3.0* y la segunda a 3.5 *.

Table III. Percentage of mineral species present on the dunes. The first column corresponds to 3.0* and the second one to 3.5 *.

	G r a n a t a e		O p a c s		H o r n b l e n d a		E g i r i n a		A u g i t a		H i p e r s t e n a		B i o t i t a	
San José	1	9	10	7	24	34	15	10	2	*	19	22	2	0
El Sauz	8	11	5	2	26	27	8	9	1	0	21	17	2	0
Gaby	4	6	9	7	28	35	12	10	*	*	18	18	*	0
María	*	1	5	4	37	40	19	20	8	9	2	5	3	1
El Cardón	*	*	3	2	30	46	24	27	8	8	2	3	1	*
Los Ojitos	*	1	3	5	32	30	25	21	6	6	1	3	1	1

	M o n a c i t a		R u t i l o		Z i r c o n		A p a r t a		A l t e r i t a		M a g n e t a		S i l i c a t a	
San José	3	5	1	*	1	*	1	*	7	9	4	2	0	0
El Sauz	1	3	0	*	1	*	*	0	17	26	2	1	*	0
Gaby	2	2	*	0	1	1	0	0	16	11	2	1	0	0
María	*	*	0	*	1	4	*	*	13	5	3	2	1	*
El Cardón	*	*	*	*	1	3	*	*	15	4	4	3	1	*
Los Ojitos	*	1	*	*	2	7	*	*	16	9	3	3	2	1

(* = Porcentaje menor de 0.5%)

(* = Percentage less than 0.5%)

Tabla III. continuación

	T u r m a l i n a	E p i d o t e	O r o s
San José	* 0	0 0	10 1
El Sauz	0 0	2 0	6 4
Gaby	0 0	0 0	8 9
María	* *	* *	* *
El Cardón	* *	* *	* *
Los Ojitos	1 *	1 1	* *

(* = Porcentaje menor de 0.5%)
 (* = Percentage less than 0.5%)

DISCUSION

Las proporciones de los minerales pesados en sedimentos arenaceos son muy reducidos, mientras que en rocas ígneas y metamórficas pueden llegar a ser un constituyente muy importante. Sin embargo, la proporción de la fracción pesada puede aumentar en los sedimentos gracias a la equivalencia hidráulica de los minerales y a la acción selectiva de corrientes y oleaje. El hecho de muestrear sobre parches oscuros, formados por la acumulación mecánica de minerales pesados, influye en la proporción de ligeros-pesados y aun cuando no se tiene conocimiento de estudios relativos a las variaciones entre los mismos pesados, es de suponerse que cada mineral tendrá diferente respuesta de acuerdo a su forma y gravedad específica. Sin embargo, en el presente estudio se tomaron las muestras en lugares de mayor acumulación de minerales pesados, que representan condiciones de energía similares, y no sobre sedimento homogéneo.

La proveniencia de los sedimentos se determina por medio de algunas especies mineralógicas en particular, o de todo el conjunto de minerales pesados tratando de revelar en asociaciones indicadoras la natu-

sillimanite, enstatite, tourmaline and epidote remain constant in all the beaches of the study area.

Table II shows the percentages of the mineral species present in the streams. By order of abundance, the minerals are: alterite, opaque minerals, hornblende, hypersthene, magnetite and egirine. Las Lámparas stream presents a concentration of 13% of zircon and 30% of monazite. These concentrations are the highest ones in the whole study area. San José and El Sauz streams present concentrations from 18% to 20% of hypersthene, from 7% to 9% of granite and, specifically, El Sauz stream has concentrations of 37% of hornblende and 16% of egirine. Augite presents its maximum value (11%) in Los Ojitos stream and alterite (57%) in El Cardón stream.

As far as the dunes zone is concerned, the most abundant minerals by decreasing order are: hornblende, egirine, hypersthene, alterite and opaque minerals. Concentrations of 46% of hornblende and 27% of egirine, the highest values of these minerals, correspond to El Cardón area. The highest values of granite (11%) and alterite (26%) are detected in the dunes area. In San José, the hypersthene reaches a value of 22% whereas the opaque minerals reach their maximum value of 10%.

raleza genética. La distribución de minerales pesados más abundantes en los arroyos Santa Catarina, Las Lámparas y La Bocana reflejan la posible influencia de la cuenca Cataviña. Este posible aporte es más claro en el comportamiento mineralógico del arroyo Las Lámparas, el cual para esta zona norte rompe con la regla general de distribución de los minerales pesados que presenta el resto de los arroyos. Los principales constituyentes mineralógicos de este arroyo son monacita, zircón y alterados, con más del 45%. También esta región muestra una subasociación formada por augita-egirina-hornblenda, lo cual pudiera ser el reflejo de las rocas graníticas y sedimentarias emplazadas al NE de la zona. Por lo que respecta a los arroyos Mujeres, Lázaro, San José y El Sauz muestran la asociación mineralógica dada por hornblenda-alterados augita-egirina-opacos-hiperstena-magnetita. La fuente de estos sedimentos puede provenir de las rocas volcánicas y metavolcánicas de la Formación Alisitos.

Las proporciones de minerales pesados más abundantes en las playas indican asociaciones de hornblenda-augita-egirina-hiperstena, así como hornblenda opacos-augita-egirina-hiperstena-alterados, con contribuciones moderadas de magnetita y monacita. La asociación que incluye hornblenda y la serie augita-egirina como minerales dominantes, refleja un grupo mineralógico típico de rocas ígneas oscuras, como lavas basálticas, gabros y andesitas, además la egirina es un mineral relativamente raro que se haya principalmente en rocas ricas en sodio y pobres en silice tal como las rocas basálticas y andesíticas.

Para el estudio de proveniencias se debe considerar la forma de los cristales de los minerales que constituyen el sedimento, ya que el análisis se dificulta cuando el material ha sido reciclado. Sin embargo, para este estudio los sedimentos del área en gran parte corresponden a un primer ciclo, confirmado por la presencia de cristales euhedrales de zircón, granate, fluorita, erigina, topacio, ilmenita, andalusita y augita en menor medida se denotan varios ciclos con base en la existencia de granos redondeados de zircón, rutilo, monacita, fluorita y granate. Es muy factible que los sedimentos del litoral en una gran

DISCUSSION

The proportions of heavy minerals in sandy sediments are very reduced, whereas in the igneous and metamorphic rocks they can become a very important constituent. However, the proportion of the heavy fraction can increase in the sediments due to the hydraulic equivalence of the minerals and to the selective current and wave action. Sampling on dark patches, formed by the mechanic accumulation of heavy minerals, influences the light-heavy proportion and even if there are no studies related to the variations between heavy minerals, one can suppose that each mineral will have a different response according to its shape and specific gravity. In this study however, the samples were taken in sites with higher heavy mineral accumulation that represent similar energy conditions, and not in homogeneous sediment.

The sediment provenance is determined using some of the mineralogic species in particular or using all the heavy minerals and trying to reveal associations indicating the genetic nature. The distribution of the most abundant heavy minerals in the Santa Catarina, Las Lámparas and La Bocana streams reflects the possible influence of the Cataviña basin. This possible supply is more obvious in the mineralogic behavior of Las Lámparas stream, which breaks the general rule of distribution of heavy mineral presented by the rest of the streams in this northern area. The main mineralogic constituents of this stream are monazite, zircon and altered (more than 45%). This area also shows a sub-association formed by augite-egirine-hornblende which could be an evidence of the granitic and sedimentary rocks existing in the NE of the area. As to the Mujeres, Lázaro, San José and El Sauz streams, they present the mineralogic association given by Hornblende-altered, augite-egirine-opaque minerals-hypersthene-magnetite. The source of these sediments can come from the volcanic and metavolcanic rocks of the Alisitos Formation.

The proportions of the most abundant minerals on the beaches indicate hornblende-augite-egirine-hypersthene associations as well as hornblende opaque minerals -

parte sean aportados por la erosión del oleaje sobre las puntas y acantilados rocosos. Los minerales de origen granítico sobre todo en la zona sur del área en parte provienen de la influencia de Punta Cono y de un acantilado granítico cercano a Punta Carmen, mientras que en la zona de Puerto San José a Punta Blanca el material proviene de las rocas diabásicas enclavadas en las salientes del litoral.

Las asociaciones mineralógicas se pueden generar mediante grados asociativos obtenidos por medio del coeficiente de correlación entre parejas de minerales, (Briggs, 1965). Según este criterio, los minerales altamente asociativos, es decir, los que se asemejan bastante entre sí y por tanto pueden provenir de un mismo tipo de roca, tienen un coeficiente de correlación mayor de 0.8, mientras que en los moderadamente asociativos el coeficiente está entre 0.53 y 0.8. Los grupos de minerales altamente asociativos son: augita-egirina-hiperstena, monacita-zircón, augita-enstatita-otros, opacos monacita-hiperstena, hornblenda-silimanita-magnetita, granate-hiperstena, augita-egirina-magnetita-biotita, granate-monacita-zircón-silimanita, biotita-zircón, silimanita-epidota. Los grupos moderadamente asociativos son: granate-epidota, hornblenda-biotita, alterita-otros, granate-alterita, hornblenda-egirina, monacita-apatita, augita-zircón y opacos-magnetita. De los grupos anteriores se omiten las asociaciones de opacos-monacita-hiperstena, granate-hiperstena, augita-egirina-magnetita-biotita, ya que pueden provenir de cualquier tipo de roca ígnea presente en la localidad. Las asociaciones augita-egirina-hiperstena, augita-enstatita-otros, provienen de rocas básicas, las cuales se encuentran localizadas entre Punta San José y Punta Blanca, conformando los cantiles del lugar; las asociaciones monacita-zircón y monacita-apatita indican su origen en roca granítica, la cual únicamente está presente al sur de la zona de estudio entre Punta María y Punta Negra, formando también parte de los cantiles. Las escasas lluvias en la zona y el hecho de que la mayoría de los arroyos estén truncados antes de tocar la línea de costa, indican poca contribución de material a las playas. De hecho la erosión de los cantiles y las puntas de la zona contribuye en mayor grado. Lo anterior se apoya con la presencia

augite - egirine - hypersthene - altered, with moderate contributions of magnetite and monazite. The association that includes hornblende and the augite - egirine series as dominant minerals, reflects a mineralogic group typical of dark igneous rocks, such as basaltic lava, gabbros and andesites; in addition, egirine is a relatively scarce mineral found mainly in rocks rich in sodium and poor in silice such as the basaltic and andesite rocks.

In the provenance studies, one must consider the shape of the mineral crystals constituting the sediment, since the analysis becomes difficult when the material has been recycled. In this study however, the sediments of this area correspond to a great extent to a first cycle, confirmed by the presence of euhedral crystals of zircon, granite, fluorite, erigine, topaz, ilmenite, andalucite and augite and to a lesser extent, several cycles are observed based on the existence of rounded zircon, rutile, monazite, fluorite and granite grains. It is very possible that the littoral sediments are brought in part by the wave erosion on the rocky physiographic features and sheers. The granitic minerals, particularly in the southern area, are due in part to the influence of the Punta Cono and the granitic sheers close to Punta Carmen, while in the area from Puerto San José to Punta Blanca, the material comes from the diabasic rocks ripped up in the littoral physiographic features.

The mineralogic association can be generated through associative degrees obtained from the correlation coefficient between mineral couples (Briggs, 1965). According to this criterium, the highly associative minerals, that is to say those that are quite similar and can therefore come from the same type of rock, have a correlation coefficient higher than 0.8, whereas in the moderately associative ones, the coefficient is between 0.53 and 0.8. The highly associative mineral groups are: augite - egirine - hypersthene, monazite - zircon, augite - enstatite - others, opaque minerals - monazite - hypersthene, hornblende - sillimanite - magnetite, granite - hypersthene augite - egirine - magnetite - biotite, granite - monazite - zircon - sillimanite,

de cristales euhedrales que conforman el material de las playas. Otras asociaciones formadas por hornblenda-sillimanita-magnetita-zircón, hornblenda-biotita-augita-zircón, provienen de las rocas metavolcánicas y volcánicas de la Formación Alisitos, enclavadas en la parte este de la zona de estudio.

CONCLUSION

Los arroyos contribuyen con cantidades poco considerables de sedimentos a la región costera y son los procesos erosivos sobre los escarpes costeros los que surten en gran medida a la zona litoral.

El origen de los sedimentos del área es dominado por la gran influencia de las rocas volcánicas y metavolcánicas de la Formación Alisitos. Esta dominancia refleja la asociación mineralógica definida por: hornblenda-sillimanita-magnetita-zircon y augita-egirina-hipersthene.

LITERATURA CITADA

Briggs, L.L. (1965) Heavy Minerals Correlations and Provenances J. of Sedimentary Petrol. 35(4):939 - 955

Carver, R.E., ed. (1971) Procedure in Sedimentary Petrology. New York, Wiley - Interscience; 653pp.

Duffett, W.N. (1969) Arroyo - Shoreline Relationship in Northwest BC, México. Ph.D. dissertation, Univ. of Colorado.

Fessenden, F.W. (1959) Removal of Heavy Liquid Separates from Glass Centrifuge Tubes. J. of Sedimentary Petrol.; 29:621.

Gastil, R.G., Phillips, R.P. and Allison, E.C. (1975) Reconnaissance Geology of the State of BC, Mexico. Geological Society of America. 170pp.

Pardee, J.T. (1934) Beach Placers of the Oregon Coast. Department of the Interior, Geology Survey; Circular 8, Washington, DC.

Pettijohn, F.J. (1957) Sedimentary Rocks. Harper & Brothers, New York. 731pp.

biotite - zircon, sillimanite - epidote. The moderately associative groups are: granite - epidote, hornblende - biotite, alterite - others, granite - alterite, hornblende - egirine, monazite - apatite, augite - zircon and opaque minerals - magnetite. From the previous groups the opaque minerals - monazite - hypersthene, granite - hypersthene, augite - egirine - magnetite - biotite associations are omitted, since they can come from any igneous rock of the locality. The augite - egirine - hypersthene, augite - enstatite - others associations come from basic rocks located between Punta San José and Punta Blanca, and conforming the cliffs of the site. The monazite - zircon and monazite - apatite associations indicate their origin in granitic rock present only in the south of the study area between Punta María and Punta Negra and also form cliffs. Low rainfall in the area and the fact that most streams are interrupted before reaching the shoreline, indicate a small contribution of material to the beaches. As for the cliff and physiographic features erosion of the area, its contribution is greater. This is backed up by the presence of euhedral crystals conforming the material of the beaches. Other associations formed by hornblende - sillimanite - magnetite - zircon, hornblende - biotite - augite - zircon come from the metavolcanic and volcanic rocks of the Alisitos Formation, ripped up in the east of the study area.

CONCLUSIONS

The streams contribute with small quantities of sediments to the coastal region and the erosive processes on the coastal scarps supply significantly the littoral area.

The origin of the sediments of the area is dominated by the great influence of the volcanic and metavolcanic rocks of the Alisitos Formation. This dominance reflects the mineralogic association defined by: hornblende - sillimanite - magnetite - zircon and augite - egirine - hypersthene.

Katarzyna Michejda translated this paper into English

Chee Barragán, A. y Pérez Higuera, R. - Proveniencia

Pettijohn, F.J., Potter, P.E. and Siever, R. (1972) Sand and Sandstones; Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg, 618pp.

Rossemblum, S. (1958) Magnetic Susceptibilities of Minerals in the Frantz-Isodynamic Separator. American Mineralogy; 43:170-173.

Royse, Ch. (1970) An Introduction to Sediment Analysis. Arizona State University. 130pp.

Van Andel, Tj. H. (1955) Recent Sediments of the Rhone Delta; II, Sources and Deposition of Heavy Minerals; Geol. Mijnbouwkunding Genootschap Nederland, Verhand. 15:516-556.