

ORIGEN DEL DEPOSITO SEDIMENTARIO DE LA ISLA NORTE DE TODOS SANTOS, B.C., MEXICO

ORIGIN OF A SEDIMENTARY SEQUENCE ON THE NORTH ISLAND OF TODOS SANTOS, B.C., MEXICO

Ana Luz Quintanilla Montoya¹
Francisco Suárez Vidal²

¹ Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California, México.

² División Ciencias de la Tierra
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
Apartado Postal 2732
Ensenada, Baja California, México

Recibido en noviembre de 1990; aceptado en junio de 1991

RESUMEN

En la Bahía de Todos Santos, Baja California, se encuentran localizadas las islas de Todos Santos. En la isla norte se ubica un pequeño depósito sedimentario de alrededor de 160 m de longitud y 18 m de altura. Los sedimentos finos que constituyen esta unidad están asociados con conglomerados y brechas sedimentarias de forma intercalada. Estructuralmente, este depósito está afectado por fallas normales con rumbo predominante NE-SO y echado hacia el Este.

Las estructuras sedimentarias primarias en esta secuencia se encuentran representadas por grietas de desecación y gotas de lluvia, las cuales se presentan en las partes bajas del depósito. El tipo de litología sedimentaria consta básicamente de arcosas, arcillas, limos, tobas y conglomerados, y la parte volcánica de andesitas y basaltos.

Debido a la carencia de fósiles dentro del depósito, la determinación de la edad se establece mediante la correlación con otras secuencias sedimentarias ya conocidas como son: la Formación Rosarito Beach (Miembro Las Glorias), los basaltos y tobas de La Misión y El Descanso, y las Islas Coronado, proponiéndose el Mioceno como edad para dicho depósito. Lo anterior lleva implícito que la fuente del material volcánico se localizó al oeste de la actual línea de costa y que la secuencia sedimentaria tiene su origen al este.

En este estudio se determinó, en función de las texturas y estructuras sedimentarias, que el ambiente de depositación fue subaéreo, que la naturaleza del sedimento es típica de un abanico aluvial y que este depósito sedimentario es la parte proximal de dicho abanico.

ABSTRACT

The Todos Santos Islands are located within Todos Santos Bay, Baja California. A small sedimentary sequence of about 160 m length and 18 m height is located on the north island. The fine sediments that constitute this unit are associated with conglomerates and interbedded sedimentary breccias. Structurally, this sequence is affected by normal faults with a NE-SW dominant strike and a slip to the East.

Sedimentary structures in this sequence are found represented by mud cracks and raindrops, which are present in the lower part of the sequence. The sedimentary lithology basically

consists of arkoses, clays, muds, tuffs and conglomerates, and the volcanics are basalts and andesites.

Due to the lack of fossils, the age has been established through correlation with other sedimentary sequences known in the area such as: the Rosarito Beach Formation (Las Glorias Member), the basalts and tuffs of La Misión and El Descanso and the Coronado Islands. Therefore, we propose the age for this sedimentary sequence as Miocene. The source of the volcanic material was located to the west of the actual coastline and the sedimentary sequence originated to the east.

Based on sedimentary structures and textures, this study determined that the depositional environment of the sedimentary sequence was subaerial, that the nature of the sediment is typical of an alluvial fan and that this sequence belongs to the proximal part of this.

INTRODUCCION

Las islas de Todos Santos están constituidas litológicamente por dos tipos de rocas: una secuencia volcánica y una secuencia sedimentaria, esta última formada principalmente por conglomerados cuaternarios que descansan de manera discordante sobre las rocas volcánicas. El tipo de litología predominante corresponde a los afloramientos volcánicos, los cuales constituyen prácticamente toda la isla sur de Todos Santos. La litología predominante consta de andesitas, correspondiente a las de la Formación Alisitos, cuya edad se ha propuesto sea ubicada en el Cretácico Inferior: Albiano-Aptiano (Gastil *et al.*, 1975).

En relación a la isla norte de Todos Santos, la secuencia volcánica presente en ésta es prácticamente la misma a la isla sur; sin embargo, existe una diferencia litológica entre ambas islas y está dada por la presencia de un depósito sedimentario presente en la isla norte, el cual está constituido por areniscas, gravas, lutitas, tobas y algunos derrames volcánicos basálticos. Beal (1948) es el primero en asignar edades a estas litologías, ubicándolas como de edad Terciaria y Cuaternaria. Incluido en este depósito sedimentario se presentan brechas sedimentarias y conglomerados intraformacionales, cuya presencia se ve limitada a la zona del canal que divide a las dos islas.

Al establecer una correlación estratigráfica con otras secuencias sedimentarias en la región aledaña a Ensenada (Formación Rosario), se aprecia que la edad del depósito sedimentario en la isla norte es más reciente que el Cretácico Superior, posiblemente del Mioceno-Plioceno, lo que equivale a la Brecha de San Onofre y sus equivalentes laterales, la cual es secuencia representativa del tectonismo que dominó esta región durante el Mioceno (Stuart, 1974).

INTRODUCTION

The Todos Santos Islands are lithologically constituted by two types of rocks: volcanic and sedimentary sequences. The latter is mainly composed of Quaternary conglomerates that lie unconformable over the volcanic rocks. The dominant type of lithology corresponds to volcanic outcrops, which practically constitute the whole south island of Todos Santos. The volcanics on the islands consist of andesites equivalent to the Alisitos Formation. The age proposed for this formation is Lower Cretaceous: Albian-Aptian (Gastil *et al.*, 1975).

In relation to the north island of Todos Santos, the volcanic sequence is practically the same as the south island. However, there is a lithological difference between both and this is due to the presence of a sedimentary sequence on the north island, which consists of sandstones, gravel, shales, tuffs and some basaltic flows. Beal (1948) was the first to assign ages to these sequences, as Tertiary and Quaternary. There are some sedimentary breccias and intraformational conglomerates included in this sedimentary sequence, whose occurrence is limited to the channel zone located between the islands.

A stratigraphic correlation with other sedimentary sequences in the region close to Ensenada (Rosario Formation) has been established. The age of the sedimentary sequence in the north island is more recent than the Upper Cretaceous, perhaps Miocene-Pliocene, equivalent to the San Onofre Breccia and its lateral equivalents, which represents the tectonism that dominated the region during the Miocene (Stuart, 1974).

The early deposition of the material that constitutes the San Onofre Breccia during the Saucesian time (Yeats, 1973), sets the beginning of elevations and drifts in the limit

La depositación inicial del material que constituye la Brecha de San Onofre durante el tiempo Saucésiano (Yeats, 1973) marca el inicio de elevaciones y derivas en el límite del borde continental, y se localiza la zona de aporte al oeste de la actual línea de costa. Stuart (1974) subdivide la Brecha de San Onofre en tres litofacies, distinguidas sobre las bases de brechas y matrices de conglomerados, estratos característicos, litología gruesa y mapeabilidad. Estas tres litofacies son: (1) facies de areniscas gradadas, (2) facies arenosas y (3) facies lodosas.

Dentro de los trabajos geológicos desarrollados en estudios de secuencias miocénicas, se ha concluido que éstas se extienden desde el sur de Oceanside, California (EUA), y han sido localizadas hasta las Islas Coronado (Woodford, 1925; Lamb, 1978).

Los trabajos desarrollados sobre la geología y origen de las islas de Todos Santos han sido pocos, y ninguno había sido enfocado a resolver el origen de la secuencia sedimentaria presente en la isla norte. Entre otros autores se pueden mencionar los estudios de Lindemmel (1888, en Secretaría de Marina, 1974), quien describió que la isla está compuesta por areniscas y conglomerados pobremente estratificados, los cuales están inclinados hacia el NO. El aspecto de la playa en esta isla es similar a los descritos en la parte norte de la Bahía de Todos Santos. Lindgren (1889, en Secretaría de Marina, 1974) correlacionó los sedimentos de la isla norte con los presentes en Punta Banda pero las evidencias parecen ser insuficientes para justificar tal correlación.

Nelson (1954, en Secretaría de Marina, 1974) sugirió que las dos islas estuvieran conectadas por una cordillera submarina, pero esta hipótesis ha sido descartada, y Walton (1954) sugirió que pudo haber existido una cordillera anterior a la regresión del nivel del mar en el Pleistoceno o principios del Cuaternario, tiempo durante el cual el cañón submarino que se localiza entre la península de Punta Banda y la isla sur (Pou-Alberú, 1982; Wong *et al.*, 1980) fue cortado. Walton (1954) agregó que el depósito sedimentario de la isla norte puede representar el extremo distal de un abanico aluvial por su posición estructural y por la presencia de fracturas de lodo.

Pou-Alberú (1982) y Gutiérrez y Suárez (1988) llevaron a cabo estudios estructurales en el área de Punta Banda y las islas de Todos Santos, lo que los ha llevado a afirmar que en

of the continental border, and the source zone became located to the west of the actual coastline. Stuart (1974) subdivides the San Onofre Breccia in three lithofacies. These are distinguished on the basis of breccias and conglomerate matrix, characteristic strata, coarse lithology and mapeability. These three lithofacies are: (1) facies of graded sandstones, (2) sandy facies and (3) muddy facies.

Within the geological studies developed in Miocene sequences, it has been concluded that these are extended from the south of Oceanside, California (USA) to the Coronado Islands (Woodford, 1925; Lamb, 1978).

There are very few studies regarding the geology and origin of the Todos Santos Islands, and none of them focus on the problem of solving the origin of the sedimentary sequence present on the north island. Among other authors, the studies of Lindemmel (1888, in Secretaría de Marina, 1974) can be mentioned, who described that the island is composed of sandstones and poorly stratified conglomerates, which have a NW inclination. The appearance of the beach on this island is similar to the ones described in the northern part of Todos Santos Bay. Lindgren (1889, in Secretaría de Marina, 1974) correlated the sediments of the north island with the ones present in Punta Banda but there is insufficient evidence to justify this correlation.

Nelson (1954, in Secretaría de Marina, 1974) suggested that these two islands could be connected by a submarine ridge, but this hypothesis has been discarded, and Walton (1954) suggested that a ridge previous to the regression of sea level in the Pleistocene or early Quaternary could have existed during the time that the submarine canyon (that is located between Punta Banda peninsula and the south island) was cut. The sedimentary sequence of the north island could represent the distal extreme of an alluvial fan due to its structural position and to the presence of mud cracks.

Pou-Alberú (1982) and Gutiérrez and Suárez (1988) carried out several structural studies in the area of Punta Banda and the Todos Santos Islands, which allowed them to make the assumption that the tectonic pattern is the same for both sites. This means that the Todos Santos Islands are included in the tectonic block of Punta Banda. The islands are connected through the basement by a

ambos sitios rige el mismo patrón tectónico, es decir, incluyen a las islas de Todos Santos en el bloque tectónico de Punta Banda, al cual se encuentran unidas por el basamento mediante un horst. Este patrón tectónico actuó sobre el área por lo menos hasta el Mioceno tardío.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el origen del depósito sedimentario presente en la isla norte de Todos Santos por medio de un estudio estratigráfico que incluye la cartografía de éste, la descripción litológica, el estudio de las estructuras sedimentarias presentes en dicha secuencia, y la determinación del ambiente de depositación de éste. Asimismo, el estudio establece las correlaciones con litologías ya conocidas para poder establecer las condiciones paleogeográficas y paleoceanográficas de la región. La edad de dicho depósito sedimentario se aproxima en este estudio a través de la correlación con otras secuencias que han sido fechadas en la región debido a la carencia de fósiles y minerales propios para llevar a cabo *in situ* tal estimación.

AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Todos Santos está localizada a 100 km al sur de la frontera México-Estados Unidos, sobre la costa occidental de Baja California, entre los paralelos 31°43' y 31°54' y entre los meridianos 116°36' y 116°49'. Presenta una superficie de más de 24,000 hectáreas en forma trapezoidal, con 18 km de largo y 14 km de ancho (Fig. 1). Las profundidades en la bahía están entre los 10 y 50 m, y el resto forma parte del angosto cañón submarino de Todos Santos, entre las islas del mismo nombre y Punta Banda, con salida al SO.

Dentro de la bahía se encuentran localizadas las islas de Todos Santos, aproximadamente a los 31°40' Norte y 116°40' Oeste, las cuales cierran parcialmente la mencionada bahía entre las proyecciones fisiográficas de Punta Banda (al sur) y Punta San Miguel (al norte). Las islas se encuentran separadas entre sí por un pequeño canal de aproximadamente 300 m de ancho.

De las dos islas, la isla sur es la más extensa. Su orientación es NO y tiene alrededor de 100 hectáreas de superficie con una elevación máxima de 95 m. Su composición es principalmente material volcánico andesítico,

horst. This tectonic pattern was active at least until the Upper Miocene.

The aim of this study is to determine the origin of the sedimentary sequence that is present on the north island of Todos Santos by means of a stratigraphic study that includes the cartography, the lithological description, the study of the sedimentary structures shown in the sequence and the determination of the depositional environment. Likewise, the study establishes the correlations with known lithologies in the area in terms of establishing the paleogeographic and paleoceanographic conditions of the region. The age of this sequence has been approximated through the correlation with other sequences that have been dated in the region due to the lack of fossils and adequate minerals to carry out this approach *in situ*.

STUDY AREA

Todos Santos Bay is located 100 km south of the Mexico-United States border along the western coast of Baja California, between parallels 31°43' and 31°54' and meridians 116°36' and 116°49'. It has a surface of more than 24,000 hectares with a trapezoidal shape, 18 km in length and 14 km in width (Fig. 1). Depths in the bay are between 10 and 50 m, and the rest form part of the narrow submarine canyon of Todos Santos, between the islands and Punta Banda, with an exit to the SW.

Todos Santos Islands are located within the bay, approximately at 31°40' North and 116°40' West. These islands partially close the bay between the physiographic projections of Punta Banda (to the south) and Punta San Miguel (to the north). The islands are separated by a small 300 m wide channel.

The south island is larger than the north island. Its orientation is NW and the surface is about 100 hectares with a maximum elevation of 95 m. The geology is mainly composed of andesites, and some basaltic flows are also present. An eruptive breccia type is the volcanic material and, in general, the rest of this forms a massive structure. Isolated rocks and cliff edges are the result of erosion of the borderline of the south island, but there are also some beaches that contain material which varies from coarse sand to pebbles. The lithology that conforms both islands is shown

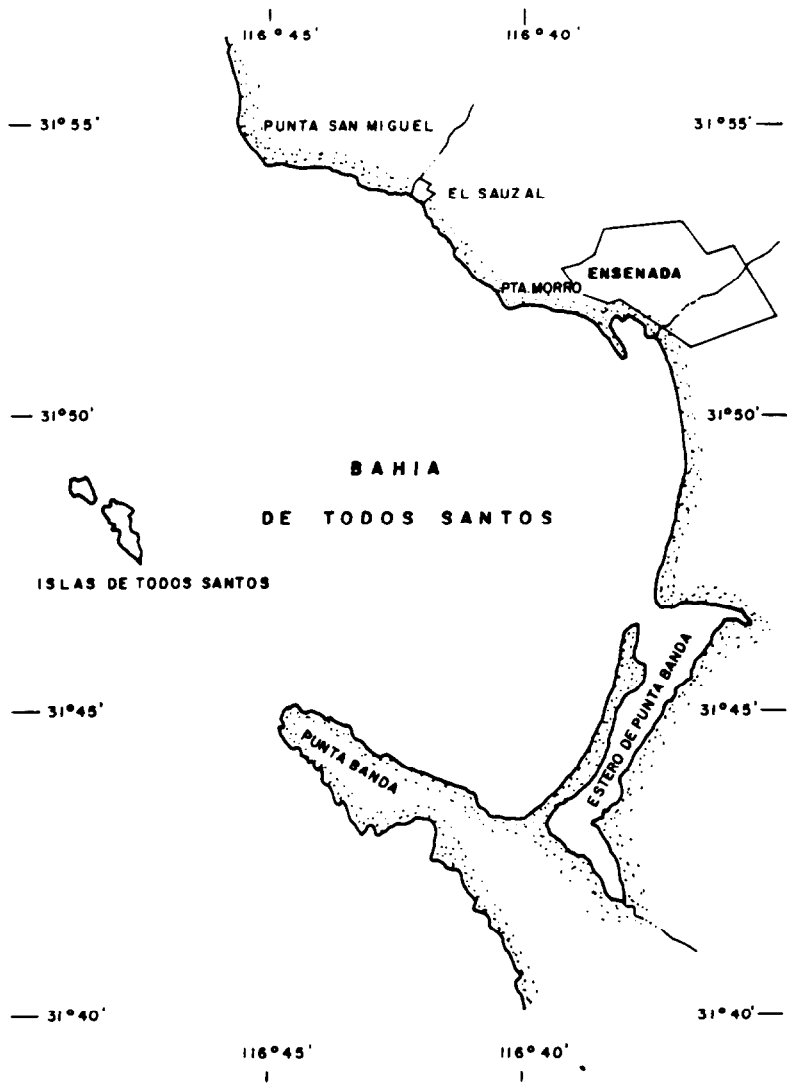


Figura 1. Localización del área de estudio.
Figure 1. Location of the study area.

con la presencia de algunos derrames de composición basáltica. El material volcánico es de la forma de brecha de explosión, y el resto forma una estructura masiva. La periferia de esta isla sur ha sido erosionada hasta formar cantiles marinos y rocas aisladas, con sólo algunas playas de bolsillo que contienen material que varía desde arenas gruesas hasta cantos rodados. La litología que constituye ambas islas se muestra en la Figura 2. La posición original de los estratos que constituyen la pared sedimentaria presente en la isla norte debió ser muy similar a la que actualmente guardan. Lo anterior se deduce del análisis de estructuras sedimentarias, tales como grietas de desecación y moldes formados por gotas de lluvia contenidos en los estratos. A través de estas estructuras se determinó la base de la secuencia estratigráfica, encontrando que toda ésta se encuentra en su posición original, habiendo únicamente sufrido un basculamiento inclinando los estratos hacia el SO (Quintanilla-Montoya, 1984).

Este material sedimentario se encuentra en discordancia angular con el material volcánico de las islas; sin embargo, debido a la presencia de estructuras tan frágiles como las grietas de desecación mencionadas, al excelente grado de conservación que muestran y a la forma física en que se presentan los estratos, se puede quizá deducir que en realidad los mismos se encuentran en el lugar de deposición (Pou-Alberú, 1982).

RESULTADOS

Estratigrafía

La elaboración de la columna estratigráfica para el depósito sedimentario de la isla norte (Fig. 3) consta de los siguientes estratos: (a) un conglomerado basal (espesor = 0.38 m), (b) toba (espesor = 1.34 m), (c) conglomerado (espesor = 0.49 m), (d) areniscas con brechas intercaladas (espesor = 0.40 m), (e) brecha (espesor = 0.24 m), y (f) arenisca (espesor = 5.0 m), siendo el espesor total resultante de 7.85 m. El echado de los estratos es de 27° NO.

La Figura 4 muestra el perfil estratigráfico y estructural del depósito sedimentario, y en la Tabla 1 se muestran los datos estructurales de los afloramientos, los espesores reales de los estratos, las longitudes de los transectos y la altura del acantilado.

in Figure 2. The original position of the strata that constitute the sedimentary sequence of the north island must be similar to the one that actually exists. This has been inferred from the analysis of the sedimentary structures such as the mud cracks and moulds formed by raindrops contained within the strata. The base of the stratigraphic sequence has been determined throughout these structures. It was found to be in the original position, which has only suffered a tilting of the strata to the SW (Quintanilla-Montoya, 1984).

The sedimentary material is found in an angular unconformity with respect to the volcanic material of the islands. However, it can be inferred that the material represents the original depositional environment due to the presence of such weak structures as the mud cracks, the excellent degree of conservation, as well as the physical shape (Pou-Alberú, 1982).

RESULTS

Stratigraphy

The stratigraphic column for the sedimentary sequence of the north island (Fig. 3) is mainly composed of: (a) a basal conglomerate (thickness = 0.38 m), (b) a tuff (1.34 m), (c) another conglomerate (0.49 m), (d) sandstones with intercalated breccias (0.40 m), (e) breccia (0.24 m), and (f) sandstone (5.0 m), being the total thickness of 7.85 m and the dip of the strata of 27° NW.

Figure 4 shows the structural and stratigraphic profile of the sedimentary sequence and the structural data of the faults, the real thickness of the strata, the length of the transects and the cliff height are shown in Table 1.

Sedimentology and mineralogy

Based on the mineralogical analysis, the predominant sedimentary lithology type are arkoses (Folk, 1980) which vary in color from gray to pink. Associated to these, there is a great influence of impure volcanic quartz, that comes from the tuffs that were found interbedded within the sedimentary sequence. This is an important fact according to Pettijohn (1975), who supposes that a sandstone is intimately related to a tuff by aerodynamical

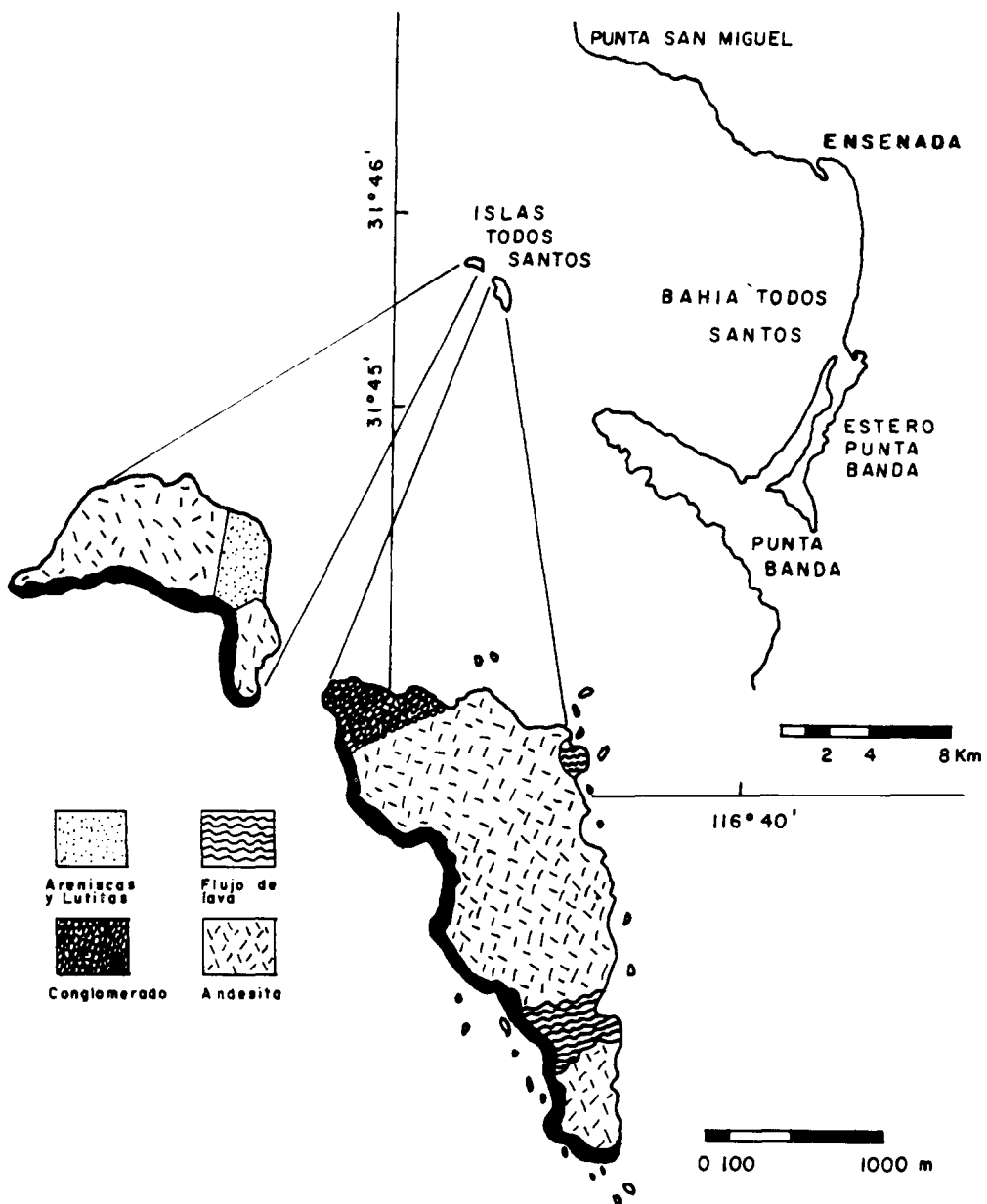


Figura 2. Mapa geológico de las islas de Todos Santos y su localización geográfica.
Figure 2. Geologic map of the Todos Santos Islands and their geographic location.

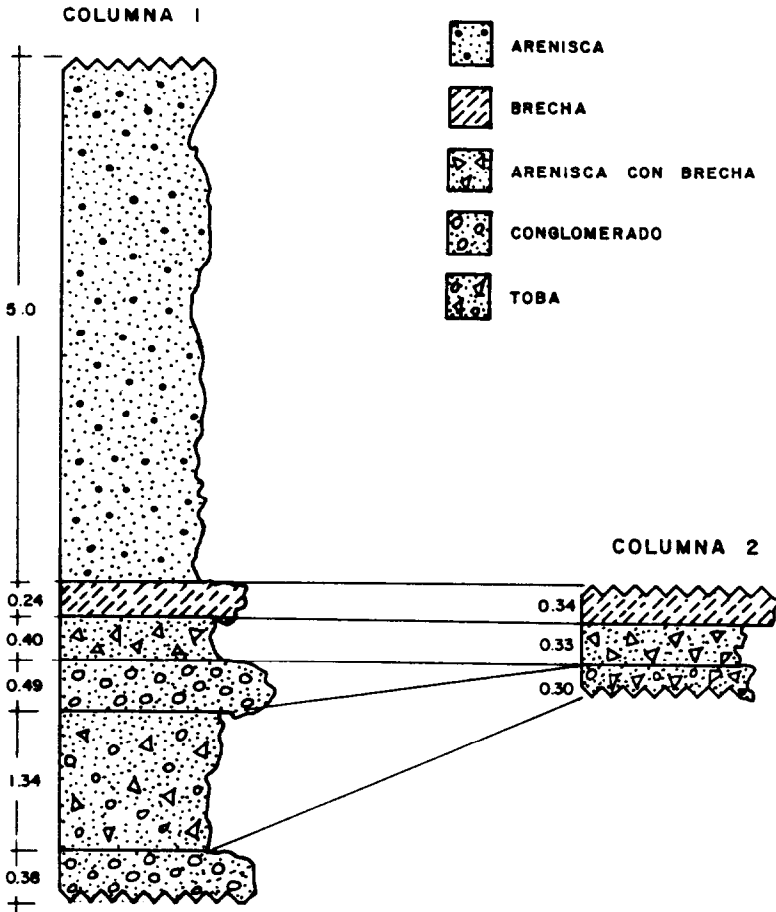


Figura 3. Columna estratigráfica del depósito sedimentario de la isla norte de Todos Santos.
Figure 3. Stratigraphic column of the sedimentary sequence of the north island of Todos Santos.

Sedimentología y mineralogía

Con base en el análisis mineralógico, el tipo de litología predominante son arkosas (Folk, 1980) que varían en su color de gris a rosado. Asociado con éstas, se tiene una gran influencia de cuarzos volcánicos con impurezas, provenientes de las tobas que se encontraron intercaladas en la secuencia sedimentaria. Es importante mencionar esto ya que Pettijohn (1975) supone que una arenisca se encuentra íntimamente relacionada con una

and hydrodynamical processes that govern the accumulation of each one of these.

The textural maturity of the sediments in the stratigraphic column is poor. They show several textures in terms of size (coarse and fine sands and shales). The dominant grain sizes of the sandstones are around 3.5 ϕ (Folk, 1980). Associated to the sandy bodies there is a high content of clays (Fig. 5).

Most of the grains show angular to subangular shapes, which indicate a short transport, and it can be inferred that the

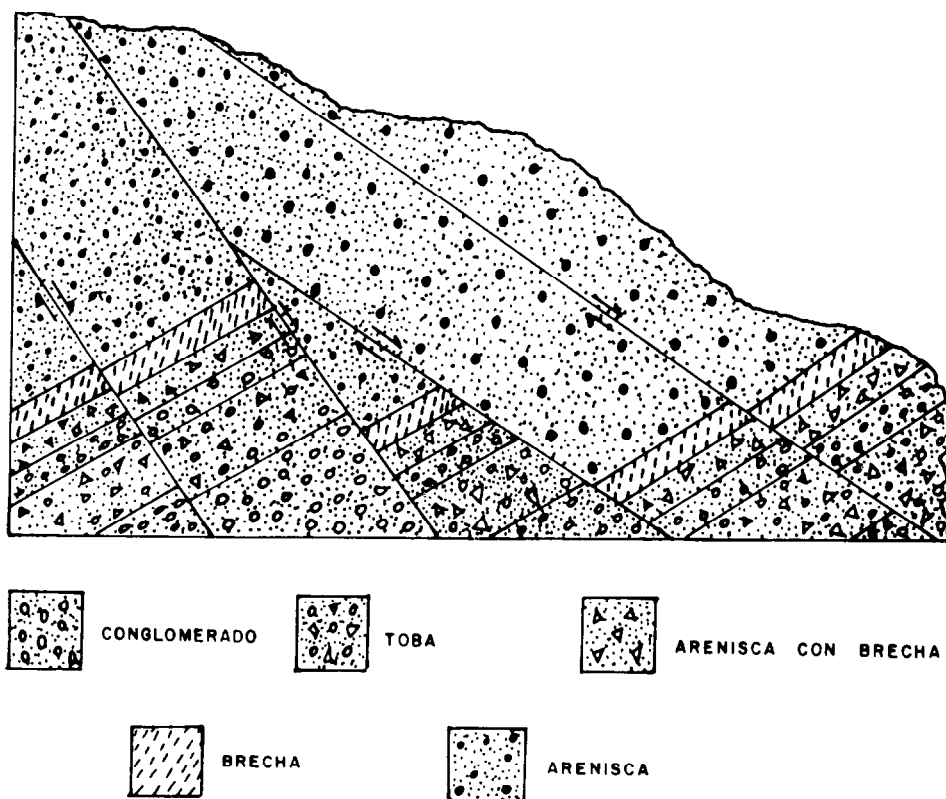


Figura 4. Perfil estratigráfico y estructural del depósito sedimentario de la isla norte de Todos Santos.

Figure 4. Stratigraphic and structural profile of the sedimentary sequence of the north island of Todos Santos.

toba por los procesos aerodinámicos e hidrodinámicos que gobiernan la acumulación de cada una de éstas.

La clasificación de los sedimentos presentes en la columna estratigráfica es pobre, presentando éstas texturas variadas en cuanto a tamaños (arenas gruesas, finas y lutitas), con predominio de las areniscas cuyos tamaños de grano son de alrededor de 3.5ϕ (Folk, 1980). Asociado a los cuerpos arenosos se encuentra un alto contenido de arcillas (Fig. 5).

Los granos, en su mayoría, presentan formas subangulosas a angulosas, lo cual nos indica que el transporte ha sido casi nulo en éstos, y se infiere que la depositación se haya llevado a cabo rápidamente.

deposition could have been carried out quickly.

Based upon different studies that have been carried out in sediments of Miocene age of the coastal region from Oceanside, California, USA, to La Misión, Baja California, Mexico, it has been assumed that the possible source area was located west-east, supposing with this that the volcanic structures were found located to the west of the actual coastline at an undetermined distance (Minch, 1967; Hofman, 1969; Lamb, 1978; Pendarvis, 1969; Schulte, 1966). However, during the period of volcanic calm, there was an influence of sediments from the continent, from east-west. These are represented by the lesser

Tabla 1. Datos estructurales del depósito sedimentario de la isla norte de Todos Santos.
Table 1. Structural data of the sedimentary sequence of the north island of Todos Santos.

Datos	División por transectos			
	A-B	B-C	C-D	D-E
Fallas:				
Rumbo	56° NO	54° NO	34° NO	35° NO
Echado*	53° E	55° E	51° E	59° E
Altura del acantilado	18.21 m	17.20 m	10 m	5.90 m
Espesor real de la columna	8.26 m	7.80 m	4.53 m	2.67 m
Longitud del transecto	33 m	40 m	43 m	50 m

* El echado de los estratos fue 27° NO.

Derivado de los resultados de estudios llevados a cabo en la región costera desde Oceanside, California, EUA, hasta La Misión, Baja California, México, en sedimentos miocénicos, se deduce que debido al vulcanismo miocénico presente en esta zona, la posible fuente de aporte haya sido oeste-este, suponiendo con esto que los aparatos volcánicos se encontraron localizados a alguna distancia no determinada al oeste de la actual línea de costa (Minch, 1967; Hofman, 1969; Lamb, 1978; Pendarvis, 1969; Schulte, 1966). Por otro lado, durante el período de calma volcánica se tuvo la influencia de sedimentos provenientes del continente, es decir este-oeste. Estos están representados por los sedimentos menos angulosos y de tamaños más homogéneos.

Las areniscas presentes en el depósito sedimentario constan básicamente de una combinación de minerales esenciales, tales como cuarzos, presentes en variados colores y con o sin impurezas; feldespatos cálcicos, y los minerales accesorios encontrados que fueron turmalinas, hematitas, flogopitas, hornblendas y zircones. Existen también fragmentos de rocas provenientes de las secuencias volcánicas que se encuentran alrededor. Estos fragmentos de roca no exceden al 1%.

Los conglomerados presentes en la secuencia están compuestos en su totalidad por fragmentos de roca cuyos clastos son de origen volcánico y plutónico (basaltos y granitos),

angular sediments of more homogeneous sizes.

The sandstones in the sedimentary sequence are basically composed of minerals such as quartz, in different colors and some of them with impurities; calcic feldspars, and some varieties as tourmalines, hematites, phlogopites, hornblends and zircons. The rock fragment fractions do not exceed 1% and are mostly volcanic similar to the ones that surround the region.

The conglomerates present in the sequence are composed of rock fragments from volcanic and plutonic origin (basalts and granites), within a matrix of sandstones.

The tuffs are rich in quartz crystals, glass and some calc-alkaline feldspars.

Structural

Pou-Alberú (1982) and Gutiérrez and Suárez (1988) proposed that the Todos Santos Islands belong to the same tectonic block of Punta Banda. They are linked to the basement by a horst. Hence, there is a direct dependency between the local tectonic pattern of the islands and the one that regionally governs Todos Santos Bay.

This has been confirmed based on evidence that permits the tectonic association of the Todos Santos Islands with the peninsula of Punta Banda, due to the lithology found at both sites. The lithology in Punta Banda corresponds to volcanic rocks that belong to

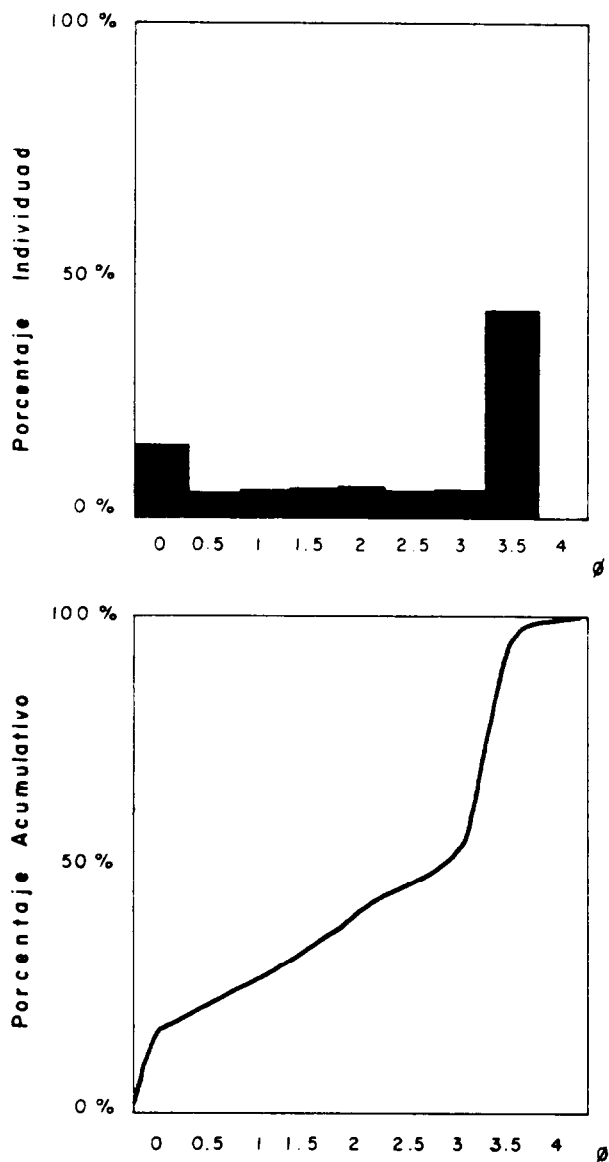


Figura 5. Tamaño de grano de los sedimentos presentes en el depósito sedimentario de la isla norte de Todos Santos.

Figure 5. Grain size of the sediments of the sedimentary sequence of the north island of Todos Santos.

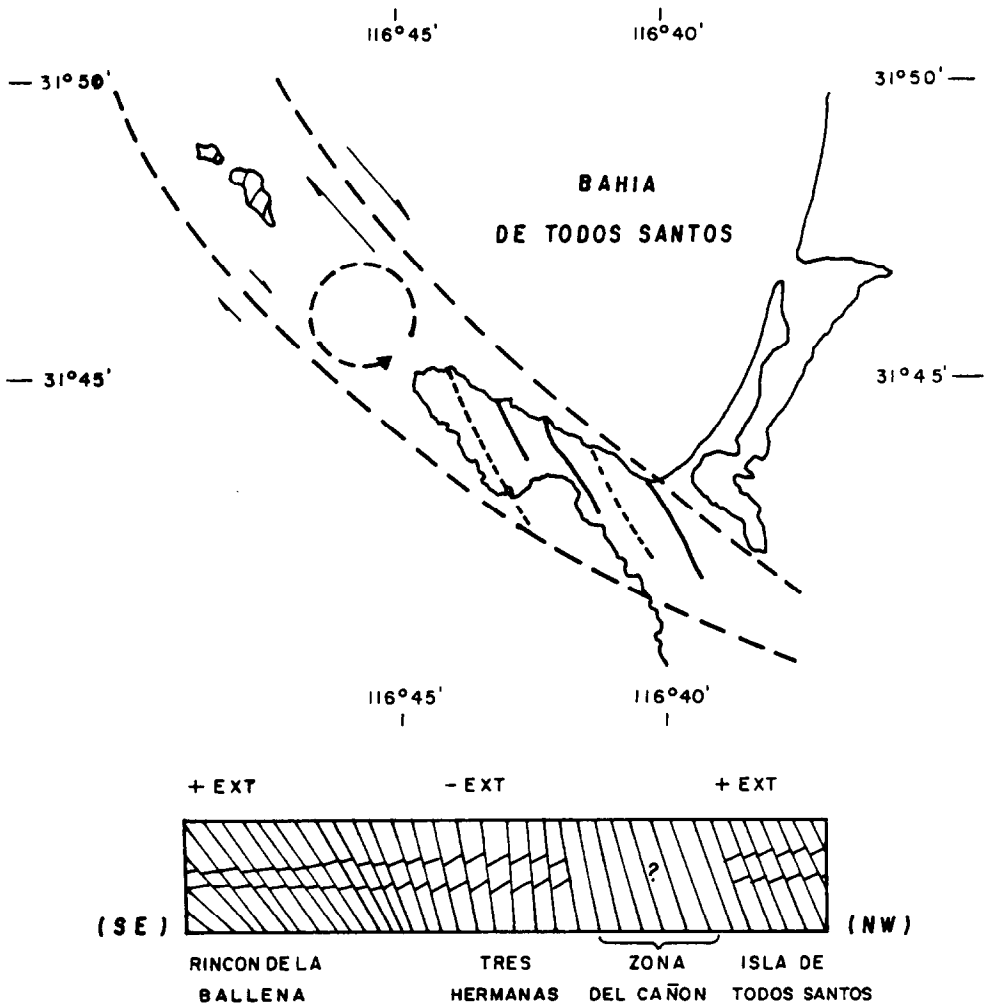


Figura 6. Histograma con la frecuencia del porcentaje de extensión en el área de estudio indicando la variación de extensión en función de la distancia (tomado de Gutiérrez y Suárez, 1988).

Figure 6. Histogram with the frequency of the percentage of extension in the study area indicating the variation of the extension according to the distance (taken from Gutiérrez and Suárez, 1988).

con la matriz de la arenisca mencionada anteriormente.

Las tobas constan, a su vez, de fragmentos de roca ricos en cristales de cuarzo, vidrio y algunos feldespatos cálcico-potásicos.

Estructural

Pou-Alberú (1982) y Gutiérrez y Suárez (1988) proponen que las islas de Todos Santos

the western extreme of the Alisitos Formation, that is from the Tres Hermanas camp site (Gastil *et al.*, 1975), and comprises rocks such as andesites, mainly composed of plagioclase phenocrystals. This same association could be seen at Todos Santos Islands, suggesting that there is a strong correlation between the islands and the continent at least for the deposition period of the Alisitos Formation in the Lower Cretaceous (Pou-Alberú, 1982).

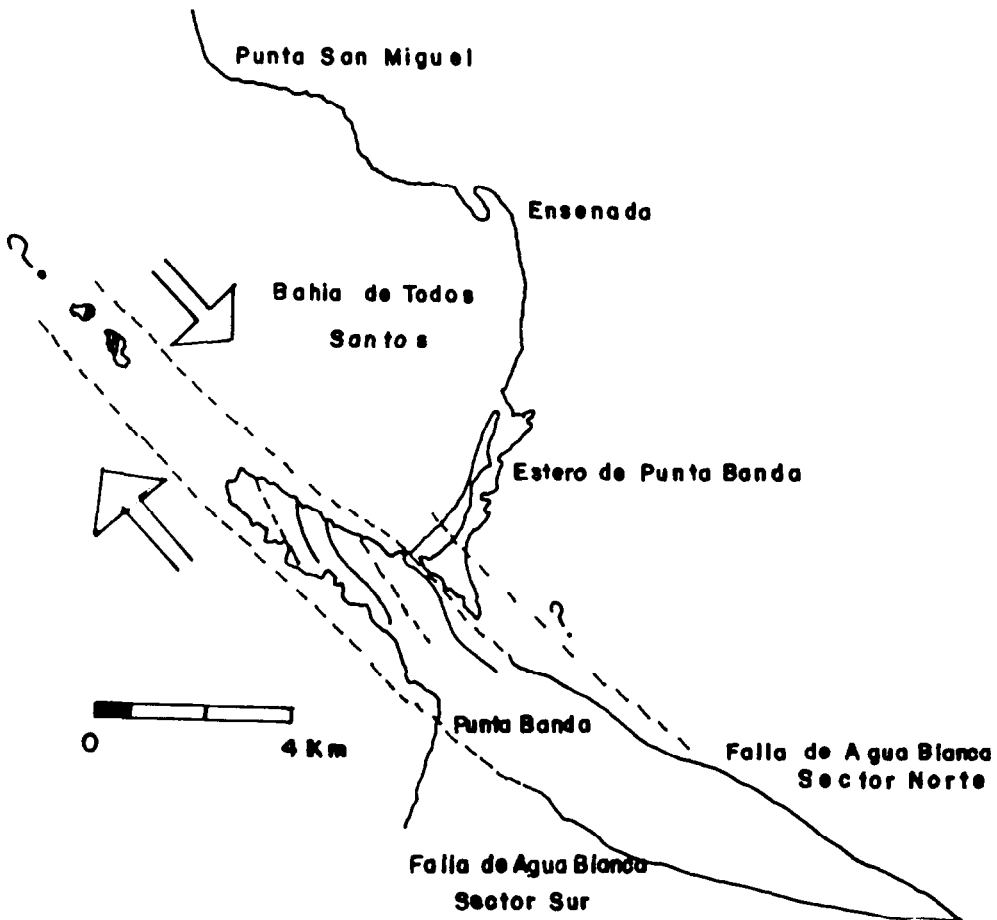


Figura 7. Contexto tectónico regional
Figure 7. Regional tectonic context.

forman parte del bloque tectónico de Punta Banda, al cual se encuentran unidas por el basamento mediante un horst. Así, pues, existe una dependencia directa entre el patrón tectónico local de las islas y el que rige regionalmente a la Bahía de Todos Santos.

Esto se ha afirmado con base en una serie de evidencias que permiten la asociación tectónica de las islas de Todos Santos con la península de Punta Banda, en gran parte debido a la litología presente en ambos sitios. En Punta Banda dicha litología corresponde a rocas volcánicas pertenecientes a la Formación Alisitos en su extremo oeste, es decir a partir

The Punta Banda peninsula is flanked on the north by the northern branch of the Agua Blanca Fault. This fault extends to the northeast of Todos Santos Bay, also flanking the Todos Santos Islands (Allen *et al.*, 1960; Gastil *et al.*, 1975; Wong, 1980). This study suggests that the southern sector of the Agua Blanca Fault controls the south coast of Punta Banda and reaches the Pacific Ocean, following a semiparallel direction with respect to the northern sector.

Gutiérrez and Suárez (1988) determined the relation between the origin of the normal faulting in the Punta Banda peninsula, the

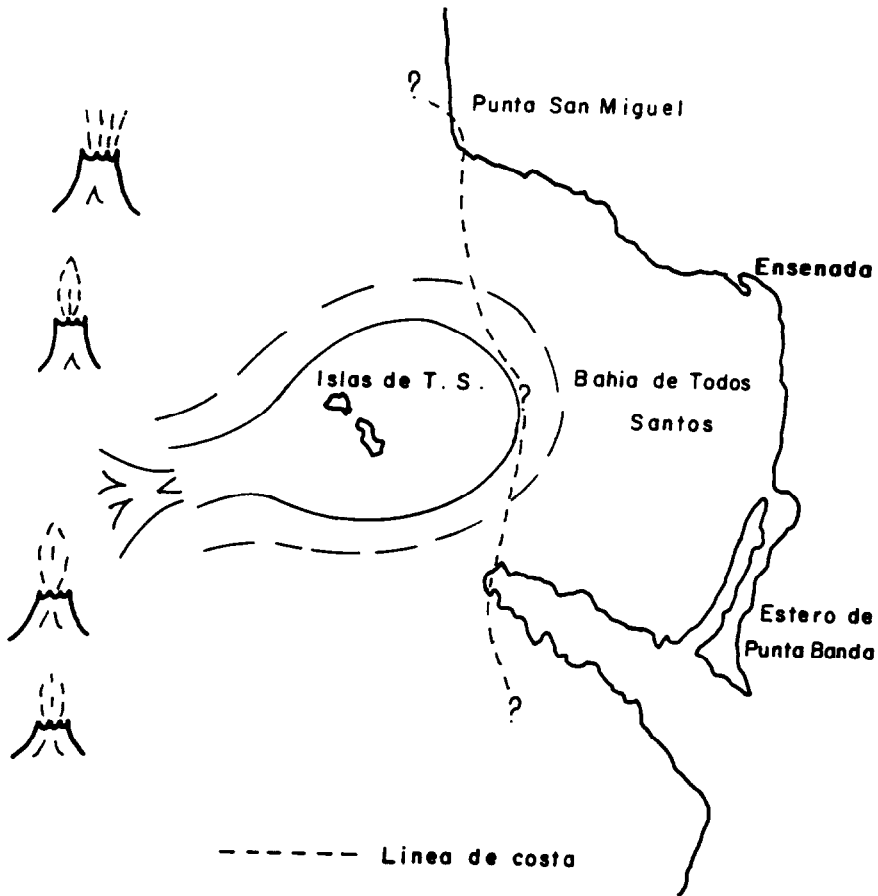


Figura 8. Paleogeografía durante la deposición del depósito sedimentario de la isla norte de Todos Santos.

Figure 8. Paleogeography during the deposition of the sedimentary sequence of the north island of Todos Santos.

del campo turístico de Tres Hermanas (Gastil *et al.*, 1975), y comprende rocas del tipo andesitas, formadas principalmente por fenocristales de plagioclasas. Esta misma asociación se puede observar en las islas de Todos Santos, lo cual sugiere una estrecha correlación entre las islas y el continente por lo menos durante el período de deposición de la Formación Alisitos en el Cretácico Inferior (Pou-Alberú, 1982).

La península de Punta Banda se encuentra flanqueada al norte por el sector norte de la Falla de Agua Blanca, misma que se prolonga hacia el noroeste en la Bahía de

faults that were found in the sedimentary sequence of the north island of Todos Santos and the Agua Blanca Fault by means of an adaptation of Thompson's (1960) method on extensional tectonic, applied by Angelier and Colleta (1983). Furthermore, they found that the region has been controlled by an extension process, with a percentage that varies from 5% to 35%, attributed to the variation of movement that exists between the two branches of the Agua Blanca Fault, which has generated a larger extension in Punta Banda and a lesser one in the Todos Santos Islands until the late Miocene (Fig. 6).

Todos Santos flanqueando también a las islas de Todos Santos (Allen *et al.*, 1960; Gastil *et al.*, 1975; Wong, 1980). Se sugiere que el sector sur de la Falla de Agua Blanca controla la costa sur de Punta Banda y se interna en el Océano Pacífico siguiendo una dirección semi-paralela a la del sector norte.

Gutiérrez y Suárez (1988), mediante el uso de una adaptación al método de Thompson (1960) sobre tectónica extensional, aplicado por Angelier y Colleta (1983), determinaron la relación existente entre el origen de las fallas normales presentes en la península de Punta Banda, las encontradas en el depósito sedimentario de la isla norte de Todos Santos y la Falla de Agua Blanca. Además, obtienen que la región ha estado sujeta a un proceso extensivo cuyo porcentaje varía desde un 5% hasta un 35%, atribuible esta variación a la diferencia de movimiento que existe entre las dos ramas de la Falla de Agua Blanca, generando una mayor extensión en Punta Banda y menor en las islas de Todos Santos hasta el Mioceno tardío (Fig. 6).

El depósito sedimentario de la isla norte no obedece al régimen tectónico de las islas, por no tener relación cronológica ni ser geológicamente similar al resto del material formador de ésta (Fig. 7). Esta diferencia geológica y cronológica obedece fundamentalmente a la depositación posterior de la secuencia sedimentaria con respecto a la formación de la isla; sin embargo, el tectonismo postmiocénico que se hizo sentir en la región afectó igualmente a las islas y por ende al depósito sedimentario.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La historia del Mioceno en el noroeste de Baja California comienza con la depositación de areniscas tobáceas sobre una superficie de moderado relieve. Las fuentes del material incluyen material terrígeno provenientes del basamento de las rocas ubicadas al este y material tobáceo proveniente del vulcanismo del oeste (Minch *et al.*, 1984). Los primeros sedimentos se dice fueron areniscas volcanoclásticas y conglomerados. Estos fueron derivados del aporte volcánico proveniente del oeste, y no así del basamento ubicado al este. Las corrientes son la causa del acarreo de este tipo de sedimentos hacia la línea de costa.

La posición original de los estratos que constituyen la pared sedimentaria presente en

The sedimentary sequence of the north island is not affected by early tectonism because there is no chronological or geological relation with the rest of the material (Fig. 7). The difference in geology and chronology mainly obeys the later deposition of the sedimentary sequence with respect to the island formation; however, the Post-Miocenic tectonism that controlled the region affected the islands and therefore the sedimentary deposit.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The history of the Miocene in the northwestern portion of Baja California began with the deposition of tuff-sandstones over a moderate topography. The sources of the material include terrigenous material from the basement located to the east and some tuff material from the vulcanism on the west (Minch *et al.*, 1984). The first sediments were volcanoclastic sandstones and conglomerates. These were derived from the volcanic contribution from the west, not from the basement located to the east. Currents are the cause of the transport of fine sediments to the coastline.

The original position of the strata that compose the sedimentary sequence of the north island might be very similar to the actual one, because the direction of the bottom and top of the sequence was determined by means of mud cracks and the presence of raindrops that were collected in the same sequence (Quintanilla-Montoya, 1984).

In the Upper Miocene a period of vulcanism started, affecting the continental borderland. The first flows of this vulcanism were deposited over the Franciscan detritus that are found overlying the irregular basement of Cretaceous-Eocene age. These vulcanism periods (basaltic) that affected the continental borderlands were periodically interrupted due to explosive eruptions that originated the tuff rocks. These interruptions were more violent in the beginning of the deposition of the lapilli tuffs, taking these as reference for the next eruptive period (Minch, 1967). The basement erosion during Eocene time to the East provided clastic fine detritus, which started to mix with the tuffs, originating the tuff sandstones.

The basaltic vulcanism formed flows within the area throughout long periods and,

la isla norte debió ser muy similar a la que actualmente guardan, pues se pudo precisar la dirección del piso y techo mediante las grietas de desecación y la presencia de gotas de lluvia que fueron recolectadas en la misma pared (Quintanilla-Montoya, 1984).

Durante el Mioceno Superior se inició un período de vulcanismo que afectó al borde continental. Los primeros flujos de este vulcanismo fueron depositados sobre los detritus Franciscanos que se encuentran sobreyaciendo al basamento irregular de edad Cretácico-Eocénico. Estos períodos de vulcanismo (basáltico) que afectaron al borde continental fueron periódicamente interrumpidos debido a erupciones explosivas que dieron lugar a rocas tobáceas. Dichas interrupciones fueron más violentas en los inicios de la depositación de las tobas lapilli, tomándose como referencia éstas para el siguiente período eruptivo (Minch, 1967).

La erosión del basamento durante el Eoceno hacia el este suministró detritus clásticos finos, los cuales se fueron mezclando con las tobas formando así areniscas tobáceas.

El vulcanismo basáltico formó flujos dentro del área durante largos períodos y, a su vez, se fueron depositando sedimentos no marinos provenientes del este, los cuales fueron intercalándose dentro de las rocas basálticas o sobre ellas (Minch, 1967).

En la costa del Pacífico los depósitos miocénicos tardíos son conocidos por presentarse en varios puntos del borde continental. Entre los estudios más documentados en el área se encuentra el perteneciente a la Formación Rosarito Beach que fue estudiado por Minch (1967) y que consta de cinco miembros, con una sección expuesta que consta de menos de 400 m de espesor. De los cuatro miembros superiores presentes en esta Formación, se encuentran predominantemente rocas del tipo basalto con intercalaciones de areniscas y arcillas que han sido fechadas para el Mioceno. Este trabajo fue extendido por Minch *et al.* (1970) al llevarse a cabo otro estudio en el área de La Misión, donde las rocas fueron clasificadas como andesitas basálticas, y sobreyaciendo a éstas existen secuencias sedimentarias compuestas básicamente por areniscas y tobas de forma intercalada. La correlación de la Formación presente en La Misión con el depósito sedimentario presente en la isla norte de Todos Santos se descarta debido a la ausencia de fósiles en este último,

at the same time, non-marine sediments to the east started to be deposited and started to be included within the basaltic rocks or over these (Minch, 1967).

The late Miocene deposits on the Pacific coast are known because of their presence along the continental borderland. One of the most detailed studies carried out in the area is the one of Minch (1967) at the Rosarito Beach Formation, which is constituted by five members, with an exposed section less than 400 m thick. In the four upper members of this Formation, the predominant lithology is composed of basalts with some inclusion of sandstones and clays that have been dated as Miocene. The study by Minch *et al.* (1970) was extended to the area of La Misión, where the rocks were classified as basaltic andesites, and there are some sedimentary sequences mainly composed of sandstones and tuffs that overlie the volcanics. The correlation of La Misión Formation with the sedimentary sequence of the north island of Todos Santos has been discarded due to the lack of fossils in the last, whereas in the area of La Misión these are abundant. This correlation has also been discarded because the sands of La Misión are more lithic than the ones found at the north island.

The sedimentary sequence of the north island of Todos Santos can correlate with Las Glorias Member (from the Rosarito Formation). The lithological columns are similar to the one of the sedimentary sequence at the island. This lithology is mainly composed of basaltic volcanic rocks and sedimentary rocks. The lower sedimentary unit at Las Glorias Member within the Rosarito Beach Formation is composed of tuff sandstones (thickness = 2.6-6.6 m) of fine and coarse grain with angular shapes and with the presence of interbedded tuffs which are overlying the basaltic rocks. These present vesicularities, amigdules and porphyritic textures. The sandstones of Las Glorias Member consist of a mineralogy composed of quartz and feldspars, a typical arkose, which compared to the ones found on the north island is very similar both mineralogically and texturally as well as in its stratigraphic position.

Furthermore, the described sedimentary sequence of the north island of Todos Santos has been considered as a deposit originated under subaerial conditions. The presence of primary structures, such as mud cracks and

ya que en el área de La Misión son abundantes. También es descartada esta correlación debido a que las arenas de La Misión son más líticas que las de la isla norte.

El depósito de la isla norte de Todos Santos es asociado en este estudio al Miembro Las Glorias (perteneciente a la Formación Rosarito), ya que éste presenta una columna litológica muy similar a la descrita para la secuencia sedimentaria presente en la isla. Dicha litología consta básicamente de rocas volcánicas basálticas y rocas sedimentarias. En el Miembro Las Glorias, la unidad sedimentaria más baja dentro de la Formación Rosarito Beach está compuesta por areniscas tobáceas (espesor = 2.6-6.6 m) de grano fino y grueso, formas angulares y con presencia de tobas intercaladas las cuales se encuentran sobreyaciendo rocas basálticas con la particularidad de presentar vesicularidades, amígdulas y texturas porfíricas. Las areniscas de este Miembro (Las Glorias) consisten de una mineralogía compuesta por cuarzos y feldespatos, una típica arkosa, que comparada a las encontradas en la isla norte es muy similar tanto mineralógicamente y texturalmente como en su posición estratigráfica.

Ahora bien, la secuencia sedimentaria descrita y presente en la isla norte de Todos Santos la hemos considerado como un depósito formado bajo condiciones subaéreas; la presencia de estructuras primarias, como son las grietas de desecación y gotas de lluvia, así como la ausencia de fósiles y la naturaleza de los sedimentos nos indican que este depósito fue parte de un abanico aluvial, el cual en períodos intermitentes estuvo bajo la influencia de material volcánico proveniente de aparatos localizados al oeste de la actual línea de costa (Minch *et al.*, 1984). La posición del depósito en el abanico aluvial es incierta; sin embargo, pensamos que se localizaba en la parte proximal ya que tanto los conglomerados como areniscas presentan muy poco retrabajo, generando la textura de una roca inmadura, en la cual sus constituyentes antes de litificarse no sufrieron transporte o retrabajo severo. No obstante lo anterior, pudiese ser que el mismo depósito fuese la parte distal del abanico (Walton, 1954; Pou-Alberú, 1982), esto porque a su vez se desconoce el origen y fuente del abanico. Sin embargo, es posible que el origen estuviese localizado al oeste de la actual línea de costa, siendo entonces el depósito de la isla norte un segmento de la

raindrops, as well as the lack of fossils and the nature of the sediments, indicate that this deposit was part of an alluvial fan, which during episodic periods was under the influence of volcanic material from the structures located west of the actual coastline (Minch, 1984). The actual position of this deposit within the alluvial fan is unknown. However, it is assumed that it is part of the proximal section because the texture (immature) in the conglomerates and sandstones, indicates a short transport and small rework at the site of deposition. Despite the above, it could be said that the same deposit could be the distal section of the fan (Walton, 1954; Pou-Alberú, 1982) because the origin and source of the fan is not known. However, it is possible that the origin was located to the west of the actual coastline, hence the deposit of the north island is a segment of the proximal part of the fan and during the volcanic calm periods there could have been a contribution of sediments from the continent such as the conglomerates, which are composed of intrusive igneous material from the peninsular batholith (Fig. 8), which is more rounded than the basaltic and andesitic material located near the deposit zone.

English translation by Ana Luz Quintanilla M.

parte proximal del abanico y que durante los períodos de calma volcánica se tuviese aporte de sedimentos del continente como son los conglomerados cuyos clastos lo forman material ígneo intrusivo perteneciente al batolito peninsular (Fig. 8), el cual está más redondeado que aquel de tipo basáltico y andesítico que queda ubicado más cerca de la zona de depósito.

LITERATURA CITADA

- Allen, C.R., Silver, L.T. and Stahlis, F.G. (1960). Agua Blanca Fault - a major transverse structure of northern Baja California, Mexico. Geol. Soc. of Am. Bull., 71: 457-482.
- Angelier, J. and Colleta, B. (1983). Tension fractures and extensional tectonics. Nature, 301: 49-51.

- Beal, C.H. (1948). Reconnaissance of the geology and oil possibilities of Baja California, Mexico. *Geol. Soc. of Am., Memoir*, 31: 139 pp.
- Folk, L.R. (1980). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publ. Co., Austin, Texas, pp. 101-131.
- Gastil, R.G., Phillips, R.P. and Allison, E.C. (1975). Reconnaissance geology of the state of Baja California, Mexico. *Geol. Soc. of Am., Memoir*, 140: 170 pp.
- Gutiérrez, G.A. y Suárez, V.F. (1988). Reconstrucción tectónica de la Falla de Agua Blanca en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 14(2): 15-28.
- Hofman, G.R. (1969). *Geology of La Mision, Baja California, Mexico*. Unpublished senior report, San Diego State Univ., Vol. 13.
- Lamb, N.T. (1978). Natural history of the Coronado Island, Baja California. Mexico, In: T. Herman and H.T. Kuper (eds.). *San Diego Assoc. of Geologists*, pp. 12-94.
- Minch, J.A. (1967). Stratigraphy and structure of the Tijuana-Rosarito Beach Area, northwestern Baja California, Mexico. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 78: 1155-1177.
- Minch, J.S., Schulte, K.C. and Hofman, G. (1970). A Middle Miocene age for the Rosarito Beach Formation in northwestern Baja California, Mexico. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 81: 3149-3154.
- Minch, J.A., Ashby, J.R., Demére, T.A. and Kuper, H.T. (1984). Correlation and depositional environments of the Middle Miocene Rosarito Beach Formation of northwestern Baja California, Mexico. In: J.A. Minch and J.R. Ashby (eds.), *Miocene and Cretaceous Depositional Environments, Northwestern Baja California, Mexico*. Pacific Section A.A.P.G., 54: 33-46.
- Pendarvis, L.D. (1969). *Geology of the El Descanso area, northwestern Baja California, Mexico*. Unpublished senior report, San Diego State Univ., Vol. 14.
- Pettijohn, E.J. (1975). *Sedimentary Rocks*. Third edition. Harper & Row Publ. Inc., 628 pp.
- Pou Alberú, S. (1982). *Estudio de la tectónica de las islas Todos Santos, Baja California, México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, Baja California, México.
- Quintanilla Montoya, A.L. (1984). *Origen del depósito sedimentario de la isla norte de Todos Santos, Baja California*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC, 34 pp.
- Schulte, K.C. (1966). *Geology of an area of La Mision, Baja California*. Unpublished senior report, San Diego State Univ., Vol. 10.
- Secretaría de Marina (1974). *Estudio oceanográfico de la región de Ensenada, Baja California, México*. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, México, D.F., pp. 131-157.
- Stuart, C.J. (1974). The San Onofre Breccia in northwestern Baja California and its regional implications in geology of peninsular California Pacific Sections. *Am. Assoc. of Petroleum Geologists and Mineralogists and Soc. Expl. Geophys.*, pp. 80-90.
- Thompson, G.A. (1960). Problem of late Cenozoic structure of the basin and range. In: *Modes of Extensional Tectonics. J. of Structural Geology*, 4(2): 105-115.
- Walton, W.R. (1954). Ecology of living benthonic foraminifera in Todos Santos Bay, Baja California. *J. of Paleontology*, 29: 952-1018.
- Wong, O.V. (1980). *Implicaciones tectónicas de la Falla de Agua Blanca en la Bahía de Todos Santos, Ensenada, B.C.* Tesis de Maestría, CICESE, 80 pp.
- Woodford, A.O. (1925). *The San Onofre Breccia*. Univ. of California, Published Bull. Dept. of Geology Sci., 15: 159-280.
- Yeats, R.S. (1973). *Newport-Inglewood fault zone, Los Angeles Basin, California*. *Am. Assoc. of Petroleum Geologists Bull.*, 57: 117-135.