

**INTERPRETACION GEOLOGICA Y PALEOCEANOGRAFICA DE
LOS MIEMBROS LA MISION Y LOS INDIOS DE LA
FORMACION ROSARITO BEACH (MIOCENO MEDIO),
BAJA CALIFORNIA, MEXICO**

**GEOLOGICAL AND PALEOCEANOGRAPHIC INTERPRETATION OF
THE LA MISION AND LOS INDIOS MEMBERS OF THE
ROSARITO BEACH FORMATION (MIDDLE MIOCENE),
BAJA CALIFORNIA, MEXICO**

Jorge Ledesma Vázquez
J. José Káser Zubillaga

Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California, México

Ledesma Vázquez, J. y Káser Zubillaga, J.J. Interpretación geológica y paleoceanográfica de los miembros La Misión y Los Indios de la Formación Rosarito Beach (Mioceno Medio), Baja California, México. Geological and paleoceanographic interpretation of the La Misión and Los Indios members of the Rosarito Beach Formation (Middle Miocene), Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 15(3): 21-44, 1989.

RESUMEN

Se realizó un estudio petrológico, estratigráfico y paleontológico de los miembros La Misión y Los Indios de la Formación Rosarito Beach (Mioceno Medio), la cual fue depositada dentro de la Provincia del Borde Continental Californiano y adyacente a las provincias de las Cadenas Peninsulares. El Miembro La Misión está representado por basaltos de flujos subaéreos y por sedimentos piroclásticos y diatomáceos. Los basaltos son de tipo toleítico y calcico-alcalino, y derivan de una fuente de suministro que debía localizarse al Oeste de la Provincia Peninsular. Los sedimentos piroclásticos (toba, toba lapilli y ceniza volcánica) del Miembro Los Indios muestran una composición riolítica y en varias capas del mismo se presentan abundantes megafósiles de invertebrados (gasterópodos y pelecípodos), dientes de tiburón y placas dentales de raya.

Los sedimentos diatomáceos están constituidos por minerales de cuarzo, feldespato y por microfósiles de diatomeas, silicoflagelados y espículas silíceas de esponjas.

El modelo de emplazamiento para los flujos basálticos se fundamenta en la idea de una serie de fisuras en el basamento preexistente del Arco Jurásico-Cretácico por los cuales extruye el material basáltico constituyendo la plataforma o basamento del Miembro La Misión. Los sedimentos piroclásticos fueron depositados sobre el basamento ígneo durante un período de vulcanismo explosivo siguiendo a este evento un período de fallamiento de tipo normal al inicio de la formación del Borde Continental Californiano. Los sedimentos diatomáceos se depositaron como consecuencia de condiciones de surgencia, alta productividad primaria, la presencia de una capa de oxígeno mínimo en la columna de agua y de los cambios climáticos al inicio de la

glaciación de finales del Mioceno Medio asociado con las cuencas formadas por el tectonismo desarrollado. Las asociaciones de microfósiles reflejan profundidades entre los 200 y 450m, de ambiente de plataforma con masas de agua fría predominantes sobre masas de agua cálidas.

ABSTRACT

A petrological, stratigraphic and paleontological study was carried out on the La Misión and Los Indios members of the Rosarito Beach Formation (Middle Miocene), which was deposited within the California Continental Borderland Province and adjacent to the Peninsular Ranges Province. La Misión Member is represented by subaerial flux basalts and by pyroclastic and diatomaceous sediments. The basalts are of a tholeiitic and calcic-alkaline type and derive from a supply source which should be located to the west of the Peninsular Province. The pyroclastic sediments (tuff, tuff-lapilli and volcanic ash) of the Los Indios Member show a rhyolitic composition, and abundant invertebrate megafossils (gasteropods and pelecypods), shark teeth and ray dental plates are present in several of its beds.

The diatomaceous sediments are formed by quartz minerals, feldspar and by diatom microfossils, silicoflagellates and siliceous spicules of sponges.

The emplacement model for the basaltic fluxes is based on the idea of a series of fissures in the pre-existent basement of the Jurassic-Cretaceous Arc through which the basaltic material extrudes forming the platform or basement of the La Misión Member. The pyroclastic sediments were deposited over the igneous basement during an explosive vulcanism period. A period of normal type faulting followed this event at the beginning of the formation of the California Continental Borderland. The diatomaceous sediments were deposited as a consequence of upwelling conditions, high primary productivity, the presence of a layer of minimum oxygen in the water column and climatic changes at the beginning of the glaciación at the end of the Middle Miocene associated with the basins formed by the tectonism developed. The associations of microfossils reflect depths between 200 and 450m, of platform environment with masses of cold waters predominant over masses of warm waters.

INTRODUCCION

El Mioceno en el Noroeste de la Península de Baja California provee de una amplia información sobre la estratigrafía y ambientes depositacionales que pueden ser encontrados en el Borde Continental Californiano (Minch *et al.*, 1984).

La Formación Rosarito Beach y sus correlativas fueron depositadas dentro de la Provincia del Borde Continental Californiano y la Provincia de las Cadenas Peninsulares mostrando dicha unidad de roca una gran variedad de litologías y faunas que varían de los basaltos de flujos subaéreos, sedimentos piroclásticos (tobas, brechas, toba-lapilli, ceniza volcánica) hasta sedimentos diatomáceos, areniscas tobáceas, conglomerados y coquinas con abundantes megafósiles de invertebrados como gasterópodos, pelecípodos y crustáceos (Deméré *et al.*, 1984) y vertebrados como peces, mamíferos y aves. Además, existen abundantes microfósiles silíceos

INTRODUCTION

The Miocene in northwestern Baja California provides ample information on the stratigraphy and depositional environments which can be found in the California Continental Borderland (Minch *et al.*, 1984).

The Rosarito Beach Formation and its correlatives were deposited within the California Continental Borderland Province and the Peninsular Ranges Province. This unit of rock shows large lithological and faunistic variations, from basalts of subaerial flows, pyroclastic sediments (tuff, breccia, tuff-lapilli, volcanic ash) to diatomaceous sediments, tuffaceous sandstone, conglomerates and coquinas with abundant megafossils of invertebrates such as gasteropods, pelecypods and crustaceans (Deméré *et al.*, 1984) and vertebrates such as fish, mammals and birds. There are also many siliceous microfossils of diatoms, silicoflagellates and radiolaria (Deméré *et al.*, 1984).

de diatomeas, silicoflagelados y radiolarios (Deméré *et al.*, 1984).

La Formación Rosarito Beach ha sido dividida en siete miembros diferentes en base a las variaciones litológicas y faunísticas (Minch *et al.*, 1984) siendo los miembros La Misión y Los Indios las unidades presentes en el área de La Misión, al Norte de la ciudad de Ensenada, B.C.

El área de estudio se localiza en la zona denominada La Mesa de La Misión, entre los paralelos 32°01' y 32°06'N y los meridianos 116°48' y 116°52'W, sobre el kilómetro 65 de la carretera libre Tijuana-Ensenada en el Estado de Baja California, México (Fig. 1). Estos afloramientos se localizan en una región que presenta un sistema de fallas normales paralelas a la línea de costa, asociadas al sistema de horsts y grabens que constituyen las mesas.

Los basaltos y rocas de piroclastos de la Formación Rosarito Beach, están expuestas a lo largo de la costa entre las ciudades de Tijuana y Ensenada en Baja California, encontrándose también en los afloramientos presentes de las unidades expuestas en las Islas Coronado (Tijuana) y las Islas Todos Santos (Ensenada) (Minch, 1967).

Todos los basaltos y sedimentos piroclásticos forman una serie de mesas dentro del área de La Misión, cubriendo un área localmente representativa para los eventos registrados durante el período de vulcanismo explosivo en el Mioceno Medio y al inicio de la formación del Borde Continental Californiano en el Mioceno.

Los basaltos de la Formación Rosarito Beach dentro del área de La Misión fueron designados como el Miembro La Misión, cuya sección tipo fue propuesta en un afloramiento al sur del poblado de La Misión, cerca de la carretera libre Tijuana-Ensenada (Minch *et al.*, 1984). En toda el área dichos basaltos sobreyacen discordantes sobre sedimentos marinos y fluviales de la Formación Rosario (Cretácico Superior). Localmente descansan sobre rocas metavolcánicas y prebatolíticas del Arco Jurásico-Cretácico y aún directamente sobre rocas del batolito peninsular. Los sedimentos piroclásticos diatomáceos que sobre-

The Rosarito Beach Formation has been divided into seven different members based on lithologic and faunistic variations (Minch *et al.*, 1984). The La Misión and Los Indios members are the units present in the area of La Misión, to the north of the city of Ensenada, Baja California.

The study area is located in the zone called La Mesa de La Misión, between parallels 32°01' and 32°06'N and meridians 116°48' and 116°52'W, on the Tijuana-Ensenada road (kilometer 65) in Baja California, Mexico (Fig. 1). These outcrops are located in a region which has a system of normal faults parallel to the coast line, associated to the system of horsts and grabens which make up the plateaus.

The basalts and pyroclastic rocks of the Rosarito Beach Formation are exposed along the coast between Tijuana and Ensenada in Baja California, and are also found in the outcrops present in the units exposed on the Coronado Islands (Tijuana) and Todos Santos Islands (Ensenada) (Minch, 1967).

All the basalts and pyroclastic sediments form a series of plateaus within the La Misión area, covering an area locally representative for the events recorded during the explosive vulcanism period in the Middle Miocene and at the beginning of the formation of the California Continental Borderland during the Miocene.

The basalts of the Rosarito Beach Formation within the area of La Misión were designated the La Misión Member. Its type section was proposed in an outcrop to the south of the town of La Misión, near the Tijuana-Ensenada road (Minch *et al.*, 1984). Throughout the area, these basalts overlie discordant over marine and fluvial sediments of the Rosarito Beach Formation (Upper Cretaceous). Locally they rest on metavolcanic and prebatolithic rocks of the Jurassic-Cretaceous Arc and directly over rocks of the peninsular batholithic. The diatomaceous pyroclastic sediments which overlie the basalts of the La Misión Member were designated the Los Indios Member. Its importance is made evident in several of the site's outcrops because of the abundance and diversity of fossils (Figs. 2 and 3).

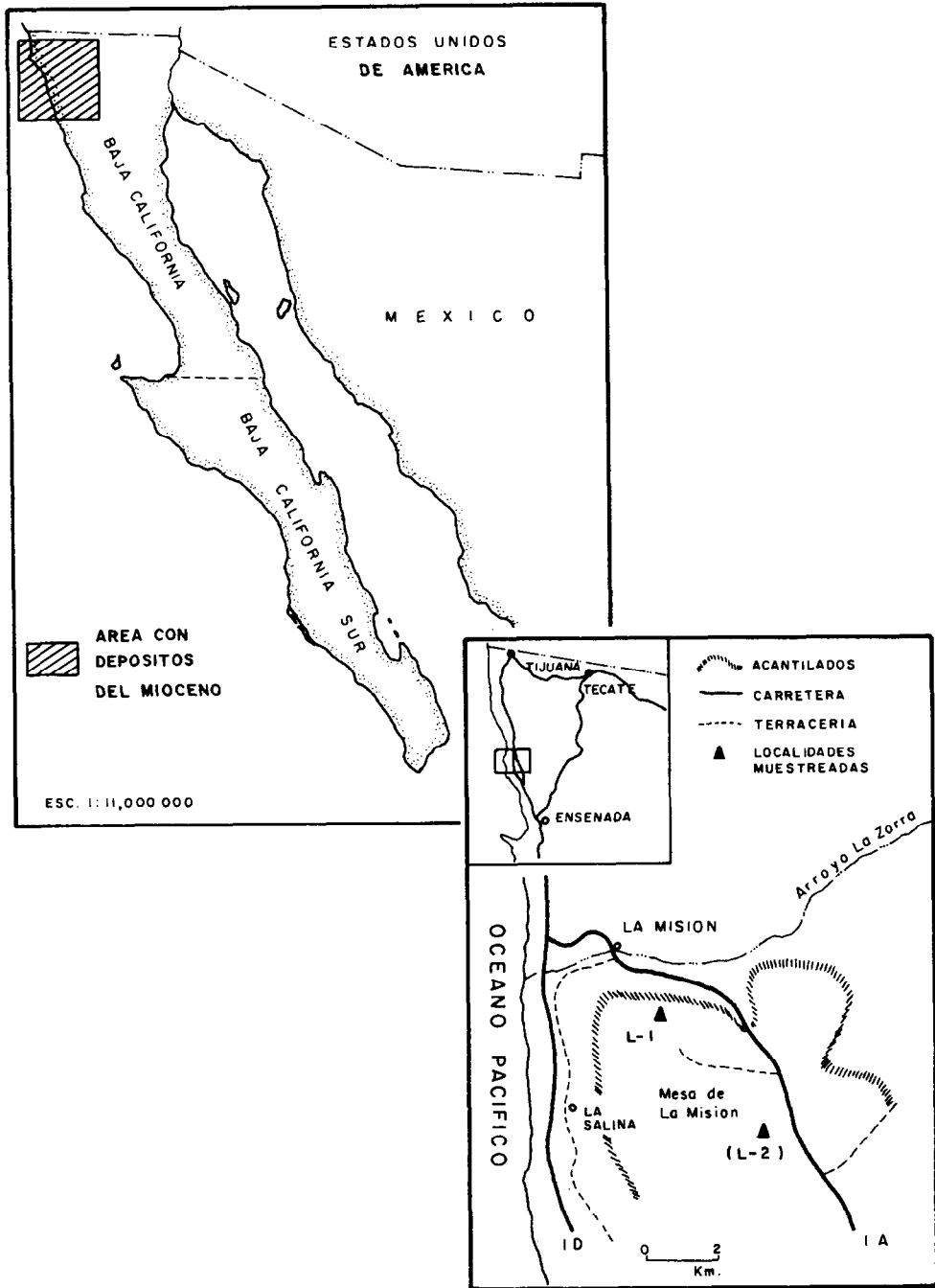


Figura 1. Area de exposición para la Formación Rosarito Beach y localización del área de estudio.
 Figure 1. Exposition area for the Rosarito Beach Formation and location of the study area.

yacen los basaltos del Miembro La Misión fueron designados como el Miembro Los Indios cuya importancia por la abundancia y diversidad de fósiles se hace evidente en varios de los afloramientos de la localidad (Figs. 2 y 3).

ANTECEDENTES

Minch *et al.* (1970) asignan una edad de 14.3-16.1 m.a. F Hemigfordiano-Barstoviano para la Formación Rosarito Beach (Mioceno Medio), basándose en los fósiles presentes en algunos horizontes del Miembro Los Indios, utilizando para su fechado dos especies de moluscos: *Turritella ocovana* y *Anadara topagensis*, describiendo también la litología y las asociaciones faunísticas presentes en la unidad.

Gastil *et al.* (1975) calculan la edad de las andesitas que constituyen el Miembro La Misión de la Formación Rosarito Beach, por medio del método K-Ar, concluyendo que la edad para dicho basamento ígneo es de 16.1 ± 2.6 m.a., correspondiente al Mioceno Medio.

Minch *et al.* (1984) efectúan correlaciones litoestratigráficas y bioestratigráficas para cada uno de los miembros de la Formación Rosarito Beach, llegando a establecer algunas semejanzas litológicas entre los sedimentos que constituyen las Islas Coronado (Tijuana) con los miembros Mira al Mar (Tijuana-Rosarito) y Los Indios (La Misión).

Deméré *et al.* (1984) trabajan principalmente con el Miembro Los Indios de la Formación Rosarito Beach, estableciendo asociaciones florales y faunísticas y concluyeron que los organismos presentes en el área habitaron bajo condiciones de Plataforma Continental y Talud en una cuenca con masas de aguas boreales mezcladas con aguas subtropicales.

Pisciotta y Garrison (1981), realizan estudios sobre ambientes depositacionales y diagénesis de la Formación Monterey (Mioceno), encontrando algunos modelos posibles para la depositación de facies silíceas en ambientes de plataforma abierta, cuencas y pendientes aereadas y cuencas anóxicas asociadas siempre a una capa de oxígeno mínimo. Los modelos por ellos propuestos se

ANTECEDENTS

Minch *et al.* (1970) assigned an age of 14.3-16.1 m.y. F Hemigfordian-Barstovian for the Rosarito Beach Formation (Middle Miocene). This was based on the fossils present in some horizons of the Los Indios Member, using for their dating two species of molluscs: *Turritella ocovana* and *Anadara topagensis*. They also described the lithology and faunistic associations present in the unit.

Gastil *et al.* (1975) calculated the age of the andesites which make up the La Misión Member of the Rosarito Beach Formation by means of the K-Ar method. They concluded that the age of this igneous basement is 16.1 ± 2.6 m.y., corresponding to the Middle Miocene.

Minch *et al.* (1984) carried out lithostratigraphic and biostratigraphic correlations for each of the members of the Rosarito Beach Formation, establishing some lithological similarities between the sediments which form the Coronado Islands (Tijuana) and the Mira al Mar (Tijuana-Rosarito) and Los Indios (La Misión) members.

Deméré *et al.* (1984) primarily worked on the Los Indios Member of the Rosarito Beach Formation. They established floral and faunistic associations and concluded that the organisms present in the area lived under Continental Platform and Talud conditions in a basin with masses of boreal waters mixed with subtropical waters.

Pisciotta and Garrison (1981) carried out studies on depositional environments and diagenesis of the Monterey Formation (Miocene). They found some possible models for the deposition of siliceous facies in environments of open platform, basins and aerated slopes and anoxic basins always associated to a layer of minimum oxygen. The models proposed by them are considered comparable with our study area.

RESULTS AND DISCUSSION

Petrology

A description of the beds which form the Los Indios Member is given in Table I.

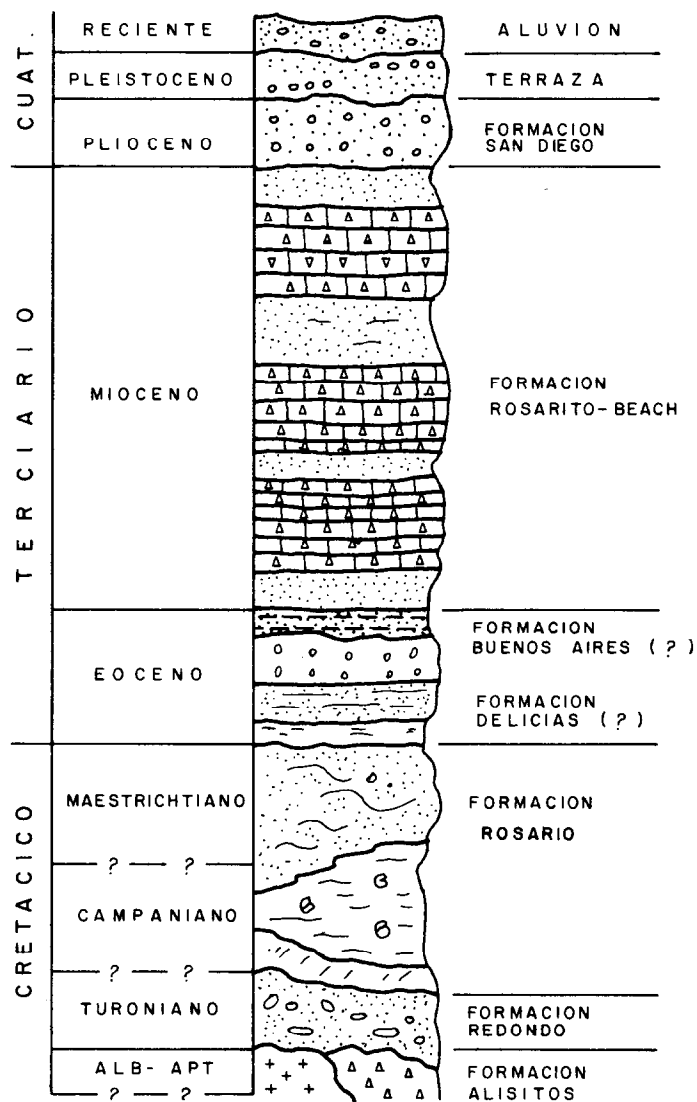


Figura 2. Estratigrafía general del Noroeste de Baja California (modificado de Minch, 1967).
 Figure 2. General stratigraphy of northwestern Baja California (modified from Minch, 1967).

consideran comparables con nuestra área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSION

Petrología

En la Tabla I se presenta una descripción de las capas constituyentes del Miembro Los Indios.

La Misión Member constitutes the basement of the Los Indios Member. It consists of a series of tholeiitic basalt flows, that is, basalts with large plagioclase crystals, mainly anorthites and labradorites without olivine and with a vitreous matrix. These basaltic flows were considered to be located in a subaerial environment, since structures in pillow flows characteristic of subaquatic basaltic flows were not found (Jackson, 1970).

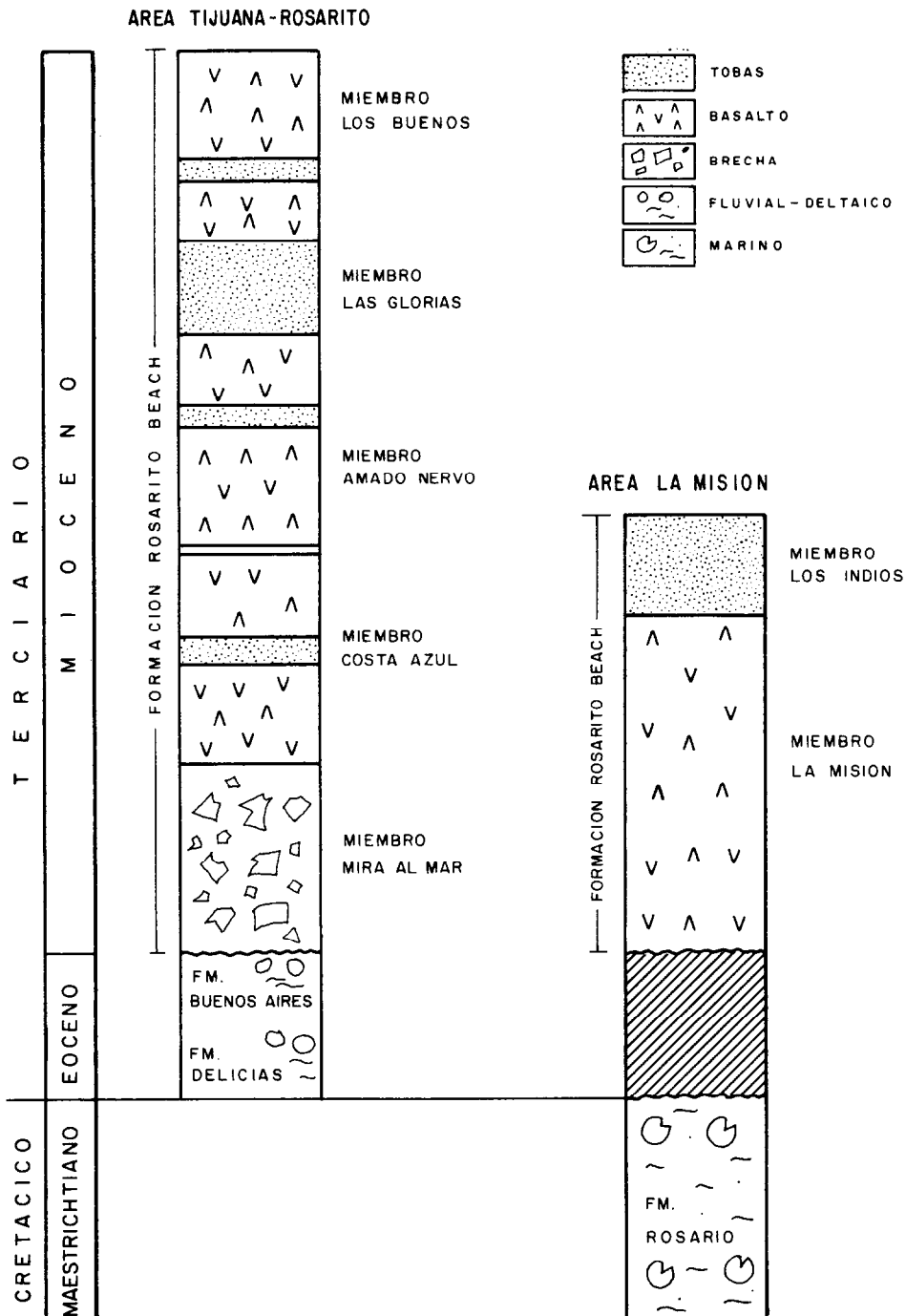


Figura 3. Estratigrafía general para los miembros de la Formación Rosario Beach en las áreas de Tijuana-Rosarito y La Misión (tomada de Minch *et al.*, 1984).

Figure 3. General stratigraphy for the members of the Rosario Beach Formation in the Tijuana-Rosarito and La Misión areas (taken from Minch *et al.*, 1984).

Tabla I. Descripción general litológica de los sedimentos del Miembro Los Indios para las localidades estudiadas (L-1 y L-2).

Table I. Lithologic general description of the sediments of the Los Indios Member for the localities studied (L-1 and L-2).

	LOCALIDAD 1	LOCALIDAD 2
G	TOBA-LAPILLI COLOR CAFE CLARO CRISTALES SUBHEDRALES DE CUARZO FELDESPATO	TOBA CRISTALINA COLOR AMARILLO CLARO A CAFE CLARO CRISTALES SUBHEDRALES DE CUARZO
F	TOBA CRISTALINA COLOR CAFE CLARO A AMARILLO CLARO CRISTALES SUBHEDRA- LES DE CUARZO	CONGLOMERADO CON MATRIZ TOBACEA CLASTOS SUBREDONDE- ADOS MASIVO Y SIN IMBRICA- CION.
E	DIATOMITA COLOR GRIS A VERDE CLARO CRISTALES SUBHEDRALES DE CUARZO MASIVA FOSILIFERA	DIATOMITA COLOR GRIS A GRIS VERDOSO CRISTALES SUBHEDRALES DE CUARZO Y FELDESPATO FOSILIFERA
D	TOBA DE LAPILLI COLOR AMARILLO CLARO CRISTALES SUBHEDRALES DE CUARZO	NO REPRESENTADA
C	TOBA CRISTALINA Y COQUINA COLOR AMARILLO CLARO CRISTA- LES ANHEDRALES DE CUARZO FELDESPATO Y ALGUNAS HORBLENDAS	TOBA CRISTALINA A VITREA COLOR CAFE CLARO CRISTALES SUBHEDRALES DE CUARZO Y FELDESPATO
B	NO REPRESENTADA	NO REPRESENTADA
A	TOBA CRISTALINA COLOR CAFE CLARO CRISTALES SUBHEDRALES A ANHEDRALES DE CUARZO Y FELDESPATO	TOBA CRISTALINA A VITREA COLOR CAFE CLARO A AMARILLO CRISTALES SUBHEDRALES DE CUARZO FELDESPATO Y HORBLENDA

El basamento del Miembro Los Indios lo constituye el Miembro La Misión, el cual consiste en una serie de flujos de basalto toleíticos, es decir basaltos con grandes cristales de plagioclasas principalmente anortitas y labradoritas sin olivino y con una matriz vítrea. Estos flujos basálticos se consideran emplazados en un ambiente subaéreo debido a que no se encontraron estructuras en almohadill (pillow flows) características de los flujos basálticos subacuáticos (Jackson, 1970). También se encontraron rocas andesíticas como parte de los flujos.

Andesite rocks were also found as part of the flows.

The pyroclastic sediments of the Los Indios Member are the product of rhyolitic type explosive vulcanism. From the petrological analyses obtained, these sediments are made up of crystalline tuffs of felsic composition with subhedral to anhedral crystals of quartz (80%), feldspar (15%) and hornblende (3%). Some volcanic glass (2%) was also found with remnants of breakage and corrosion, a product of violent ejections and rapid cooling.

Los sedimentos piroclásticos del Miembro Los Indios son el producto de vulcanismo explosivo tipo riolítico. Por los análisis petrológicos obtenidos, estos sedimentos están constituidos por tobas cristalinas de composición félsica con cristales subhedrales a anhedrales de cuarzo (80%), feldespato (15%) y hornblenda (3%). Se encontraron también algunos vidrios volcánicos (2%) con remanentes de rotura y corrosión producto de eyecciones violentas y enfriamiento rápido.

La coquina corresponde a una roca con matriz tobácea de composición similar a la toba descrita anteriormente con abundantes moldes de moluscos.

El conglomerado es una capa constituida por clastos de 4 a 6cm de diámetro de tamaño, subredondeados, de origen ígneo los cuales se encuentran contenidos en una matriz tobácea, con mala clasificación y sin imbricación.

La diatomita es un sedimento de origen biógeno, mezclada con abundantes cristales subhedrales de cuarzo, feldespato y hornblenda. Es en esta capa donde existen depósitos lenticulares con abundantes microfósiles de diatomeas y silicoflagelados, además de contener una gran cantidad de espículas silíceas de esponjas. En algunas partes de la capa de diatomita presente en la localidad 1, se presentan indicios de bioturbación, aún cuando en general la capa presente es laminada, lo cual respalda la idea de ausencia de organismos enterradores, o bien, la presencia de una zona anóxica limitante para el desarrollo y existencia de los mismos organismos (Fig. 4).

Paleontología

Las asociaciones de microflora y microfauna identificadas, representan condiciones específicas de paleotemperaturas y paleobathimetrías para la cuenca de depositación. De acuerdo a los resultados obtenidos, las especies encontradas corresponden a grupos litorales, neríticos y oceánicos en base a su distribución o zonación, y a grupos de aguas cálidas, templadas y frías en relación a la temperatura que nos representan, resultados que concuerdan aparentemente con los obtenidos por Deméré *et al.* (1984).

The coquina corresponds to a rock with tuffaceous matrix of a similar composition to the tuff described previously with abundant mollusc molds.

The conglomerate is a bed made up of clasts 4 to 6cm in diameter, subrounded and of igneous origin, which are found contained in a tuffaceous matrix, unclassified and without imbrication.

The diatomite is a sediment of biogenic origin, mixed with abundant subhedral crystals of quartz, feldspar and hornblende. It is in this bed that lenticular deposits exist with abundant microfossils of diatoms and silicoflagellates. They also contain a large quantity of siliceous spicules of sponges. In some parts of the diatomite bed present in locality 1, there are indications of bioturbation, even when the bed present is in general laminated. This supports the idea of either the absence of burrowing organisms or the presence of an anoxic zone which limits the development and existence of the organisms themselves (Fig. 4).

Paleontology

The identified associations of microflora and microfauna, represent specific conditions of paleotemperatures and paleobathymetries for the deposition basin. According to the results obtained, the species found correspond to littoral, neritic and oceanic groups based on their distribution or zonation, and to groups of warm, temperate and cold waters in relation to the temperature. These results apparently agree with those obtained by Deméré *et al.* (1984).

The littoral microflora species identified were *Actinocyclus ehrenbergi* Ralfs, *Raponeis amphioceros* Peragallo, *Navicula lyra* Ehrenberg and *Melosira sulcata* (Ehrenberg), of which *Raponeis amphioceros* Peragallo and *Melosira sulcata* (Ehrenberg) are benthonic and ticopelagic species, *Actinocyclus ehrenbergi* Ralfs is a benthonic and mesoplanktonic species and *Navicula lyra* is benthonic (Cupp, 1943; Koizumi, 1973).

The neritic species were grouped with the following species: *Actinocyclus ingens* Rattary, *Biddulphia aurita* (Lynbye), *Actinoptychus undulatus* (Bail), *Coscinodiscus*

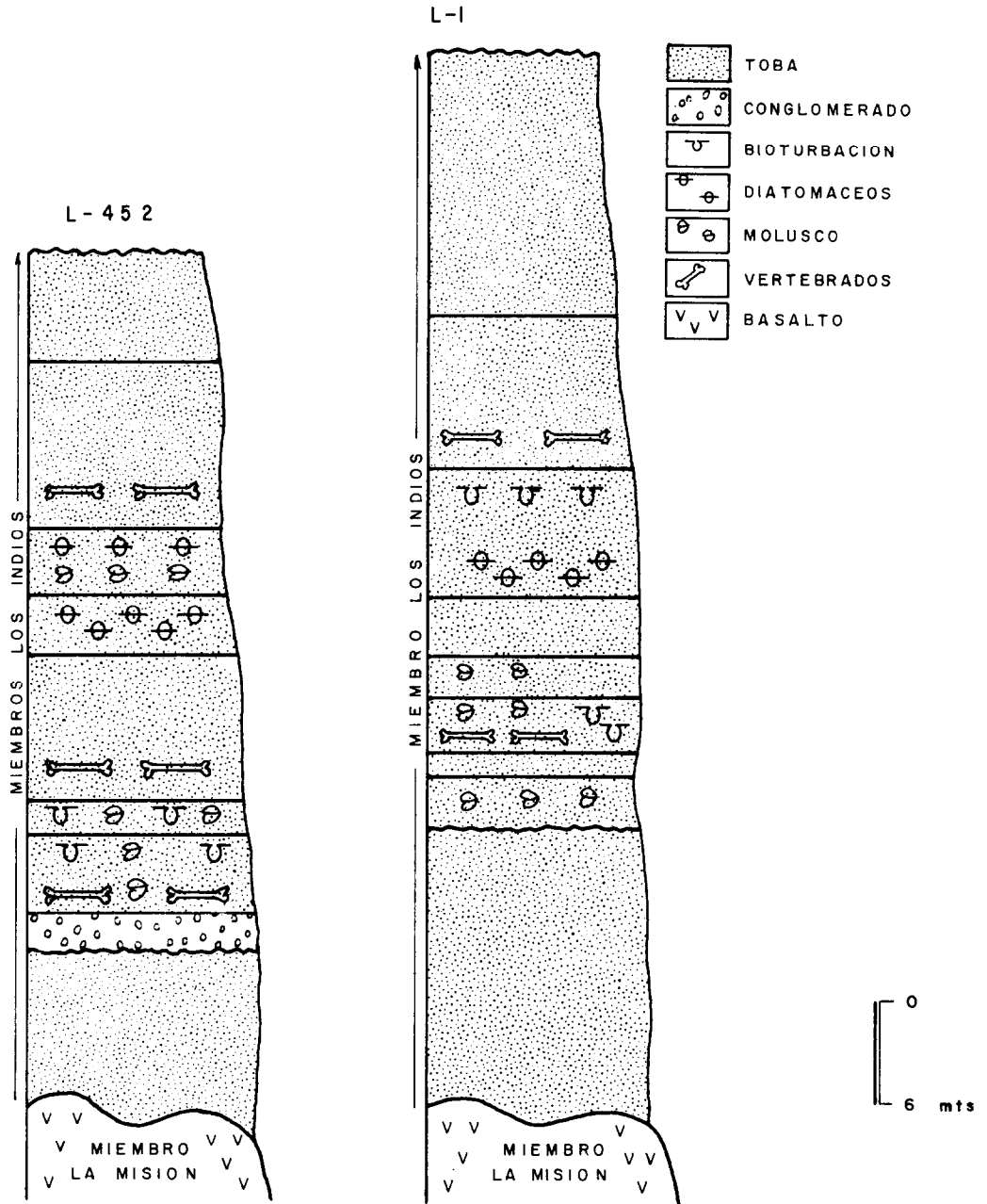


Figura 4. Secciones columnares del Miembro Los Indios de la Formación Rosario Beach (localidades L-452 y L-1) (tomada de Minch *et al.*, 1984).

Figure 4. Column sections of the Los Indios Member of the Rosario Beach Formation (localities L-452 and L-1) (taken from Minch *et al.*, 1984).

Las especies de microflora litoral identificadas fueron *Actinocyclus ehrenbergi* Ralfs, *Raponeis amphioceros* Peragallo, *Navicula lyra* Ehrenberg y *Melosira sulcata* (Ehrenberg), de las cuales *Raponeis amphioceros* Peragallo y *Melosira sulcata* (Ehrenberg) son especies bentónicas y ticopelágicas, *Actinocyclus ehrenbergi* Ralfs es una especie bentónica y mesoplanctónica, y *Navicula lyra* es bentónica (Cupp, 1943; Koizumi, 1973).

Las especies neríticas se agruparon con las siguientes especies: *Actinocyclus ingens* Rattary, *Biddulphia aurita* (Lynbye), *Actinoptychus undulatus* (Bail), *Coscinodiscus curvalatus* (Grunow) y *Thalassionema nitzchioides* (Grunow) (Cupp, 1943; Barron, 1975).

Las especies oceánicas estuvieron representadas por *Coscinodiscus marginatus* (Ehrenberg), *Coscinodiscus osculusiridis* (Ehrenberg) y *Coscinodiscus excentricus* (Kanaya), siendo estas tres especies junto con *Melosyra sulcata* (Ehrenberg) las más abundantes para la localidad 1 (Tabla II).

Los silicoflagelados estuvieron representados únicamente por dos especies neríticas muy abundantes durante el Cenozoico: *Distephanus crux* (Ehrenberg) y *Dictyocha fibula* (Ehrenberg) (Bukry, 1978).

Las paleotemperaturas se definieron en base a las asociaciones de las siguientes especies: *Coscinodiscus osculusiridis*, especie definida para aguas cálidas (Cupp, 1943); *Thalassionema nitzchioides*, *Actinocyclus ingens*, *Coscinodiscus curvalatus* y *Melosyra sulcata* para aguas templadas (Cupp, 1943; Barron y Baldauf, 1982); *Odontella (Biddulphia) aurita*, *Coscinodiscus marginatus* para aguas frías (Cupp, 1943).

Los silicoflagelados son sensibles indicadores de paleotemperaturas, pero debido a la poca diversidad encontrada en las muestras (sólo dos especies fueron determinadas) cabe señalar que *Distephanus crux* es característico de aguas frías y fue la especie de mayor abundancia en la localidad; *Dictyocha fibula* se encontró en menor proporción y es característica de aguas cálidas (Bukry, 1978).

curvalatus (Grunow) and *Thalassionema nitzchioides* (Grunow) (Cupp, 1943; Barron, 1975).

The oceanic species were represented by *Coscinodiscus marginatus* (Ehrenberg), *Coscinodiscus osculusiridis* (Ehrenberg) and *Coscinodiscus excentricus* (Kanaya). These three along with *Melosyra sulcata* (Ehrenberg) are the most abundant for locality 1 (Table II).

The silicoflagellates were only represented by two neritic species, very abundant during the Cenozoic: *Distephanus crux* (Ehrenberg) and *Dictyocha fibula* (Ehrenberg) (Bukry, 1978).

The paleotemperatures were defined based on the associations of the following species: *Coscinodiscus osculusiridis*, a species defined for warm waters (Cupp, 1943); *Thalassionema nitzchioides*, *Actinocyclus ingens*, *Coscinodiscus curvalatus* and *Melosyra sulcata* for temperate waters (Cupp, 1943; Barron and Baldauf, 1982); *Odontella (Biddulphia) aurita*, *Coscinodiscus marginatus* for cold waters (Cupp, 1943).

The silicoflagellates are sensitive indicators of paleotemperatures, but due to the little diversity found in the samples (only two species were determined) it should be indicated that *Distephanus crux* is characteristic of cold waters and was the most abundant species at the site. *Dictyocha fibula* was found in lower proportion and is characteristic of warm waters (Bukry, 1978).

The identification of siliceous microfossils is fundamentally based on the list described by Deméré *et al.* (1984) in locality 1 and other sites of Mesa de Los Indios to the north of Mesa de La Misión. However, it should be mentioned that two new species were identified for locality 1: *Melosyra sulcata* and *Actinoptychus undulatus*.

Based on the abundance of the identified species and on the associations made, it can be inferred that the zone should have presented continental platform characteristics, with variations between 250 and 450m in depth with cold masses of water predominating over warm masses of water.

Tabla II. Microfósiles silíceos del Miembro Los Indios para la localidad 1 de la Formación Rosarito Beach.

Table II. Siliceous microfossils of the Los Indios Member for locality 1 of the Rosarito Beach Formation.

DIATOMS		
<i>Actinocyclus</i>	Ehrenberg / Ralfs	R
<i>Actinocyclus ingens</i>	Rattray	MR
<i>Actinoptychus undulatus</i>	(Bail)	R
<i>Biddulphia aurita</i>	(Lyngbye)	R
<i>Coscinodiscus curvalatus</i>	Grunow	C
<i>Coscinodiscus excentricus</i>	Kanaya	C
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	Ehrenberg	F
<i>Coscinodiscus osculusiridis</i>	Ehrenberg	R
<i>Navicula lyra</i>	Ehrenberg	R
<i>Rhaponeis amphioceros</i>	Peragallo	MR
<i>Melosira sulcata</i>	Ehrenberg	F
<i>Thalassionema nitzchioides</i>	Grunow	F
<i>Triceratium sp.</i>		MR
SILICOFLAGELADOS		
<i>Dictyocha fibula</i>	Ehrenberg	R
<i>Distephanus crux</i>	(Ehrenberg)	F

MR = MUY RARO 1-2 Especies
F = FRECUENTE 11-25 Especies

R = RARO 3-10 Especies
C = COMUN 26-100 Especies

La identificación de microfósiles silíceos se basa fundamentalmente en la lista anteriormente descrita por Deméré *et al.* (1984), dentro de la localidad 1 y en otras localidades de la Mesa de Los Indios al Norte de la Mesa de La Misión. Sin embargo, cabe mencionar que dos nuevas especies fueron identificadas para la localidad 1 siendo *Melosira sulcata* y *Actinoptychus undulatus* las nuevas especies reportadas.

En base a la abundancia de especies identificadas y a las asociaciones hechas se puede inferir que la zona debió haber presen-

The list of microfossil species identified is given in Table II.

The megafossils found for localities 1 and 2 are listed in Table III. These are basically represented by molluscs (gasteropods and pelecypods) and by fishes (rays and sharks).

The gasteropods identified were: *Turritella ocoyana* Conrad, *Cancellaria* sp. and *Conus* sp., these being, especially the

Tabla III. Megafósiles del Miembro Los Indios para la localidad 2 de la Formación Rosarito Beach.
Table III. Megafossils of the Los Indios Member for locality 2 of the Rosarito Beach Formation.

GASTROPODOS	L-1 (L-469)	L - 2
<i>Turritella ocoyana</i> Conrad	X	X
<i>Cancellaria</i> sp.	X	
<i>Conus</i> sp.	X	
PELECIPODOS		
<i>Anadara topagensis</i> Reinhart	X	X
<i>Divalinga</i> sp.	X	
<i>Chione temblorensis</i>	X	
<i>Tagelus</i> sp.	X	
TIBURONES		
<i>Carcharodon megalodon</i>	X	X
<i>Carcharodon sulcidens</i> (?)		X
RAYAS		
Gen. et. esp. indeterminado	X	X

tado características de plataforma continental, con variaciones en la profundidad entre los 250 y 450m con masas de aguas frías predominantes sobre masas de aguas cálidas.

La lista de especies microfósiles identificadas se muestra en la Tabla II.

En la Tabla III se enlistan los megafósiles encontrados para las localidades 1 y 2. Estos están representados básicamente por moluscos (gasterópodos y pelecípodos) y por peces (rayas y tiburones).

Los gasterópodos identificados fueron: *Turritella ocoyana* Conrad, *Cancellaria* sp. y *Conus* sp., siendo éstos, principalmente el primero, organismos característicos del Cretácico-Terciario distribuidos en las zonas de plataforma continental entre los 60 y 150m.

first, characteristic species of the Cretaceous-Tertiary distributed in the continental platform zones between 60 and 150m.

The pelecypods included: *Anadara topagensis* Reinhardt, *Divalina* sp., *Chione temblorensis* Anderson and *Tagelus* sp. *Anadara topagensis* is a species which appears in the Upper Cretaceous proper to the sublittoral zone; *Chione temblorensis* appears in the Oligocene and is distributed in shallow waters of the continental platform zone (Fairbridge and Jablonski, 1979; Thompson, 1982).

The highest abundance of molluscs was represented by the species *Turritella ocoyana* and *Anadara topagensis*. In some cases only the molds of the organisms and in others the recrystallization of the shells were observed.

Los pelecípodos incluyeron: *Anadara topagensis* Reinhardt, *Divalina* sp., *Chione temblorensis* Anderson y *Tagelus* sp., siendo *Anadara topagensis* una especie que aparece en el Cretácico Superior propia de la zona sublitoral; *Chione temblorensis* aparece en el Oligoceno y se distribuye en aguas someras de la zona de plataforma continental (Fairbridge y Jablonksi, 1979; Thompson, 1982).

La mayor abundancia de moluscos estuvo representada por las especies *Turritella ocoyana* y *Anadara topagensis*, observándose únicamente, en algunos casos, los moldes de los organismos y en otros la recristalización de las conchas.

Los vertebrados identificados estuvieron representados por dos especies de tiburones del Terciario: *Carcharodon sulcidens* (?) y *Carcharodon megalodon* y las placas dentales de raya, del género *Myliobatis* sp. (J. Ashby, comunicación personal).

Las identificaciones de las especies de invertebrados y vertebrados se basaron en el trabajo realizado por Deméré *et al.* (1984), sobre paleontología del Miembro Los Indios, en varias localidades de la Mesa de Los Indios y la Mesa de La Misión, incluyendo la localidad 1 referida en el presente trabajo.

Estratigrafía

La localidad L-452 fue descrita por Minch *et al.* (1970) y fue tomada como referencia para efectuar la correlación bioestratigráfica con las que fueron muestreadas para el presente trabajo (L-1 y L-2) (Fig. 5).

En la Figura 5 se establece la correlación de cada una de las capas del Miembro Los Indios para las tres localidades. Así se observan varios cambios de facies para las capas B y D de la localidad L-452 y la capa D de la localidad L-1; la capa B de esta última localidad no fue depositada al igual que las capas B y D de la localidad L-2. Todas las demás capas de la secuencia se correlacionan entre sí (Tabla IV).

Se debe hacer notar el marcado cambio en los espesores para las secuencias origina-

Las vertebrados identificados fueron representados por dos especies de tiburón del Terciario, *Carcharodon sulcidens* (?) y *Carcharodon megalodon*, y rayas dentales del género *Myliobatis* sp. (J. Ashby, comunicación personal).

La identificación de las especies de invertebrados y vertebrados se basó en el trabajo realizado por Deméré *et al.* (1984) sobre paleontología del Miembro Los Indios, en varios sitios de Mesa de Los Indios y Mesa de La Misión, incluyendo la localidad 1 referida en este estudio.

Stratigraphy

Locality L-452 was described by Minch *et al.* (1970) and was used as reference in order to carry out the biostratigraphic correlation with which they were sampled for the present study (L-1 and L-2) (Fig. 5).

The correlation of each of the beds of the Los Indios Member for the three localities is established in Figure 5. Several changes of facies for the B and D beds of locality L-452 and the D bed of locality L-1 can be observed. Bed B of the latter locality was not deposited and neither were beds B and D of locality L-2. All the other beds of the sequence correlate between themselves (Table IV).

The marked changes in the thickness for the sequences originated by an irregular deposition at different depths should be noted. The sequences for localities L-452 and L-2 should have been deposited in a shallow zone as is suggested by the conglomerate beds and the continental platform organisms, mainly gasteropods and pelecypods.

Locality L-1 presents a sequence of greater thickness and this reflects a zone of greater depth at the start of the formation of the California Continental Borderland.

Paleoceanography

The paleoceanographic conditions for the deposition of the diatomaceous sediments of the Los Indios Member in the area of La Misión, were caused by upwelling periods as a

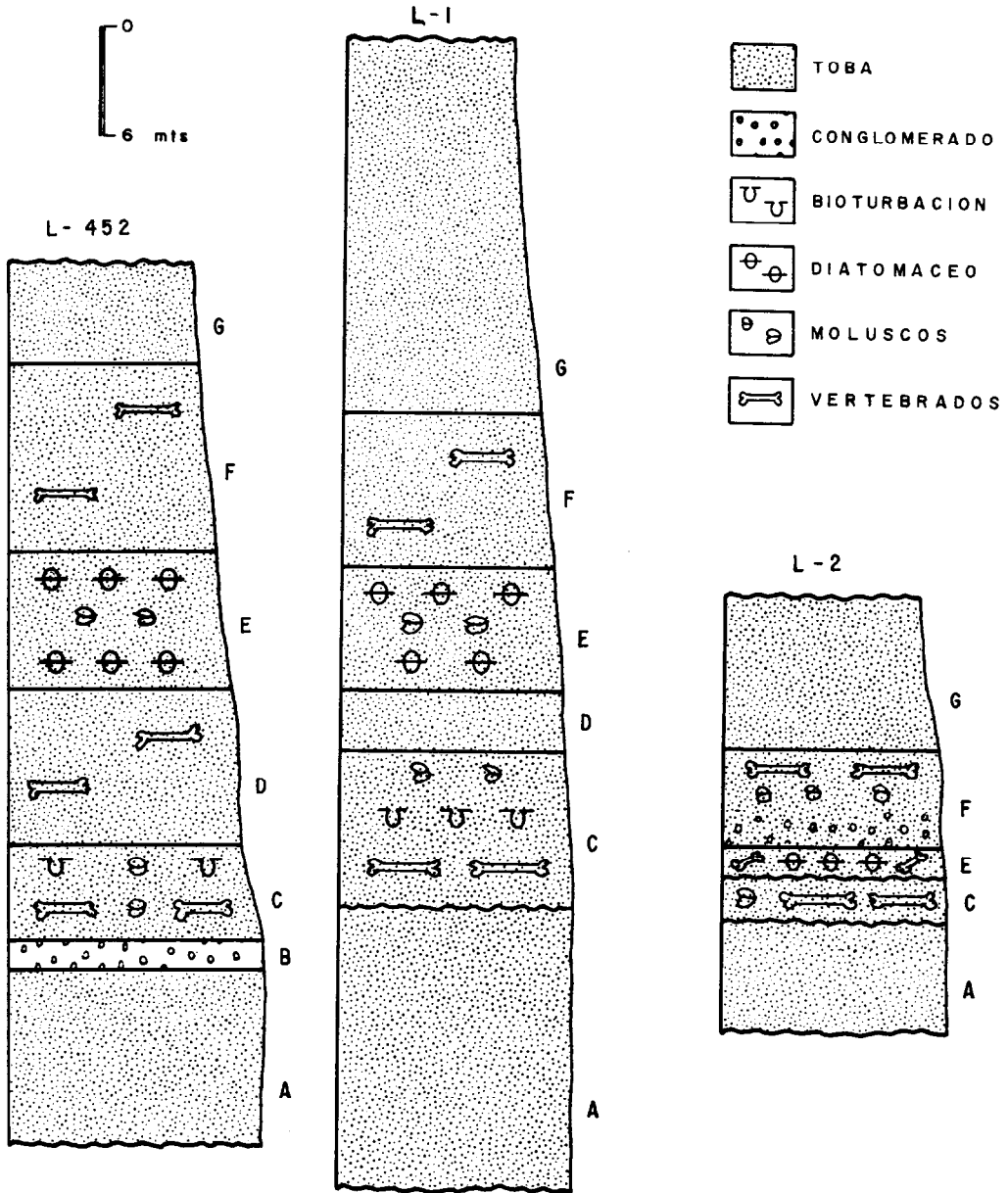


Figura 5. Secciones columnares del Miembro Los Indios para las localidades estudiadas (L-1, L-2 y L-452) (tomada de Minch *et al.*, 1984; descripción en el texto).

Figure 5. Column sections of the Los Indios Member for the localities studied (L-1, L-2 and L-452) (taken from Minch *et al.*, 1984; description in the text).

Tabla IV. Correlación bioestratigráfica del Miembro Los Indios para las localidades estudiadas (L-1 y L-2) y para la localidad L-452 (tomada de Minch *et al.*, 1984).

Table IV. Biostratigraphic correlation of the Los Indios Member for the localities studied (L-1 and L-2) and for locality L-452 (taken from Minch *et al.*, 1984).

	LOCALIDAD L- 452	LOCALIDAD L-1	LOCALIDAD L-2
G	NO FOSILIFERA	NO FOSILIFERA	NO FOSILIFERA
F	HUESOS DE MAMIFEROS	DIENTES DE TIBURON <i>Carcharodon megalodon</i>	GASTROPODOS (<i>Turritella ocoyana</i>) MANDIBULAS DE RAYA
E	DIENTES DE TIBURON MICROFOSILES SILICEOS HUESOS DE MAMIFEROS	DIATOMITA MICROFOSILES SILICEOS <i>Coscinadiscus sp.</i> ES DOMINANTE	DIATOMITA DIENTES DE TIBURON MANDIBULAS DE RAYA
D	HUESOS DE MAMIFEROS	NO FOSILIFERA	NO REPRESENTADA
C	DIENTES DE TIBURON PELECIPODOS	MOLDES DE <i>Anadara topagensis</i> FRAGMENTOS DE <i>Turritella ocoyana</i> y <i>Tagelus sp.</i>	FRAGMENTOS DE <i>Turritella ocoyana</i> DIENTES DE TIBURON <i>Carcharodon sulcidens</i> (?)
B	NO FOSILIFERA	NO REPRESENTADA	NO REPRESENTADA
A	NO FOSILIFERA	NO FOSILIFERA	NO FOSILIFERA

das por una depositación irregular a diferentes profundidades; las secuencias para las localidades L-452 y L-2 debieron depositarse en una zona somera como lo sugiere la capa de conglomerado y de organismos de plataforma continental, principalmente gasterópodos y pelecípodos.

La localidad L-1 presenta una secuencia de mayor espesor, y esto refleja una zona de mayor profundidad al inicio de la formación del Borde Continental Californiano.

consequence of the replacement of surface warm waters by deep cold waters rich in nutrients (phosphates, nitrates and silicates). This propitiated a flourishing of photosynthetic organisms in the surface of the ocean.

At the end of the Middle Miocene and beginning of the Late Miocene a climatic and atmospheric phase began, originated by a glacial period. This caused marked changes in the sea level and with this, basins suitable for the deposition of biogenic silica, as in the case

Paleoceanografía

Las condiciones paleoceanográficas para la depositación de los sedimentos diatomáceos del Miembro Los Indios en el área de La Misión, se debió a períodos de surgencias como consecuencia del reemplazamiento de aguas cálidas superficiales por aguas frías de fondo ricas en nutrientes (fosfatos, nitratos y silicatos), lo cual propició un florecimiento de organismos fotosintéticos en la superficie del océano.

Durante finales del Mioceno Medio y principios del Mioceno Tardío se inicia una fase climática y atmosférica originada por un período glacial, el cual propició marcados cambios en el nivel del mar, y con esto cuencas propicias para la depositación de sílice biógeno, como fue el caso de las diatomitas asociadas al anillo Circunpacífico del Norte (Issacs *et al.*, 1983; Fig. 8).

Las diatomitas están asociadas a una capa de oxígeno mínimo disuelto en la columna de agua, haciendo posible de esta manera la preservación de sedimentos diatomáceos. Es en esta capa en donde se crea un ambiente anóxico que no permite la oxidación de la materia orgánica y en donde se limita la existencia de organismos bioturbadores del sedimento. Esta capa de oxígeno mínimo disuelto se define en la columna de agua como la capa de oxígeno disuelto a una concentración de 1 ml/l, siendo común a una profundidad entre los 250m hasta los 1500m, es decir, por debajo de la zona fótica (Fig. 6).

Aunado a esto, la topografía resultante de la formación del Borde Continental (Stuart, 1979), con estructuras extensionales tipo grabens, los que constituyen una cuenca semicerrada a la circulación y a la oxigenación, situación que incrementó la zona anóxica afectando incluso a las aguas intersticiales y zonas adyacentes, coadyuvando a la presencia y preservación de las láminas de diatomitas, y la disolución posterior de fósiles calcáreos ya depositados.

La presencia de silicatos y la ausencia casi total de carbonatos en la zona, plantea un problema que posiblemente pueda ser expli-

of the diatomites associated to the Circum-Pacific Ring of the North (Issacs *et al.*, 1983; Fig. 8).

The diatomites are associated to a layer of dissolved minimum oxygen in the water column, thus allowing the preservation of diatomaceous sediments. An anoxic environment is created in this layer which does not permit the oxidation of the organic matter and where the existence of organisms which bioturbate the sediment is limited. This layer of dissolved minimum oxygen is defined in the water column as the layer of dissolved oxygen at a concentration of 1 ml/l and is common at depths between 250m and 1500m, that is, below the photic zone (Fig. 6).

Added to this, the topography resulting from the formation of the Continental Borderland (Stuart, 1979), with graben type extensional structures, which form a basin semi-closed to circulation and oxygenation, a situation which increased the anoxic zone even affecting the interstitial waters and adjacent zones, contributing to the presence and preservation of the diatomite beds and the posterior dissolution of already deposited calcareous fossils.

The presence of silicates and the nearly total absence of carbonates in the zone, raises a problem which could possibly be explained by the paleoceanographic and paleoclimatic conditions which prevailed towards the end of the Middle Miocene and beginning of the Late Miocene. If the masses of water which dominated the deposition basin during the beginning of the glacial period at the end of the Middle Miocene were cold masses of water with high concentrations of nutrients and significant concentrations of carbon dioxide, the calcium carbonate would dissolve due precisely to this corrosive agent, also trying to reestablish an ionic equilibrium between the concentration of carbon ions, with the release of the bicarbonate ion in the water column (Kennet, 1982).

Due to physical conditions, such as winds and oceanic circulation, the masses of cold water rich in nutrients optimized a period of upwellings and of high primary productivity in the deposition basin. The oversaturated silica in the water column due to the high

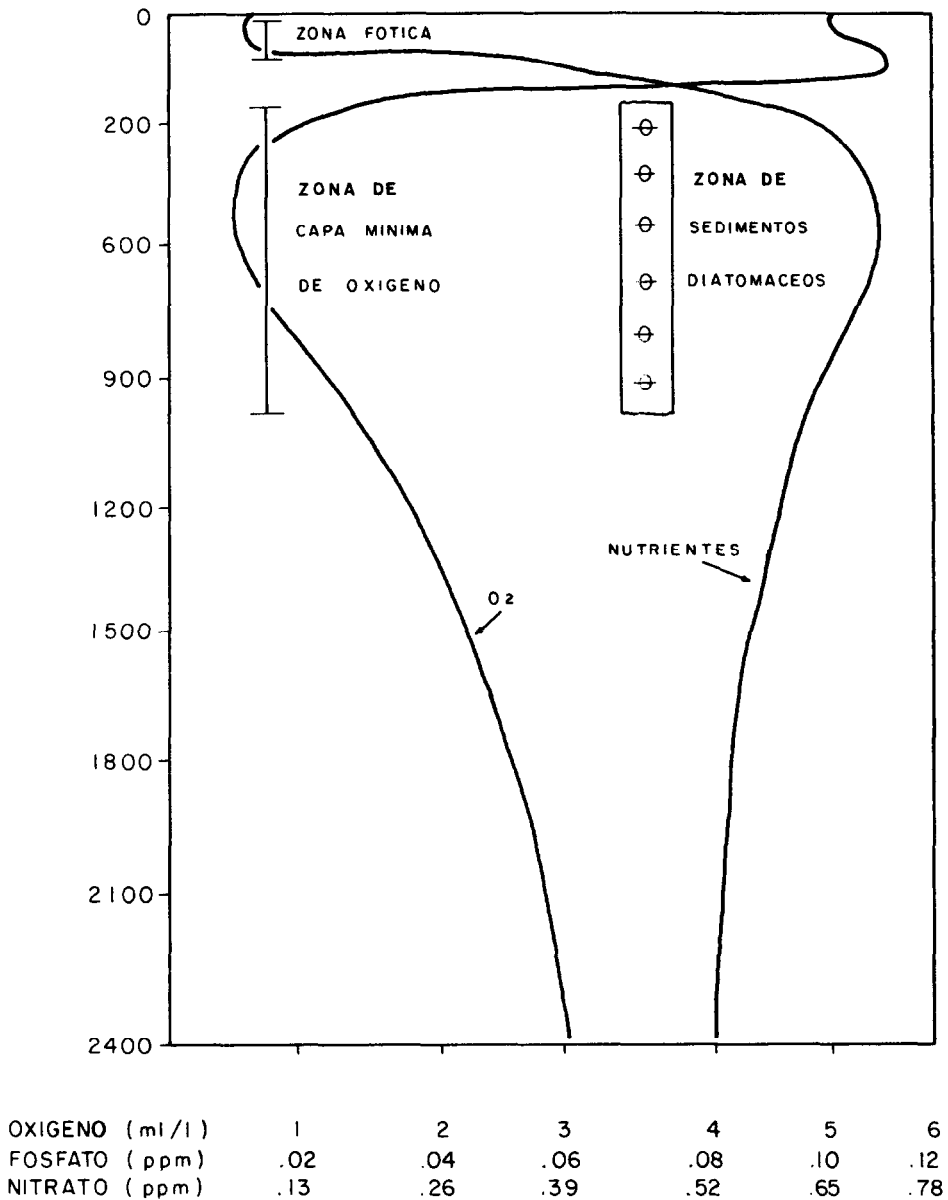


Figura 6. Concentración de oxígeno y nutrientes en función de la propiedad para el Pacífico Norte. Los sedimentos diatomáceos se depositan en la zona de la capa mínima de oxígeno en donde la concentración de nutrientes y los productores primarios aumentan (modificado de Stowe, 1979).

Figure 6. Concentration of oxygen and nutrients in terms of the property for the North Pacific. The diatomaceous sediments are deposited in the zone of the minimum layer of oxygen in which the concentration of nutrients and the primary producers increase (modified from Stowe, 1979).

cado mediante las condiciones paleoceanográficas y paleoclimáticas que imperaron a fines del Mioceno Medio y principios del Mioceno Tardío. Si se tiene que las masas de agua que dominaron en la cuenca de deposición durante el inicio del período glacial a fines del Mioceno Medio eran masas de agua fría con altas concentraciones de nutrientes y concentraciones significativas de dióxido de carbono, se presentaría la disolución del carbonato de calcio debido precisamente a este agente corrosivo, tratando también de restablecerse un equilibrio iónico entre la concentración de iones carbono, con la liberación del ión bicarbonato en la columna de agua (Kennet, 1982).

Debido a las condiciones físicas, como vientos y circulación oceánica, las masas de agua fría ricas en nutrientes, optimizaron un período de surgencias y de alta productividad primaria dentro de la cuenca de deposición. El sílice sobresaturado en la columna de agua debido a la alta concentración de nutrientes, fue incorporado en forma de ópalo (A) por las diatomeas (Pisciotta y Garrison, 1981), siendo éstas las que al morir se precipitaron formando los sedimentos diatomáceos de la secuencia entre los 250 y 500m de profundidad.

Modelo general del emplazamiento del Miembro La Misión y la deposición del Miembro Los Indios

Los basaltos emplazados del Miembro La Misión durante el Mioceno Medio tuvieron como fuente de origen una cadena volcánica al Oeste de las Cadenas Peninsulares del Sur de California y Noroeste de Baja California, los cuales extruyeron a través de varias fisuras (Fig. 7A). Este material basáltico-andesítico fluye en dirección este y por mapeos realizados previamente (Minch, 1967), fotografías aéreas y observaciones en el campo, los espesores de dichos flujos se adelgazan hacia el este, infiriendo que el mayor suministro de material ígneo por parte de la fuente estuvo hacia al Oeste del Borde Continental Californiano (Minch *et al.*, 1984).

Al emplazamiento de los flujos basálticos continuó un período de vulcanismo explosivo tipo riolítico del cual se produjo una gran cantidad de material piroclástico, depositándose en un medio subacuático sobre la plataforma basáltico-andesítica previamente

concentración de nutrientes, was incorporated in the form of opal (A) by the diatoms (Pisciotta and Garrison, 1981), being these the ones which on dying were precipitated forming the diatomaceous sediments of the sequence between 250 and 500m in depth.

General model of the emplacement of the La Misión Member and the deposition of the Los Indios Member

The emplaced basalts of the La Misión Member during the Middle Miocene had as a source of origin a volcanic chain to the west of the Peninsular Ranges of southern California and northwestern Baja California, extruding through several fissures (Fig. 7A). This basaltic-andesitic material flows eastwards and from mappings previously carried out (Minch, 1967), aerial photographs and field observations, the thickness of these flows was found to become thinner towards the east, implying that most of the supply of igneous material from the source was towards the west of the California Continental Borderland (Minch *et al.*, 1984).

The emplacement of the basaltic flows was followed by a period of rhyolitic type explosive vulcanism from which a great quantity of pyroclastic material was produced, which was deposited in a subaquatic environment over the previously formed basaltic-andesitic platform. This deposition was produced during subsidence events of the California Continental Borderland and transgressions of the sea level, a product of global climatic and atmospheric changes (Ingle, 1980; Issacs *et al.*, 1983; Fig. 7B).

During these explosive vulcanism events, tectonically significant periods were associated to the beginning of the formation of the California Continental Borderland. These produced the vertical movement of the igneous basement of the La Misión Member and the sedimentary sequence of the Los Indios Member due to the system of faults, normal and parallel to the coast line (Minch, 1967; Kennet, 1982), thereby constituting the series of horsts and grabens of the La Misión, Los Indios and El Descanso Mesas (Fig. 7C).

The deposition of the diatomaceous sediments within the basin followed these

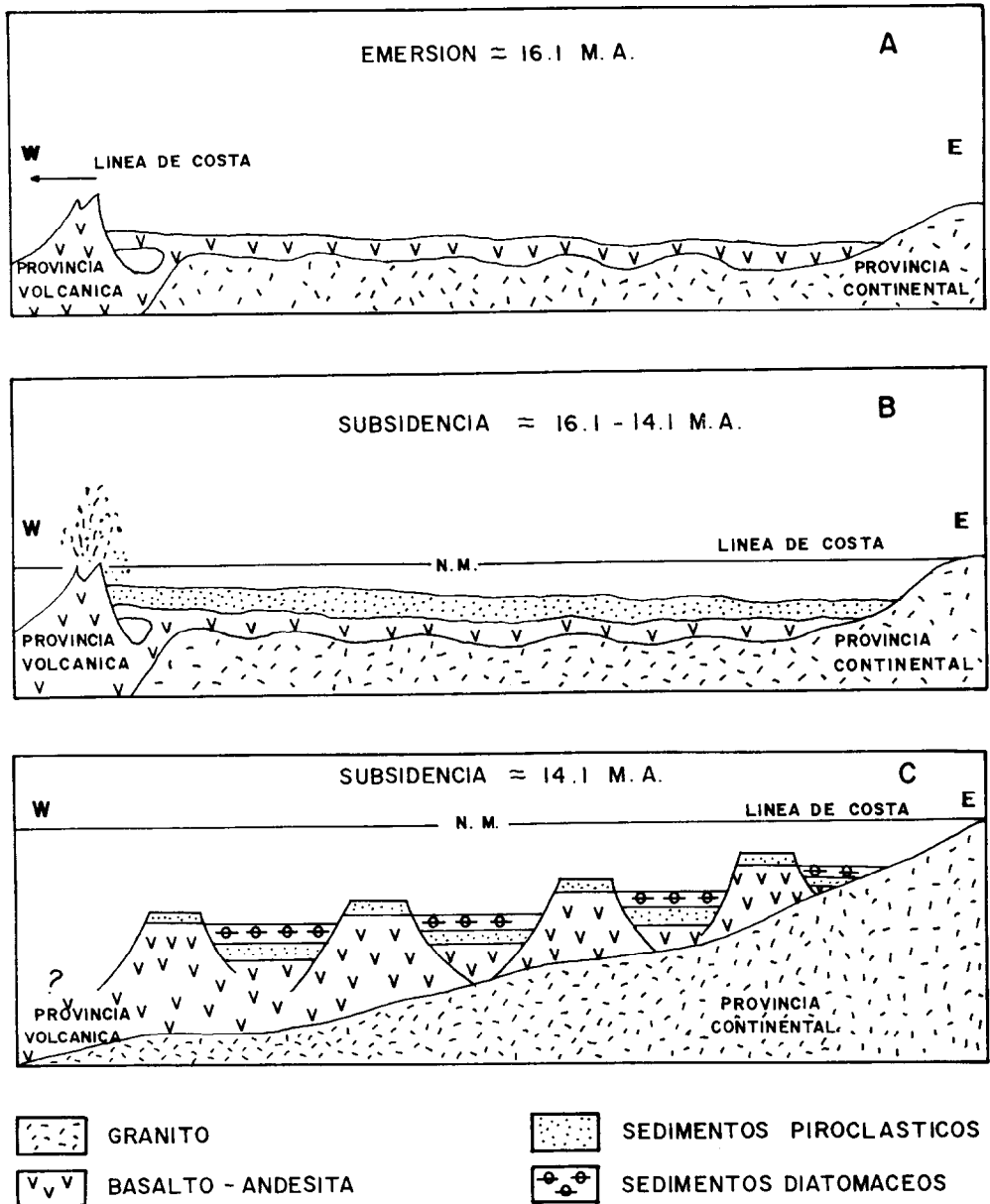


Figura 7. Modelo general simplificado del Miembro La Misión y del miembro Los Indios. A) Emplazamiento de los basaltos del Miembro La Misión. B) Deposición de los piroclástos. C) Deposición de los sedimentos diatomáceos.

Figure 7. Simplified general model of the La Misión Member and the Los Indios Member. A) Emplazamiento of the basaltos of the La Misión Member. B) Deposición of the pyroclasts. C) Deposición of the diatomaceous sediments.

constituida; esta depositación se produjo durante eventos de subsidencia del Borde Continental Californiano y transgresiones del nivel del mar producto de cambios climáticos y atmosféricos globales (Ingle, 1980; Issacs *et al.*, 1983; Fig. 7B).

Durante estos eventos de vulcanismo explosivo se asociaron períodos tectónicamente significativos al inicio de la formación del Borde Continental Californiano que produjeron el movimiento vertical del basamento ígneo del Miembro La Misión y la secuencia sedimentaria del Miembro Los Indios debido al sistema de fallas normales y paralelas a la línea de costa (Minch, 1967; Kennet, 1982) constituyendo así la serie de horsts y grabens de las mesas de La Misión, Los Indios y El Descanso (Fig. 7C).

La depositación de los sedimentos diatómicos dentro de la cuenca continuó a estos eventos. Para ese tiempo, fines del Mioceno Medio y principios del Mioceno Tardío, la cuenca presentó condiciones paleoceanográficas particulares como surgencias, alta productividad primaria, una capa mínima de oxígeno (Ingle, 1981; Boehm, 1982; Issacs *et al.*, 1983), eventos climáticos de enorme influencia global como el inicio de un período glacial produciendo escalonamientos en los gradientes térmicos, acelerando la circulación oceánica y atmosférica y provocando cambios significativos en los niveles del mar en la Provincia del Borde Continental, asociados también a un período de fallamiento de tipo normal y a cambios eustáticos con marcadas diferencias en la profundidad de la cuenca de depositación (Fig. 8).

El fallamiento sindeposicional sugerido como una posibilidad para el modelo, fue confirmado por Ashby (1988, comunicación personal), en varios afloramientos en toda la Formación.

CONCLUSIONES

1.- La plataforma basáltico-andesítica del Miembro La Misión fue construida a consecuencia de una serie de flujos de material ígneo el cual extruyó a través de varias fisuras en el basamento preexistente del Arco Jurásico-Cretácico.

events. At the end of the Middle Miocene and beginning of the Late Miocene, the basin showed peculiar paleoceanographic conditions. These include upwellings, high primary productivity, a minimum layer of oxygen (Ingle, 1981; Boehm, 1982; Issacs *et al.*, 1983), climatic events of enormous global influence such as the beginning of a glacial period producing gradual changes in the thermic gradients, accelerating the oceanic and atmospheric circulation and provoking significant changes in the sea levels in the Province of the Continental Borderland, also associated to a faulting period of a normal type and to eustatic changes with marked differences in the depth of the deposition basin (Fig. 8).

The sindepositional faulting suggested as a possibility for the model, was confirmed by Ashby (1988, personal communication), in severel outcrops throughout the Formation.

CONCLUSIONS

1.- The basaltic-andesitic platform for the La Misión Member was formed as a consequence of a series of fluxes of igneous material which extruded through various fissures in the preexisting basement of the Jurassic-Cretaceous Arc.

2.- The pyroclastic sediments of the Los Indios Member were produced from a volcanic source located to the west of the Continental Province during a rhyolitic type explosive vulcanism period, being deposited in a subaquatic environment over the basaltic basement of the La Misión Member.

3.- The existing faulting in the zone formed a series of horsts and grabens after the emplacement of the basaltic platform and deposition of the pyroclasts as is reflected by the thickness of the stratigraphic columns and the proposed model of emplacement and deposition. This tectonic activity reflects the events which gave rise to the formation of the California Continental Borderland during the Middle Miocene and Late Miocene.

4.- The diatomaceous sediments of the Los Indios Member were deposited during a period with peculiar paleoceanographic and paleoclimatic conditions, such as upwellings,

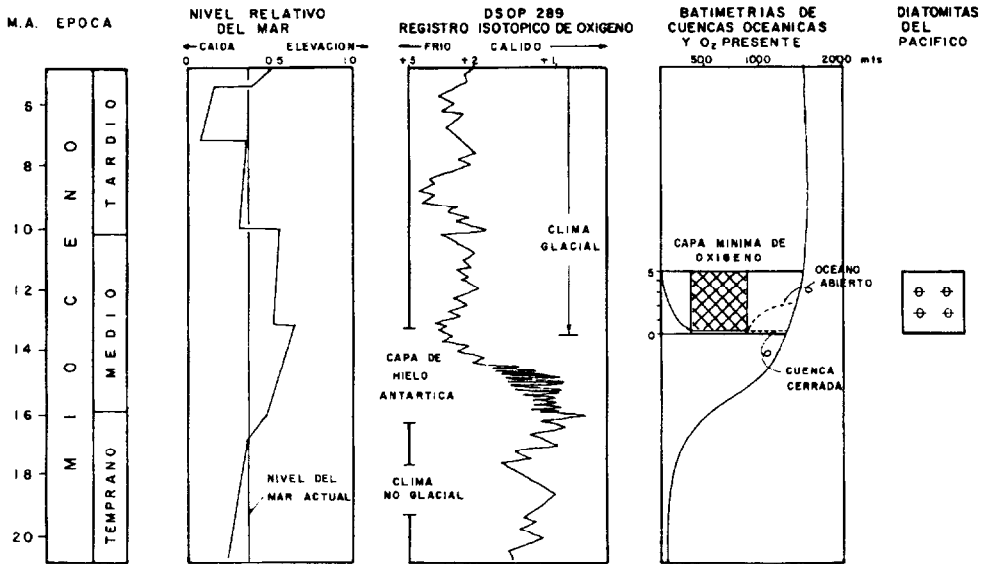


Figura 8. Clima global durante el Mioceno y eventos eustáticos, historia generalizada sobre la subsidencia en la margen continental del Pacífico Norte, perfiles de oxígeno disuelto (post 15 m.a.) y ocurrencia de diatomitas en la margen del Pacífico Norte (tomado de Ingle, 1981).

Figure 8. Global climate during the Miocene and eustatic events, generalized history on the subsidence in the continental margin of the North Pacific, profiles of dissolved oxygen (post 15 m.y.) and occurrence of diatomites in the margin of the North Pacific (taken from Ingle, 1981).

2.- Los sedimentos piroclásticos del Miembro Los Indios se produjeron a partir de una fuente volcánica localizada al Oeste de la Provincia Continental durante un período de vulcanismo explosivo tipo riolítico siendo depositados en un medio ambiente subacuático sobre el basamento basáltico del Miembro La Misión.

3.- El fallamiento existente en la zona constituyó una serie de horsts y grabens posteriores al emplazamiento de la plataforma basáltica y a la depositación de los piroclásticos como lo reflejan los espesores de las columnas estratigráficas y el modelo de emplazamiento y depositación propuesto. Esta actividad tectónica refleja los eventos que dieron origen a la formación del Borde Continental Californiano durante el Mioceno Medio y Mioceno Tardío.

4.- Los sedimentos diatomáceos del Miembro Los Indios fueron depositados durante un período con condiciones paleocea-

high primary productivity, a minimum layer of oxygen, beginning of a glacial period, transgressions and significant eustatic changes associated with the local basins developed during the generation of the California Continental Borderland.

5.- The floral associations of microfossils and faunistic associations of megafossils reflected paleobathymetries which represent a continental platform environment with depths between 200 and 500m, which only reflect the upwelling processes and the resultant mixture, deposited in a shallow platform zone.

6.- Also, the associations of micro and megafossils represented paleotemperatures for the deposition basin of cold waters predominant over warm waters of low latitudes.

7.- The presence of silicates and nearly total absence of carbonates in the sequence was due to the predominance of cold waters over warm waters since the former are rich in

nográficas y paleoclimáticas particulares como surgencias, alta productividad primaria, una capa mínima de oxígeno, inicio de un período glacial, transgresiones y cambios eustáticos significativos, asociados con las cuencas locales desarrolladas durante la generación del Borde Continental Californiano.

5.- Las asociaciones florales de microfósiles y faunísticas de megafósiles reflejaron paleobatimetrías que representan ambiente de plataforma continental con profundidades entre los 200 y 500m, los cuales únicamente reflejan los procesos de surgencia y la mezcla resultante, depositada en una zona de plataforma somera.

6.- También las asociaciones de micro y megafósiles representaron paleotemperaturas para la cuenca de depositación de aguas frías predominantes sobre aguas cálidas de bajas latitudes.

7.- La presencia de silicatos y ausencia casi total de carbonatos en la secuencia se debió a la predominancia de aguas frías sobre aguas cálidas debido a que las primeras son ricas en nutrientes y estaban sobresaturadas de sílice, éste se precipita en forma de ópalo de origen biógeno (diatomeas, silicoflagelados, espículas de esponjas) constituyendo sedimentos diatomáceos, mientras que los carbonatos son disueltos por la acción del dióxido de carbono presente en aguas frías.

LITERATURA CITADA

Barron, J.A. (1975). Marine diatom biostratigraphy of the Upper Miocene-Lower Pliocene strata of southern California. *Jour. Paleontology*, Vol. 49, pp. 619-632.

Barron, J.A. and Baldauf, J.G. (1982). Diatom biostratigraphy and paleoecology of the type section of the Luisian Stage, Central California. *Micropaleontology*, 28(1): pp. 5, 8, 9.

Boehm, M.C. (1982). Biostratigraphy and paleoenvironments of the Miocene-Pliocene San Felipe Marine Sequence, B.C., Mexico. M.Sc. Thesis, Stanford University (no publicado).

nutrients and were oversaturated with silica. It precipitates in opaline form of biogenic origin (diatoms, silicoflagellates, sponge spicules) constituting diatomaceous sediments, while the carbonates are dissolved by the action of carbon dioxide present in cold waters.

English translation by Christine Harris.

Bukry, D. (1978). Silicoflagellate stratigraphy of offshore California and Baja California. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. LXIII, pp. 539-557.

Cupp, E.E. (1943). Diatoms of the West Coast of North America. In: Transactions of the American Microscopical Society, University of California, Berkeley, Los Angeles, pp. 1-236.

Deméré, T.A., Roeder, M.A., Chandler, R.M. and Minch, J.A. (1984). Paleontology of Middle Miocene Los Indios Member of the Rosarito Beach Formation, northwestern Baja California. In: J.A. Minch and J.R. Ashby (eds.), Miocene and Cretaceous depositional environments, northwestern Baja California, Mexico. *Am. Ass. of Petroleum Geologists*, Vol. 54, pp. 47-56.

Fairbridge, R.W. and Jablonski, D. (eds.) (1979). *The Encyclopedia of Paleontology*, Hutchinson & Ross Inc., USA, Vol. VII, pp. 247, 252, 284, 585.

Gastil, R.G., Phillips, R.P. and Allison, E.C. (1975). Reconnaissance geology of the state of Baja California. *Geol. Soc. America Bull.*, Memoir 140.

Ingle, J.C. (1980). Cenozoic paleobathymetry and depositional history of selected sequences within the Southern California Continental Borderland. *Cushman Foundation Special Publication*, No. 19, pp. 163-195.

Ingle, J.C. (1981). Origin of Neogene diatomites around the North Pacific Rim. In: R.E. Garrison *et al.* (eds.), *The Monterey Formation and related siliceous rocks of California*. *Soc. of Ec. Paleontologists and Mineralogists*, Los Angeles, pp. 159-179.

- Issacs, C.M., Pisciotto, K.A. and Garrison, R.E. (1983). Facies and diagenesis of Miocene Monterey Formation, California; A Summary in A. Lijima, J.R. Hein and R. Siever (eds.), *Developments in sedimentology*, Vol. 36, pp. 247-282.
- Jackson, K.C. (1970). *Textbook of Lithology*. McGraw-Hill Inc., New York, pp. 271, 310, 317, 324.
- Kennet, J. (1982). *Marine Geology*. Prentice Hall Inc., New Jersey, pp. 56-58, 236, 455, 486, 489.
- Koizumi, I. (1973). Neogene diatoms from the western margin of the Pacific Ocean. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, pp. 779-819.
- Minch, J.A. (1967). Stratigraphy and structure of the Tijuana-Rosarito beach area, northwestern Baja California, Mexico. *Geol. Soc. of America Bull.*, 78: 1155-1178.
- Minch, J.A., Schulte, K.C. and Hoffman, G. (1970). A Middle Miocene age for the Rosarito Beach Formation in northwestern Baja California, Mexico. *Geol. Soc. of America Bull.*, 81(10): 3149-3154.
- Minch, J.A., Ashby, J.R., Deméré, T.A. and Kuper, M.T. (1984). Correlation and depositional environments of the Middle Miocene Formation of northwestern Baja California, Mexico. In: J.A. Minch and J.R. Ashby (eds.), *Miocene and Cretaceous depositional environments, northwestern Baja California, Mexico*. Am. Ass. of Petroleum Geologists, Vol. 54, pp. 33-46.
- Pisciotto, K.A. and Garrison, R.E. (1981). Lithofacies and depositional environments of the Monterey Formation, California. In: R.E. Garrison, R.G. Douglas, C.M. Issacs, J.C. Ingle and K.A. Pisciotto (eds.), *The Monterey Formation and related siliceous rocks of California*. Soc. of Ec. Paleontologists and Mineralogists, Los Angeles, pp. 97-122.
- Stowe, K. (1979). *Ocean Science*. John Wiley & Sons Inc., New York, p. 555.
- Stuart, C.J. (1979). Middle Miocene paleogeography of coastal southern California and the California Borderland evidence from Schist-Bering sedimentary rocks. In: *Cenozoic Paleogeography of the Western U.S.*, SEPM, Pacific Section.
- Thompson, I. (1982). *Field Guide to North American Fossils*. Alfred A. Knopf pub., New York, pp. 47, 249, 264, 424, 440, 453.