

**BIOESTRATIGRAFIA Y SIGNIFICADO PALEOCEANOGRAFICO  
DE LOS RADIOLARIOS DE LA PROTOBOCA DEL  
GOLFO DE CALIFORNIA**

**BIOSTRATIGRAPHY AND PALEOCEANOGRAPHIC SIGNIFICANCE OF  
THE RADIOLARIANS FROM THE PROTOMOUTH  
OF THE GULF OF CALIFORNIA**

Adolfo Molina-Cruz

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM  
Ciudad universitaria  
México, D.F., 04510  
México

*Recibido en noviembre de 1993; aceptado en agosto de 1994*

**RESUMEN**

La presencia de radiolarios en los estratos diatomíticos de la subunidad C de la formación Trinidad (McCloy, 1984), en Baja California Sur, México, es analizada mediante un modelo gráfico multivariado, para definir un marco bioestratigráfico e inferir eventos paleoceanográficos. Aunque sólo *Stichocorys peregrina* y *Didymocyrtis penultimus* se presentan en dichas diatomitas como especies índices, la composición faunística total señala que el depósito de éstas fue promovido principalmente por procesos de surgencias que ocurrieron hace aproximadamente entre 8 y 5 millones de años, es decir, durante el mioceno más tardío. En este estadio, conforme transcurrió el tiempo, la corriente de California se intensificó, hasta hacerse muy evidente en la *protoboca* del golfo de California. La edad de las diatomitas de la formación Trinidad indica que el océano Pacífico invadió la región de la boca del golfo antes de que se establecieran los procesos tectónicos (acumulación de nuevo magma y dispersión del piso oceánico) que han dado lugar a la apertura y configuración morfológica del actual golfo de California; en consecuencia, puede denominarse *protoboca* a la cuenca que albergó dicha invasión.

*Palabras clave:* bioestratigrafía, golfo de California, paleoceanografía.

**ABSTRACT**

The presence of radiolarians in the diatomitic strata of subunit C of the Trinidad Formation (McCloy, 1984), in Baja California Sur, Mexico, is analyzed with a graphic-multivariate model in order to define a biostratigraphic frame and infer paleoceanographic events. *Stichocorys peregrina* and *Didymocyrtis penultimus* are the only index species present in the diatomites. Nevertheless, the total faunistic composition indicates that their deposition was principally promoted by upwelling processes which occurred approximately 8 to 5 million years ago, *i.e.*, during the latest Miocene. As time elapsed in this stage, the California Current intensified until it was very evident in the *protomouth* of the Gulf of California. The age of the Trinidad Formation diatomites indicates that the Pacific Ocean invaded the gulf-mouth region before the tectonic processes (sea-floor accretion and spreading) were established, processes that have opened and outlined the present morphology of the Gulf of California; consequently, the basin which harbored said invasion can be called *protomouth*.

*Key words:* biostratigraphy, Gulf of California, paleoceanography.

## INTRODUCCION

El origen del golfo de California ha sido objeto de estudio desde hace varias décadas. Una de las primeras hipótesis sobre su origen consideró al golfo como una depresión, producto del hundimiento de bloques continentales, mediante fallas normales ordenadas en un sistema *graben* (Shepard, 1950); sin embargo, la aceptación general de la teoría de placas tectónicas, apoyada por datos de paleomagnetismo, geoquímica y micropaleontología derivados del Programa de Perforación Marina Profunda (DSDP, *Deep-Sea Drilling Project*), ha conducido a la conclusión de que el origen y evolución geomorfológica del golfo de California se deben a la separación de la península de Baja California de la parte continental que hoy corresponde a México, a causa de procesos de ruptura continental, dispersión del piso oceánico y la consecuente deriva continental (Moore y Curray, 1982; Hagstrum *et al.*, 1987).

Aunque dicha conclusión es "unánimemente" aceptada, uno de los temas aún en debate es la existencia o no de un pre o protogolfo, previo al inicio del proceso de ruptura continental y dispersión oceánica iniciado hace cerca de 5.5 millones de años (Hagstrum *et al.*, 1987). Una de las mayores discrepancias surge, no porque se haya situado la boca del protogolfo en la misma región en que se ubica la boca del golfo actual, sino porque se le atribuyen al protogolfo dimensiones similares o mayores que las del presente golfo de California (Smith, 1991). Si existió un protogolfo con dichas características, el determinar cuál fue su origen, así como sus pasos de evolución geomorfológica, representa por sí mismo un reto digno de enfrentar. No obstante, por carecer de elementos de estudio provenientes de todo el contorno del golfo, este estudio se limita a determinar si existió o no una invasión del océano Pacífico tierra adentro, en lo que es hoy la región de la boca del golfo de California. En particular, se contribuye a determinar el tiempo durante el cual se establecieron condiciones oceánicas en la boca del golfo, como consecuencia de una comunicación claramente abierta con el océano Pacífico. Esto último se relaciona con el modelo tectónico pro-

## INTRODUCTION

The origin of the Gulf of California has been the object of study for several decades. One of the first hypotheses considered this gulf to be a depression caused by the sinking of continental blocks due to faults settled in a *graben* system (Shepard, 1950). Nevertheless, the general acceptance of the plate tectonics theory, supported by paleomagnetic, geochemical and micropaleontological data from the Deep Sea Drilling Project (DSDP), has led to the conclusion that the origin and geomorphologic evolution of the Gulf of California is due to the separation of the Baja California Peninsula from the Mexican mainland through continental rupture, sea-floor spreading and continental drift (Moore and Curray, 1982; Hagstrum *et al.*, 1987).

Even though the above conclusion is "unanimously" accepted, a topic still under debate is whether or not a pre or protogulf existed before the processes of continental rupture and sea-floor spreading began about 5.5 million years ago (Hagstrum *et al.*, 1987). One of the major discrepancies arises, not because the mouth of the protogulf is placed in the same region as the mouth of the present gulf, but because the dimensions of the protogulf are considered similar to or larger than those of the present Gulf of California (Smith, 1991). If a protogulf with said characteristics existed, to determine its origin as well as the steps of its geomorphologic evolution are challenges that must be met. Nevertheless, since it has not been possible to study elements from around the entire gulf, the present study is limited to determining whether or not a Pacific Ocean inland invasion existed in the region which is presently the mouth of the Gulf of California. In particular, this study helps determine when oceanic conditions were established in the mouth of the gulf as a consequence of a clearly open communication with the Pacific Ocean. This last fact is interrelated with the tectonic model suggested by Moore and Curray (1982) that explains the formation and geomorphologic evolution of the Gulf of California. Furthermore, the paleoceanographic events under which said com-

puesto por Moore y Curray (1982) para explicar la formación y evolución geomorfológica del golfo de California. Adicionalmente, se discute bajo qué eventos paleoceanográficos se dio dicha comunicación. Los argumentos y conclusiones se basan en un análisis estadístico gráfico multivariado, que emplea datos micropaleontológicos de radiolarios recolectados en la subunidad C de la formación Trinidad (McCloy, 1984), que aflora en el rancho El Torote, en Baja California Sur, México (Fig. 1).

### Consideraciones previas

Para los propósitos de este estudio, el rancho El Torote está convenientemente ubicado, ya que se sitúa prácticamente en el margen noroccidental de la boca del golfo de California, y delimita, aunque indirectamente, la extensión lateral hacia el norponiente del proceso de dispersión del piso oceánico, ocasionado por la creación de nuevo magma, en la dorsal del Pacífico oriental (Fig. 2). En consecuencia, considerando que las márgenes de la boca del golfo de California han estado sujetas al tectonismo de la ruptura continental y al empuje posterior ocasionado por la acumulación de nuevo piso oceánico, se explica el porqué fueron comunes, a lo largo de esta región, el hundimiento y elevación de bloques, mediante fallamiento (Curray *et al.*, 1982).

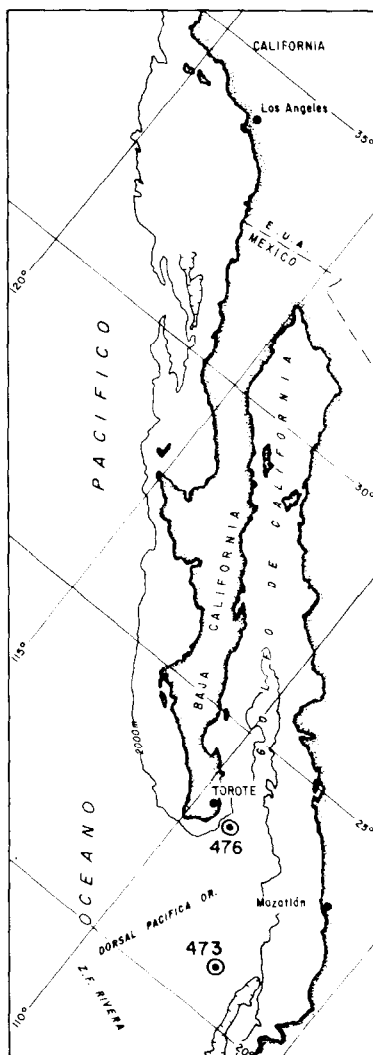
La subunidad C de la formación Trinidad, en el rancho El Torote, representa un bloque que fue elevado desde el fondo marino y está conformado estratigráficamente por: una sección de 27 m de lodolitas, lutitas diatomíticas y diatomitas intercaladas, en su parte inferior, y una capa de aproximadamente 11 m de espesor de diatomita blanco verdoso, ligeramente laminada, en su parte superior (Fig. 3). Puesto que las diatomitas son ricas en contenido de foraminíferos planctónicos y radiolarios, hay clara evidencia de que éstas fueron depositadas en condiciones oceánicas, sin influencia costera. Sin embargo, los otros horizontes litológicos sí muestran influencia de aporte terrígeno. Esto es explicable porque el lugar de depósito de la subunidad C de la formación Trinidad fue el lecho de un cañón submarino (Applegate, co-

munication was established are discussed. The arguments and conclusions are based on a graphic-multivariate analysis using micropaleontological data of radiolarians collected in subunit C of the Trinidad Formation (McCloy, 1984). This formation outcrops in El Torote Ranch in Baja California Sur, Mexico (Fig. 1).

### Previous considerations

The locality discussed in this work (El Torote Ranch) is located in the northwest margin of the mouth of the Gulf of California and delimits, although indirectly, the northwest lateral extension of the sea-floor spreading caused by accretion in the East Pacific Rise (Fig. 2). Because the margins in the mouth of the Gulf of California have undergone the tectonism of continental rupture and the subsequent push caused by the accretion of the new sea floor, it is possible to explain why the sinking and rising of continental blocks, caused by faulting, were common throughout this region (Curray *et al.*, 1982).

Subunit C of the Trinidad Formation in El Torote Ranch represents a block that rose from the sea bottom. It is stratigraphically constituted of a 27 m section of intercalated mudstones, diatomitic shales and diatomites in its lower part, and an 11 m layer of white-green, slightly laminated diatomite in its upper part (Fig. 3). Since diatomites are rich in planktonic foraminifers and radiolarians, there is clear evidence that these were deposited without significant coastal influence. The other lithologic horizons, however, show terrigenous influence, because the depositional place of subunit C of the Trinidad Formation was a submarine-canyon basin (Applegate, personal communication). The intercalation of mudstones, diatomitic shales and diatomites is coherent with the sedimentary dynamics generally observed in a submarine canyon located under an area of high biological productivity. The mudstones (turbiditic) represent stages of terrigenous input; the diatomitic shales, stages of hemipelagic deposition; and the diatomites, stages of dominant pelagic input. Taphonomically, the diatomites do not show reworking; thus, they provide the



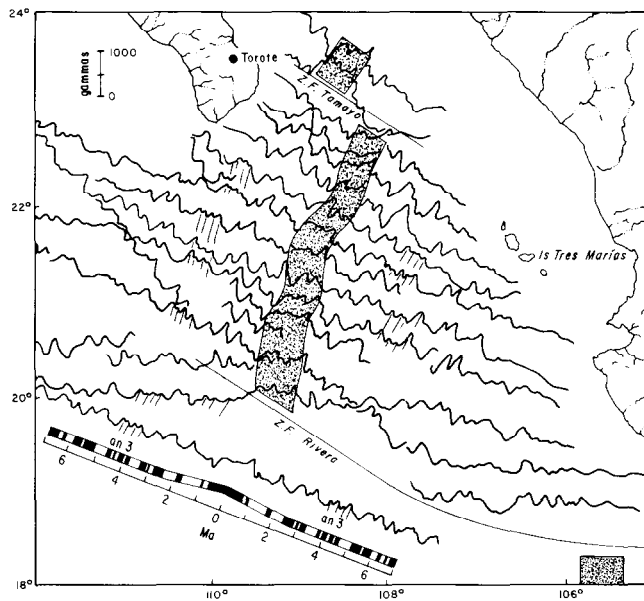
**Figura 1.** Localización del rancho El Torote, de los sitios 473 y 476 del Proyecto de Perforación Marina Profunda y otras localidades mencionadas en el texto.

**Figure 1.** Location of El Torote Ranch, Deep Sea Drilling Project sites 473 and 476, and geographical locations that are referred to in the text.

municación personal). La intercalación de lodolitas, lutitas diatomíticas y diatomitas es congruente con la dinámica sedimentaria observada generalmente en un cañón submarino, bajo un área de alta productividad, ya que las lodolitas (turbidíticas) representan episodios de flujo

opportunity to establish a biostratigraphic reference column and, in turn, carry out paleoceanographic studies.

Micropaleontological studies of the late Miocene and early Pliocene have been conducted with marginal sediments from the mouth



**Figura 2.** Anomalías magnéticas de la boca del golfo de California (Larson *et al.*, 1968), y localización del rancho El Torote. El área sombreada señala la posición del centro de dispersión del piso oceánico.

**Figure 2.** Magnetic anomalies in the mouth of the Gulf of California (Larson *et al.*, 1968) and location of El Torote Ranch. The shaded area indicates the center of the sea-floor spreading.

terrígeno; las lutitas diatomíticas, episodios hemipelágicos, y las diatomitas, episodios de aporte predominantemente pelágico. Tafonómicamente, las diatomitas no presentan signos de retrabajo, por lo que brindan la oportunidad de llevar a cabo la estructuración de una columna bioestratigráfica de referencia y, en consecuencia, estudios paleoceanográficos.

Aun cuando en las márgenes de la boca del golfo de California se han efectuado estudios micropaleontológicos del mioceno tardío y del plioceno temprano, principalmente en la región austral de la península de Baja California y en las islas Marias (Carreño, 1985, McCloy *et al.*, 1988, y sus respectivas referencias), se ha considerado poco a los radiolarios (Pérez-Guzmán, 1985), porque la mayoría de los sedimentos marinos miocénicos alrededor de la boca del golfo representan facies someras (de litoral a nerítico; Smith, 1991), es decir, con influencia de la costa y están, por tanto, desprovistos de

of the Gulf of California, principally from the austral region of the Baja California Peninsula and from the Tres Marias Islands (Carreño, 1985; McCloy *et al.*, 1988; and references therein). In spite of these, very few radiolarian studies have been conducted (Pérez-Guzmán, 1985), because the majority of the Miocenic marine sediments around the mouth of the gulf represent shallow facies (littoral-neritic; Smith, 1991) which are naturally barren of open-sea microfossils. At present, only the marine sediments that outcrop in Arroyo Hondo in María Madre Island, and those from subunit C of the Trinidad Formation in Baja California Sur are defined as deposits of relatively deep environments (mid-upper bathyal; McCloy, 1984; McCloy *et al.*, 1988). The estimated age of the Arroyo Hondo sediments is between 8.2 and 6.7 million years, approximately (McCloy *et al.*, 1988), but the age of the subunit C sediments has not been estimated yet due to the

microfósiles evidentemente oceánicos. En la actualidad, sólo los afloramientos de arroyo Hondo en la isla María Madre y los de la subunidad C de la formación Trinidad, en Baja California Sur, se definen como depósitos de medios relativamente profundos (batial medio superior; McCloy, 1984; McCloy *et al.*, 1988). Se estima una edad entre 6.7 y 8.2 millones de años para los depósitos de arroyo Hondo (McCloy *et al.*, 1988), pero no ha sido posible fechar convenientemente los de la subunidad C de la formación Trinidad, por falta de: 1) elementos litogénicos, para hacerlo radiométricamente, y 2) especies índices, para hacerlo bioestratigráficamente. Por tanto, en este trabajo se ha estimado la edad de dichas diatomitas mediante inferencias paleoceanográficas.

## METODOLOGIA

La subunidad C de la formación Trinidad, en el rancho El Torote, fue muestreada en sección estratigráfica, partiendo de la base y recolectando aproximadamente una muestra cada 6 m (Fig. 3). De las siete muestras obtenidas, tres correspondieron a horizontes de diatomitas, una a horizontes de lutitas diatomíticas y tres a lodolitas. Sólo los horizontes de diatomitas, muestras 1, 2 y 4, contienen foraminíferos planctónicos y radiolarios.

En el laboratorio, 50 cm<sup>3</sup> de cada muestra fueron disgregados, hirviéndolos con agua y agregándoles 75 ml de ácido clorhídrico (HCl) y 50 ml de peróxido (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Posteriormente, con una porción del material retenido en un tamiz de 40 µm, se prepararon dos portaobjetos por muestra, siguiendo la técnica desarrollada por Moore (1973), Molina-Cruz (1978) y Roelofs y Pias (1986). La distribución de partículas en los portaobjetos obtenida mediante esta técnica es estadísticamente aleatoria y, en consecuencia, permite estimar abundancias relativas de las especies presentes, con respecto a la población total de radiolarios, al mismo tiempo que se hace la identificación de especies con el microscopio. Considerando el listado de especies que se muestra en la tabla 1 (marco taxonómico), fue posible identificar generalmente más del 80% de los especímenes, en cada por-

lack of: 1) lithogenous elements needed to conduct radiometric dating, and 2) planktonic index species to do this biostratigraphically. Therefore, the age of said diatomites was estimated through paleoceanographic inferences in this study.

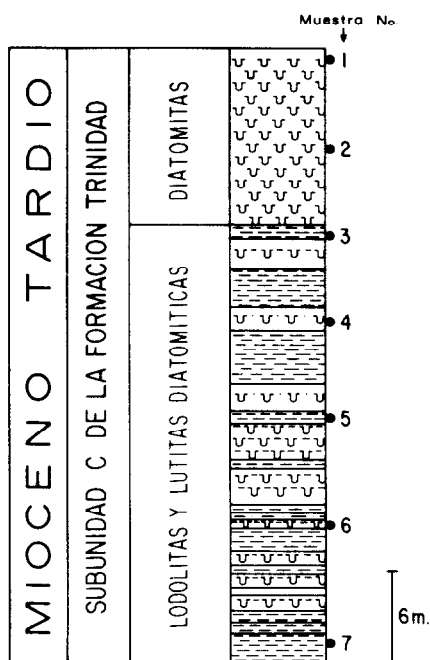
## METHODOLOGY

Subunit C of the Trinidad Formation in El Torote Ranch was sampled in stratigraphic section, beginning at its base and taking a sample every 6 m, approximately (Fig. 3). From the seven samples obtained, three corresponded to diatomite layers, one to diatomitic shales and three to mudstones. Only the diatomite horizons, samples 1, 2 and 4, contain planktonic foraminifers and radiolarians.

Fifty cm<sup>3</sup> of each sample were disaggregated in the laboratory by boiling them in water and adding 75 ml of hydrochloric acid (HCl) and 50 ml of peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). After this, two micropaleontological slides were prepared per sample with a portion of the material retained in a 40 µm sieve, following the settling technique developed by Moore (1973), Molina-Cruz (1978) and Roelofs and Pias (1986). The distribution of particles in these slides is statistically random. This allows the estimation of the relative abundance of the species present with respect to the total radiolarian population (percentages), and simultaneous microscopic identification. Using the taxonomic framework shown in table 1, it was possible to identify generally more than 80% of the specimens in every slide. Plates 1 a, b and 2 a, b present photographs of the species discussed in the text and included in the taxonomic framework.

It was observed in the microscopic analysis that index species from regions adjacent to the study area were rarely found in the samples, *i.e.*, index species from the Eastern Tropical Pacific or from regions under the California Current influence. This fact was considered because the water masses which are formed in such regions invade the mouth of the Gulf of California (Molina-Cruz, 1988).

Due to the lack of index species, the micropaleontological data was analyzed with a



**Figura 3.** Columna litoestratigráfica de la subunidad C de la formación Trinidad, de acuerdo con McCloy (1984). A la derecha de la columna se indica la ubicación de las muestras sedimentarias recolectadas.

**Figure 3.** Lithostratigraphical column of subunit C of the Trinidad Formation according to McCloy (1984). The locations of the samples collected for this study are indicated in the right margin.

taobjeto. Las fotografías de las especies discutidas en el estudio e incluidas en el marco taxonómico se muestran en la placas 1a, b y 2 a,b.

Mediante análisis microscópico, se observó que en las muestras tratadas se encontraron muy raramente especies consideradas índices en regiones adyacentes al área de estudio, es decir, en el Pacífico oriental tropical o regiones bajo la influencia de la corriente de California. Este hecho fue considerado, porque las masas de agua formadas en dichas regiones, incursionan en la boca del golfo de California (Molina-Cruz, 1988).

La escasez de especies índices condujo, por consiguiente, a analizar los datos micropaleontológicos mediante una técnica gráfica multivariada, ya que con este método es posible ponderar la presencia de cada una de las especies en

graphic-multivariate technique, since with this method it is possible to weigh the presence of each species in every sample and infer, by grouping the species, paleoenvironmental aspects which in any other form would be imperceptible. The graphic analysis was carried out as follows.

Initially, the relative abundance of each species (%) was standardized, adding their values from all the samples and considering the total (S) as 100%. This allowed the estimation of the standardized percentage of each species in every sample using a simple proportion rule (table 2). Since only three samples contain radiolarians and consequently, only these can be studied, it is possible to locate the standardized percentages of each species in a triangular graph (Fig. 4) following Shepard's criteria

**Tabla 1.** Marco taxonómico. (Todas las especies anotadas aquí se buscaron en los portaobjetos, pero sólo las especies precedidas por dígitos están presentes en las muestras estudiadas; por tanto, sólo de éstas se muestran las estadísticas en la tabla 2.)

**Table 1.** Taxonomic framework. (All of the species listed here were looked for in the slides, but only the species preceded by digits were present in the samples studied; hence, table 2 presents these statistics only.)

Especies	Ubicación en referencias*
<b>Espumeláridos</b>	
<i>Amphirhopalum wirchowii</i> (Haeckel)	<sup>1</sup> pl. 2, figs. 1-3; <sup>6</sup> pl. 3, figs. 1-3
<i>Amphirhopalum ypsilon</i> (Haeckel)	<sup>1</sup> pl. 2, figs. 4-6; <sup>4</sup> pl. 10, figs. 1a-e
1. <i>Circodiscus microporus</i> (Stohr)	<sup>4</sup> pl. 10, fig. 3
<i>Didymocyrtis antepenultimus</i> (Riedel y Sanfilippo)	<sup>4</sup> pl. 7, figs. 2a-b; <sup>6</sup> pl. 5, figs. 3-5
2. <i>Didymocyrtis penultimus</i> (Riedel)	<sup>4</sup> pl. 7, figs. 3a-c; <sup>6</sup> pl. 5, figs. 1-2
<i>Didymocyrtis tetrathalamus</i> (Haeckel)	<sup>2</sup> pl. 2, fig. 4; <sup>6</sup> pl. 4, fig. 7
3. <i>Drupptractus irregularis</i> (Popofsky)	<sup>2</sup> pl. 2, figs. 5
4. <i>Drupptractus pyriformis</i> (Bailey)	<sup>2</sup> pl. 2, figs. 6-7
5. <i>Euchitonia furcata</i> (Ehrenberg)	<sup>2</sup> pl. 3, fig. 5; <sup>4</sup> pl. 8, fig. 1
6. <i>Euchitonia</i> spp.	<sup>1</sup> pl. 5, fig. 4-5; <sup>2</sup> pl. 3, fig. 7
7. <i>Hexacantium enthacanthum</i> (Haeckel)	<sup>4</sup> pl. 3, figs. 2a-c; <sup>5</sup> pl. 5, figs. 1a-b
8. <i>Hexacantium laevigatum</i> (Haeckel)	<sup>2</sup> pl. 2, fig. 13
9. <i>Hymeniastrum euclidis</i> (Haeckel)	<sup>2</sup> pl. 3, fig. 1; <sup>5</sup> pl. 12, fig. 3
10. <i>Hymeniastrum</i> spp.	<sup>4</sup> pl. 8, figs. 2a-b
11. <i>Larcopyle butschlii</i> (Dreyer)	<sup>4</sup> pl. 13, figs. 1a,b
12. <i>Larcospira moschkovskii</i> (Kruglikova)	<sup>4</sup> pl. 13, figs. 2a,b
12. <i>Larcospira quadrangula</i> (Haeckel)	<sup>4</sup> pl. 13, figs. 3a-c
13. <i>Lithelius minor</i> (Jorgensen)	<sup>2</sup> pl. 2, fig. 12; <sup>4</sup> pl. 14, figs. 1a,b
14. <i>Lithelius</i> spp. (grupo)	<sup>4</sup> pl. 14, figs. 3a-c
15. <i>Phorticium pylonium</i> (grupo) (Haeckel)	<sup>1</sup> pl. 7, fig. 16; <sup>4</sup> pl. 12, figs. 2a,b
16. <i>Porodiscus</i> spp	<sup>5</sup> pl. 14, figs. 1-4
17. <i>Pyloniidos</i> (grupo)	<sup>3</sup> pl. 2, fig. 2
18. <i>Pylospira octopyle</i> (Haeckel)	<sup>4</sup> pl. 14, fig. 4; <sup>5</sup> pl. 17, figs. 6 b,c
<i>Spongaster bermingham</i> (Campbell y Clark)	<sup>4</sup> pl. 9, figs. 1a, b
<i>Spongaster pentas</i> (Riedel y Sanfilippo)	<sup>4</sup> pl. 9, fig. 2
<i>Spongaster tetras</i> (Ehrenberg)	<sup>2</sup> pl. 3, fig. 6
19. <i>Spongocore puella</i> (Haeckel)	<sup>2</sup> pl. 3, fig. 2
20. <i>Spongodiscus ambus</i> (Sanfilippo y Riedel)	<sup>4</sup> pl. 9, figs. 3a-c
21. <i>Spongotrochus glacialis</i> (grupo) (Popofsky)	<sup>4</sup> pl. 11, fig. 2
21. <i>Spongotrochus</i> (?) <i>venustum</i> (Bailey)	<sup>4</sup> pl. 11, fig. 3
22. <i>Stylodictya aculeata</i> (Jorgensen)	<sup>4</sup> pl. 10, figs. 1a,b
22. <i>Stylodictya validispina</i> (Jorgensen)	<sup>4</sup> pl. 10, fig. 2
<i>Stylochlamydium asteriscus</i> (Haeckel)	<sup>4</sup> pl. 10, fig. 4
<i>Tetrapyle octacantha</i> (Müller)	<sup>5</sup> pl. 16, figs. 3a,b



**Tabla 1 (Cont.)**

**Naseláridos**

26. <i>Acrobotrys</i> sp. cf. <i>A. disolenia</i> (Haeckel) .....	<sup>7</sup> pl. 1, figs. 12-16
27. <i>Antarctissa deflandrei</i> (Petrushevskaya) .....	<sup>4</sup> pl. 15, figs. 3a,b
27. <i>Antarctissa longa</i> (Popofsky) .....	<sup>4</sup> pl. 15, figs. 4a,b
<i>Antarctissa strelkovi</i> (Petrushevskaya) .....	<sup>4</sup> pl. 15, figs. 5a-c
28. <i>Anthocyrtdium ehrenbergi</i> (Stöhr) .....	<sup>4</sup> pl. 27, figs. 1, 2b
29. <i>Botryopyle dictyocephalus</i> (Popofsky) .....	<sup>1</sup> pl. 9, fig. 5; <sup>7</sup> pl. 1, figs. 21-26
30. <i>Carpocanarium papillosum</i> (grupo) (Ehrenberg) .....	<sup>3</sup> pl. 3, fig. 18; <sup>5</sup> pl. 21, fig. 3
31. <i>Cyrtocapsella japonica</i> (Nakaseco) .....	<sup>4</sup> pl. 23, figs. 4a-c
32. <i>Dendrospyris</i> spp. (Haeckel) .....	<sup>4</sup> pl. 16, figs. 2-3a
<i>Eucyrtidium calvertense</i> (Martin) .....	<sup>2</sup> pl. 5, fig. 4; <sup>6</sup> pl. 2, figs. 12-14
33. <i>Eucyrtidium cienkowskii</i> (grupo) (Haeckel) .....	<sup>4</sup> pl. 23, fig. 6
34. <i>Eucyrtidium hexagonatum</i> (Haeckel) .....	<sup>4</sup> pl. 23, fig. 8
<i>Eucyrtidium matuyami</i> (Hays) .....	<sup>6</sup> pl. 3, fig. 10
35. <i>Eucecryphalus</i> (?) sp. (Benson ?) .....	<sup>1</sup> pl. 9, fig. 4
<i>Lamprocyclas maritalis</i> (Haeckel) .....	<sup>4</sup> pl. 30, figs. 1a, b; <sup>6</sup> pl. 2, fig. 11
<i>Lamprocyrtis heteroporos</i> (Hays) .....	<sup>6</sup> pl. 2, figs. 4, 6, 7
<i>Lamprocyrtis neoheteroporos</i> (Kling) .....	<sup>2</sup> pl. 4, fig. 3; <sup>6</sup> pl. 2, figs. 3, 5
<i>Lamprocyrtis nigriniaie</i> (Caulet) .....	<sup>2</sup> pl. 4, fig. 4; <sup>6</sup> pl. 2, figs. 1, 2
36. <i>Lychnodictyum audax</i> (?) (Riedel) .....	<sup>4</sup> pl. 25, fig. 1
37. <i>Phormospyris stabilis scaphipes</i> (Goll) .....	<sup>2</sup> pl. 4, fig. 10; <sup>4</sup> pl. 19, fig. 8
38. <i>Phormostichoartus corbula</i> (Harting) .....	<sup>4</sup> pl. 31, fig. 4a-b
39. <i>Phormostichoartus</i> sp. ....	<sup>9</sup> pl. 1, fig. 16; pl. 2, fig. 11
<i>Pterocanium praetextum</i> (Ehrenberg) .....	<sup>2</sup> pl. 5, fig. 7; <sup>5</sup> pl. 23, figs. 2, 3
<i>Pterocanium prismatium</i> (Riedel) .....	<sup>4</sup> pl. 25, fig. 2
40. <i>Pterocanium trilobum</i> (Haeckel) .....	<sup>4</sup> pl. 25, fig. 3
<i>Pterocorys zancleus</i> (Müller) .....	<sup>2</sup> pl. 5, figs. 2, 3; <sup>4</sup> pl. 30, fig. 3
41. <i>Pseudodictyophimus gracilipes</i> (Haeckel) .....	<sup>1</sup> pl. 8, fig. 7; <sup>3</sup> pl. 2, fig. 14
42. <i>Spirocorytis subscalaris</i> (Nigrini) .....	<sup>4</sup> pl. 32, figs. 7a, b
43. <i>Stichocorys delmontensis</i> (?) (Campbell y Clark) .....	<sup>4</sup> pl. 25, fig. 4; <sup>6</sup> pl. 1, figs. 10, 11
44. <i>Stichocorys peregrina</i> (Riedel) .....	<sup>2</sup> pl. 1, figs. 1-4; <sup>6</sup> pl. 1, figs. 6-8
45. <i>Teocalyptra bicornis</i> (Popofsky) .....	<sup>4</sup> pl. 26, figs. 1a-c
46. <i>Theopiliium tricostatatum</i> (Haeckel) .....	<sup>8</sup> pl. 2, fig. 40
<i>Theocorythium trachelium</i> (Ehrenberg) .....	<sup>2</sup> pl. 5, fig. 6
<i>Theocorythium vetulum</i> (Nigrini) .....	<sup>2</sup> pl. 5, fig. 5; <sup>4</sup> pl. 30, figs. 4a, b
<i>Theocorys redondoensis</i> (Campbell y Clark) .....	<sup>4</sup> pl. 26, fig. 4
47. <i>Zygocircus productus capulosus</i> (Hertwig) .....	<sup>4</sup> pl. 15, figs. 1a, b

**\*Referencias:**

<sup>1</sup>Benson, 1983

<sup>2</sup>Molina-Cruz, 1982

<sup>3</sup>Mullineaux y Westberg-Smith, 1986

<sup>4</sup>Nigrini y Lombardi, 1984

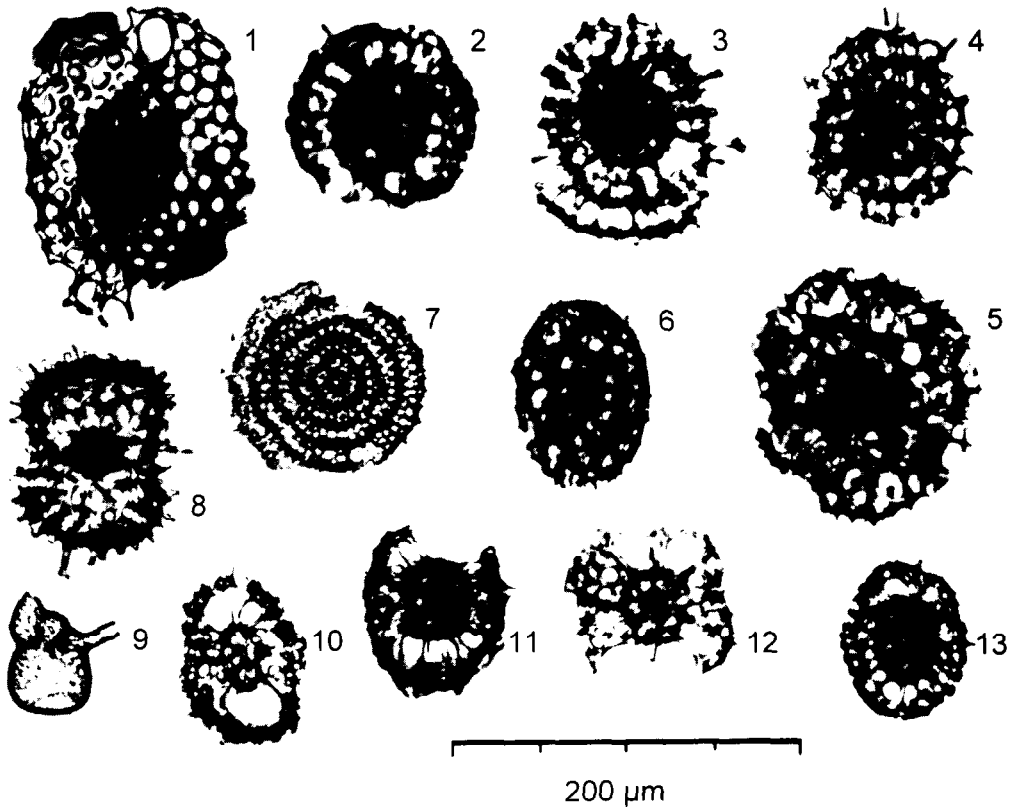
<sup>5</sup>Nigrini y Moore, 1978

<sup>6</sup>Wolfart, 1981

<sup>7</sup>Riedel, 1971

<sup>8</sup>Benson, 1964

<sup>9</sup>Este estudio.



**Placa 1 (a):**

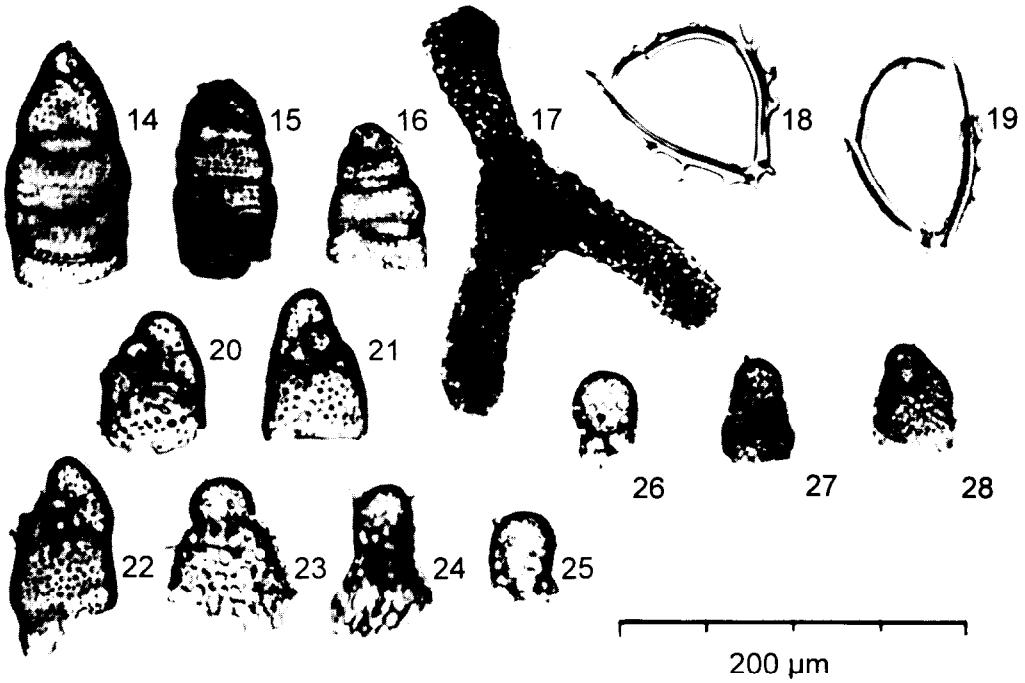
- |  |   |
|--|---|
| 1. <i>Larcospira quadrangula</i> (Haeckel), <b>2*</b>  | 8. <i>Didymocirtis penultimus</i> (Riedel) ?, <b>4.</b>               |
| 2. <i>Pylospira octopyle</i> (Haeckel) ?, <b>4.</b>    | 9. <i>Acrobotrys</i> sp. cf. <i>A. disolenia</i> (Haeckel), <b>4.</b> |
| 3 a 5. <i>Phorticium pylonium</i> (Haeckel), <b>1.</b> | 10 a 12. <i>Pyloniidos</i> , <b>4, 2 y 1</b> , respectivamente.       |
| 6. <i>Larcopyle butschlii</i> (Dreyer), <b>2.</b>      | 13. <i>Pylospira octopyle</i> (Haeckel) ?, <b>1.</b>                  |
| 7. <i>Stylodictya aculeata</i> (Jørgensen), <b>1.</b>  |   |

\*Los números remarcados corresponden a las muestras./The boldfaced numbers correspond to the samples.

cada muestra e inferir, al conformar grupos de especies, aspectos paleoambientales que de otra forma serían imperceptibles. El análisis gráfico se estructuró de la manera que se explica enseguida.

Inicialmente, se estandarizaron los datos de abundancias relativas (%) de cada una de las especies consideradas en este estudio, sumando su valor observado en cada una de las muestras y

(1954). This process enhances the presence of the species which characterize each sample, and makes it easier to compare the faunistic composition among samples. Furthermore, it is possible to observe in the grouping of species within the graph, interrelations among the species and consequently, make paleoecological inferences. It is also possible to observe differences of relative abundance among the species,



Placa 1 (b):

- |  |   |
|--|---|
| 14. <i>Eucyrtidium punctatum</i> (Ehrenberg), <b>4</b> *             | 20 a 22. <i>Botryopyle dictyocephalus</i> (Haeckel), <b>4</b> . |
| 15. <i>Phormostichoartus corbula</i> (Harting), <b>4</b> .           | 23 a 25. <i>Antarctissa longa</i> (Popofsky), <b>4</b> .        |
| 16. <i>Phormostichoartus</i> sp., <b>4</b> .                         | 26. <i>Antarctissa longa</i> (Popofsky), <b>1</b> .             |
| 17. <i>Euchitonia furcata</i> (Ehrenberg), <b>2</b> .                | 27 y 28. <i>Antarctissa deflandrei</i> (Petrushevskaya),        |
| 18 y 19. <i>Zygocircus productus capulosus</i> (Hertwig), <b>1</b> . | <b>4 y 2</b> , respectivamente.                                 |

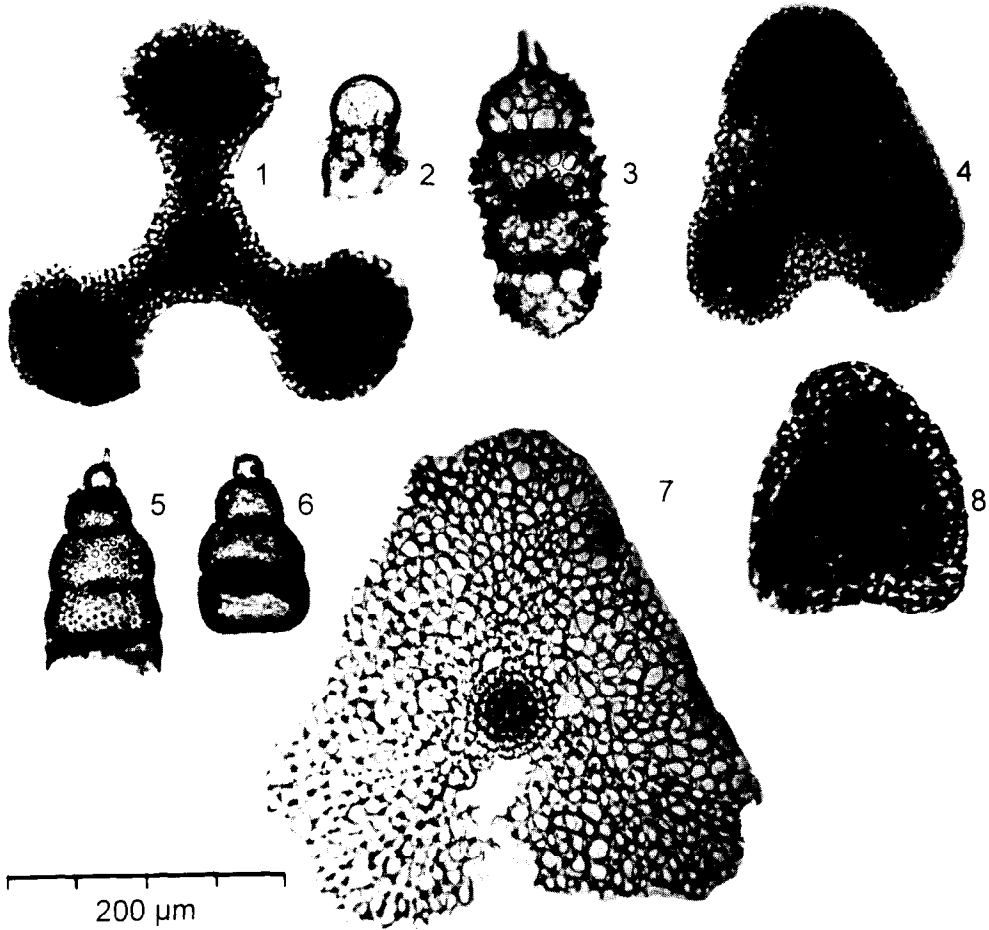
\*Los números remarcados corresponden a las muestras./The boldfaced numbers correspond to the samples.

considerando al total (S) el 100%. Esto permitió, mediante una regla de tres simple, estimar el porcentaje estandarizado de cada una de las especies para cada muestra (tabla 2). Puesto que sólo tres muestras contienen radiolarios y, por consiguiente, únicamente éstas pueden ser estudiadas, fue posible ubicar los porcentajes estandarizados de cada especie en un gráfico triangular (Fig. 4), siguiendo los criterios de Shepard (1954). Este proceso realza la presencia de las especies distintivas de cada una de las muestras y permite, por tanto, hacer más fácil la

since the statistical mean of abundance (X) is indicated with symbols (table 2; Fig. 4). In referring to the graph in Fig. 4, it must be considered that, stratigraphically speaking, sample 4 is below samples 2 and 1 (Fig. 3); therefore, it represents the most remote time.

## RESULTS AND DISCUSSION

Based on the criteria of the graphic-multivariate analysis used in this study, it is congruent that the radiolarian species common



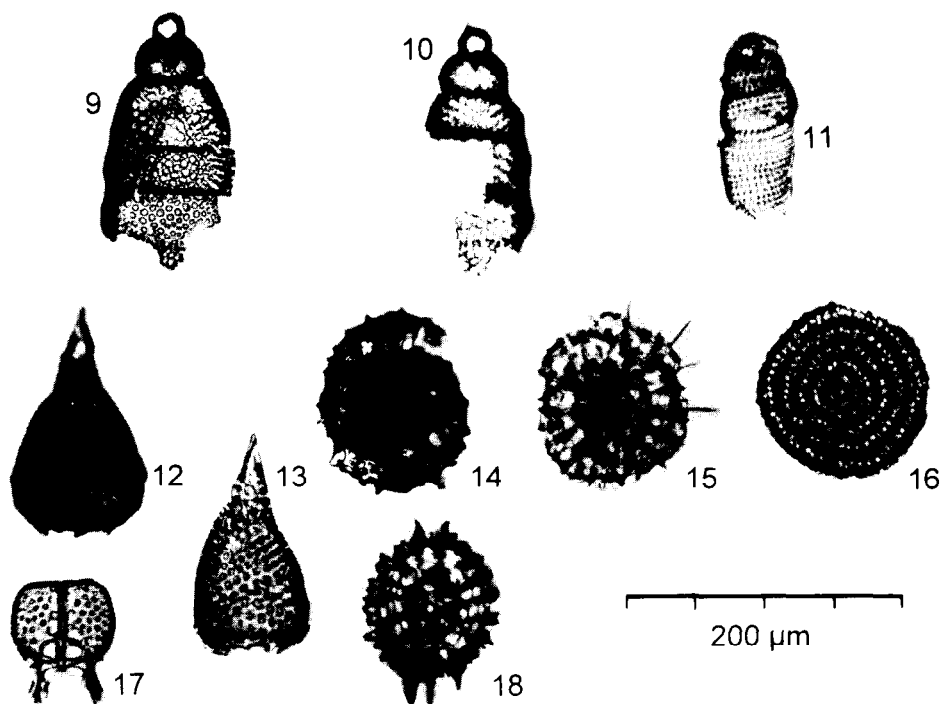
Placa 2 (a):

- |   |   |
|---|---|
| 1. <i>Hymeniastrum euclidis</i> (Haeckel), <b>2.*</b>   | 5 y 6. <i>Stichocorys peregrina</i> (Riedel), <b>1.</b>       |
| 2. <i>Lophophaena</i> sp. (Ehrenberg), <b>4.</b>        | 7. <i>Spongodiscus ambus</i> (Sanfilippo y Riedel), <b>2.</b> |
| 3. <i>Didymocortis penultimus</i> (Riedel), <b>4.</b>   | 8. <i>Spogaster</i> (?) sp., <b>2.</b>                        |
| 4. <i>Dyctiocoryne truncatum</i> (Ehrenberg), <b>2.</b> |   |

\*Los números remarcados corresponden a las muestras./The boldfaced numbers correspond to the samples.

comparación de composición faunística entre muestras. Asimismo, el agrupamiento de especies dentro del gráfico permite visualizar relaciones entre especies y, en consecuencia, hacer inferencias paleoecológicas. Dentro del gráfico, se puede observar también la diferencia de abundancia relativa entre especies, ya que se señala, mediante simbología, la media estadística de abundancia ( $X$ , tabla 2; Fig. 4). Respecto

to the three samples be located in the center of the model (Fig. 4). Nevertheless, it is important to note that this central grouping includes, in general, the most abundant species ( $X > 3.1\%$ ). This similitude among the samples, both in faunistic composition and lithology, points out that the diatomites of subunit C of the Trinidad Formation were deposited by the same oceanographic sedimentary dynamics. Since a signifi-



Placa 2 (b):

- |  |  |
|--|--|
| 9 y 10. <i>Stichocorys peregrina</i> (Riedel), 1.*   | 15. <i>Phorticium pylonium</i> (Haeckel), 2.             |
| 11. <i>Phormostichoartus</i> sp., 4.                 | 16. <i>Stylodictya aculeata</i> (Jørgensen), 4.          |
| 12 y 13. <i>Anthocyrtdium ehrenbergi</i> (Stöhr), 1. | 17. <i>Phormospyris stabilis scaphipes</i> (Haeckel), 1. |
| 14. <i>Lithelius nautiloides</i> (Popofsky), 1.      | 18. <i>Haliometta</i> sp. (Haeckel), 2.                  |

\*Los números remarcados corresponden a las muestras./The boldfaced numbers correspond to the samples.

a la Fig. 4, considérese que estratigráficamente la muestra 4 está más abajo que las muestras 2 y 1 (Fig. 3) y, por tanto, representa al tiempo más remoto.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Debido a los fundamentos de estructuración del análisis gráfico multivariado empleado en este estudio, es congruente que las especies de radiolarios comunes a las tres muestras se ubiquen en el centro del sistema (Fig. 4). Sin embargo, es importante notar que esta agrupación central incluye, en general, a las especies más

abundante de diatomeas y de los radiolarios un grupo *Pylospira* (Mullineaux and Westberg-Smith, 1986), which includes *Phorticium pylonium* (Fig. 4, No. 15), pyloniids (Fig. 4, No. 17), *Pylospira octapyle* (Fig. 4, No. 18) and *Lithelius* spp. (Fig. 4, No. 14) have been associated with upwelling events in the Gulf of California (Alvarez-Arellano and Molina-Cruz, 1986), it is suggested that these oceanic processes were the direct promoters of the pelagic input which gave place to the deposition of the diatomites.

The graphic-multivariate analysis, in complement, groups the species that particularly

**Tabla 2.** Estadísticas de las especies.**Table 2.** Statistics of the species.

Especies	Porcentajes			S (suma)	X (media)	Porcentajes estandarizados		
	Muestras					Muestras		
	1	2	4			1	2	4
<b>Espumelaridos</b>								
1. <i>C. microporus</i>	0.0	0.9	0.4	1.3	0.4	0.0	72.5	27.5
2. <i>D. penultimus</i>	0.3	0.0	0.2	0.5	0.2	61.5	0.0	38.4
3. <i>D. irregularis</i>	0.1	0.9	0.4	1.5	0.5	10.3	65.1	24.7
4. <i>D. pyriformis</i>	0.3	0.9	0.5	1.8	0.6	17.3	53.1	29.6
5. <i>E. furcata</i>	1.6	1.9	1.1	4.6	1.5	34.6	41.9	23.5
6. <i>Euchitonia</i> spp.	5.8	7.1	4.8	17.4	5.8	33.6	40.5	27.5
7. <i>H. entacanthum</i>	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	100.0	0.0	0.0
8. <i>H. laevigatum</i>	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	100.0	0.0	0.0
9. <i>H. euclidis</i>	0.3	1.9	0.5	2.7	0.9	11.3	69.4	19.3
10. <i>Hymeniast.</i> spp.	2.2	3.4	3.7	9.4	3.1	23.5	36.6	39.9
11. <i>L. buttschlii</i>	0.9	1.3	0.0	2.3	0.7	41.4	58.6	0.0
12. <i>L. mosh./quad.</i>	1.7	1.5	1.4	4.7	1.6	37.2	32.5	30.3
13. <i>L. minor</i>	0.0	0.2	0.2	0.4	0.1	0.0	48.7	51.3
14. <i>Lithelius</i> spp.	3.9	4.4	2.8	11.2	3.7	35.3	39.2	25.5
15. <i>P. pylonium</i>	7.6	12.2	20.0	39.8	13.3	19.1	30.7	50.2
16. <i>Porodiscus</i> sp.	6.6	10.9	3.4	20.9	7.0	31.7	52.0	16.2
17. <i>Pyloniidos</i>	11.7	9.4	9.6	30.7	10.2	38.1	30.5	31.4
18. <i>P. octopyle</i>	7.2	3.8	3.7	14.8	4.9	48.8	25.8	25.3
19. <i>S. puella</i>	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	100.0
20. <i>S. ambus</i>	0.1	1.5	2.0	3.6	1.2	4.1	41.9	54.0
21. <i>S. glac./venus.</i>	4.4	5.0	2.7	12.1	4.0	36.7	41.1	22.1
22. <i>S. acul./validi.</i>	12.9	5.9	4.4	23.2	7.7	55.6	25.5	18.9
23. No identificados	7.4	9.7	6.8	23.9	8.0	30.8	40.8	28.4
24. Total	76.0	84.0	69.0	229.0	76.3	33.1	36.7	30.1
<b>Naseláridos</b>								
26. <i>A. disolenia</i>	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	100.0
27. <i>A. deflan./long.</i>	1.7	0.9	4.8	7.5	2.5	23.1	12.6	64.2
28. <i>A. ehrenbergi</i>	1.0	0.2	0.2	1.4	0.4	70.6	14.7	14.7
29. <i>B. dictyoceph.</i>	0.0	0.9	5.3	6.3	2.1	0.0	15.1	84.9
30. <i>C. papillosum</i>	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	100.0
31. <i>C. japonica</i>	0.3	0.0	0.0	0.3	0.1	100.0	0.0	0.0
32. <i>Dendrospyris</i> sp.	0.5	0.6	0.9	1.9	0.6	24.3	29.5	46.1
33. <i>E. cienkowskii</i>	1.4	1.3	2.3	5.1	1.7	28.3	26.1	45.6

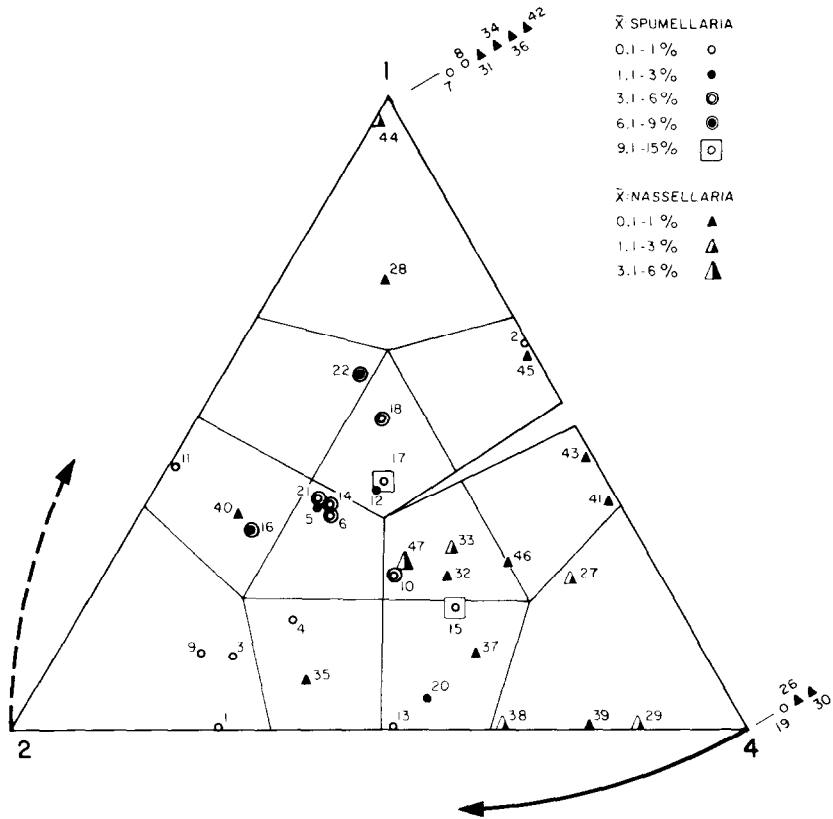
**Tabla 2** (Cont.)

Especies	Porcentajes			S (suma)	X (media)	Porcentajes estandarizados		
	Muestras					Muestras		
	1	2	4			1	2	4
34. <i>E. hexagonatum</i>	0.3	0.0	0.0	0.3	0.1	100.0	0.0	0.0
35. <i>Eucecryph. sp.</i>	0.2	1.1	0.7	2.0	0.7	8.0	56.7	35.3
36. <i>L. audax</i>	0.2	0.0	0.0	0.2	0.1	100.0	0.0	0.0
37. <i>P. stabilis sca.</i>	0.1	0.4	0.7	1.2	0.4	12.1	30.6	57.2
38. <i>P. corbula</i>	0.0	1.9	3.9	5.8	1.9	0.0	32.8	67.2
39. <i>Phormos. sp.</i>	0.0	0.2	0.7	0.9	0.3	0.0	22.2	77.7
40. <i>P. trilobum</i>	0.5	0.8	0.2	1.4	0.5	32.9	53.1	14.0
41. <i>P. gracilipes</i>	0.3	0.0	0.5	0.8	0.3	36.9	0.0	63.1
42. <i>S. subscalaris</i>	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	100.0	0.0	0.0
43. <i>S. delmontensis</i>	0.1	0.0	0.2	0.3	0.1	42.8	0.0	57.1
44. <i>S. peregrina</i>	6.3	0.2	0.0	6.5	2.1	96.9	3.1	0.0
45. <i>T. bicornis</i>	0.3	0.0	0.2	0.5	0.2	60.8	0.0	39.2
46. <i>T. tricostatum</i>	0.8	0.6	1.6	3.0	1.0	26.7	19.2	54.1
47. <i>Z. productus ca.</i>	3.0	3.9	4.4	11.3	3.8	26.8	33.7	39.4
48. No identificados	6.0	3.4	4.2	14.6	4.9	41.1	23.5	35.4
49. Total	24.0	16.0	31.0	71.0	23.7	33.8	22.5	43.7

abundantes ( $X > 3.1\%$ ). La similitud en composición faunística entre las muestras, así como la litológica, señala que los horizontes de diatomitas de la subunidad C de la formación Trinidad fueron depositados mediante una misma dinámica sedimentaria del océano. Puesto que una abundancia significativa de diatomeas y del grupo de radiolarios *Pylospira* (Mullineaux y Westberg-Smith, 1986), que incluye a *Phorticium pylonium* (Fig. 4, No. 15), *Pyloniidos* (Fig. 4, No. 17), *Pylospira octapyle* (Fig. 4, No. 18) y *Lithelius* spp. (Fig. 4, No. 14), ha sido asociada con eventos de surgencia en el golfo de California (Alvarez-Arellano y Molina-Cruz, 1986), y dadas las características del agrupamiento central, es posible sugerir que las surgencias fueron promotores directos del aporte pelágico que dio lugar al depósito de los horizontes en cuestión.

El análisis gráfico multivariado, en complemento, agrupa hacia los vértices del modelo a

differentiate one sample from the others around the model vertices (Fig. 4). The oldest sample, sample 4, groups in first term: *Antarctissa deflandrei* (27), *Botropyle dictyocephalus* (29), *Phormostichoartus corbula* (38) and *Phormostichoartus* sp. (39). These species, as well as *Acrobotrys* sp. (26) and *Carpocanarium papillosum* (30) (located in the vertex because they only appear in this sample) are present in the radiolarian group *Lophophaena* (Mullineaux and Westberg-Smith, 1986) in the Monterey Formation of Los Angeles, California, USA (Fig. 1). There, the group *Lophophaena* dominated ( $X > 70\%$ ) during the middle Miocene, but presented a marked decline during the middle of the late Miocene when the upwelling events were re-established along the western coast of North America, giving way to the dominance of the group *Pylospira*. Consequently, it is probable that the faunistic composition of sample 4 represents a deposit accumulated



**Figura 4.** Triángulo utilizado en este estudio para realizar el análisis gráfico multivariado (modo R). En este análisis se ha modificado pertinentemente el criterio de Shepard (1954). La localización en el triángulo de las especies consideradas en la tabla 2 es señalada mediante símbolos numerados. Estos símbolos, a su vez, expresan el rango medio estipulado en el extremo superior derecho de la figura, tanto para espumeláridos como para naseláridos. Las flechas en los vértices del triángulo, indican que el análisis fue efectuado de la muestra más antigua (4) a la más joven (1).

**Figure 4.** Triangle used in this study to carry out the graphic-multivariate analysis (R-mode). Shepard's criterion (1954) has been pertinently modified in this analysis. Within the triangle, the corresponding locations of the species included in table 2 are indicated by the numbered symbols. These symbols, in turn, express the values of the mean-rank which is stipulated in the upper-right part of the figure, both for the spumellarians as for the nassellarians. The arrows in the vertices of the triangle indicate that the analysis was carried out from the oldest sample (4) to the youngest one (1).

las especies que diferencian particularmente una muestra de las otras (Fig. 4). La muestra 4, que por estar estratigráficamente más abajo (Fig. 3) representa el tiempo más remoto, agrupa en primer término a *Antarctissa deflandrei* (27), *Botryopyle dictyocephalus* (29), *Phormostichoartus corbula* (38) y *Phormostichoartus* sp.

after the decline in the group *Lophophaena*, but before the definition of the *Stichocorys peregrina* biozone (Riedel and Sanfilippo, 1978) which is clearly present farther up in sample 1 (Fig. 4).

Because the maximum decline of the group *Lophophaena* was defined around 8 million



(39). Estas especies, así como *Acrobotrys* sp. (26) y *Carpocanarium papillosum* (30), que por estar sólo en esta muestra se ubican puntualmente en el vértice (Fig. 4), concurren en el grupo Lophophaena (Mullineaux y Westberg-Smith, 1986) de la formación Monterey de Los Angeles, California, EUA (Fig. 1). Ahí, el grupo Lophophaena predominó ( $X > 70\%$ ) durante el mioceno medio, pero declinó marcadamente su abundancia ( $X < 10\%$ ) durante la parte media del mioceno tardío, al restablecerse los eventos de surgencias sobre las costas occidentales de América del Norte y, en consecuencia, dar lugar al predominio del grupo Pylospira. Consecuentemente, la abundancia de este grupo en la muestra 4 representa un depósito acumulado después del declive del grupo Lophophaena; pero antes de la definición de la biozona *Stichocorys peregrina* (Riedel y Sanfilippo, 1978), que se manifiesta claramente más arriba, en el estrato que representa la muestra 1 (Fig. 4).

Debido a que el máximo declive del grupo Lophophaena se definió alrededor de hace 8 millones de años (Mullineaux y Westberg-Smith, 1986) y la base de la zona *Stichocorys peregrina*, hace aproximadamente 6.5 millones de años (Theyer *et al.*, 1978; Weaver *et al.*, 1981), se puede estimar que la edad de la muestra 4 es aproximadamente 7.5 millones de años. Tal edad colocaría a esta muestra dentro de la biozona *Didymocyrtis penultimus* (Riedel y Sanfilippo, 1978; Wolfart, 1981), por lo que la presencia de *Didymocyrtis penultimus* (2) en dicha muestra (tabla 2) es congruente.

Del conjunto de especies ubicadas entre las muestras 2 y 4, en el gráfico de la Fig. 4, sobresale la presencia de *Spongodiscus ambus* (20), porque esta especie restringe su registro bioestratigráfico del mioceno más tardío al plioceno más temprano, donde se presentó por última vez (Nigrini y Lombardi, 1984). Si se observa que la presencia de *S. ambus* decrece de la muestra 4 a la 1 y se acepta la estimación de edad hecha antes para la muestra 4 (7.5 millones de años), es posible asumir que esta especie alcanzó su climax en el mioceno tardío.

Las afinidades ambientales de los espu-meláridos que distinguen a la muestra 2: *Circodiscus microporus* (1), *Drupptractus irregu-*

years ago (Mullineaux and Westberg-Smith, 1986) and the base of the *Stichocorys peregrina* biozone approximately 6.5 million years ago (Theyer *et al.*, 1978; Weaver *et al.*, 1981), it is estimated that sample 4 is approximately 7.5 million years old. This age places sample 4 within the *Didymocyrtis penultimus* biozone (Riedel and Sanfilippo, 1978; Wolfart, 1981). Therefore, the presence of *Didymocyrtis penultimus* (2) in this sample is coherent (table 2).

The radiolarian assemblage defined in the graph (Fig. 4) between samples 4 and 2 contains *Spongodiscus ambus* (20). This species is considered with particular attention because it was generally more abundant during the latest Miocene than during the earliest Pliocene when it last occurred (Nigrini and Lombardi, 1978). If a decrease in the presence of *S. ambus* is observed from sample 4 to 1, and the previously estimated age of sample 4 (7.5 million years) is accepted, it is possible to assume that this species reached its climax in the late Miocene.

The environmental affinities of the spumellarians which distinguish sample 2: *Circodiscus microporus* (1), *Drupptractus irregularis* (3) and *Hymeniastrum* sp. (9) have not been determined; nevertheless, it is observed that these still inhabit, with common abundance, the southern end of the California Current, where this mixes with the Eastern Subtropical Pacific water (Nigrini and Lombardi, 1984; Molina-Cruz, 1986, 1988).

In the triangle shown in Fig. 4 between the zones which define samples 2 and 1, *Porodiscus* spp. (16) and *Stylodictya aculeata-validispina* (22) stand out because of their high relative abundance ( $X > 7\%$ ). The first species is relatively abundant in the waters of the East Pacific (Nigrini and Moore, 1978), but the second one is apparently more abundant in temperate waters than in subtropical ones (Robertson, 1975); thus, its presence in the mouth of the Gulf of California has probably been favorably influenced by the California Current which became significantly evident in sample 1. Thus, the species tends to be located near the zone of sample 1 (Fig. 4).

The large abundance of *Stichocorys peregrina* (44) in sample 1 ( $> 6\%$ ; table 2) evident-

*laris* (3) e *Hymeniastrum* sp. (9), no han sido del todo determinadas, pero se observa que éstos aún habitan y presentan abundancia común en el extremo sur de la corriente de California, donde ésta se mezcla con el agua subtropical del Pacífico oriental (Nigrini y Lombardi, 1984; Molina-Cruz, 1986, 1988).

En el gráfico de la Fig. 4, entre las zonas que definen a las muestras 2 y 1, sobresalen por su abundancia relativa ( $X > 7\%$ ): *Porodiscus* spp. (16) y *Stylodictya aculeata-validispina* (22). La primera es relativamente abundante en las aguas subtropicales del Pacífico oriental (Nigrini y Moore, 1978), pero la segunda es aparentemente más abundante en aguas templadas que en aguas subtropicales (Robertson, 1975); por tanto, su presencia en la boca del golfo de California probablemente ha sido favorecida por el aporte de agua de la corriente de California, que se manifestó significativamente en la muestra 1. De aquí, la tendencia de la especie a colocarse muy cerca de la zona de la muestra 1 (Fig. 4).

La gran abundancia de *Stichocorys peregrina* (44) en la muestra 1 ( $> 6\%$ , tabla 2) sitúa invariablemente a esta muestra, dentro de la biozona del mismo nombre. Esta biozona representa al mioceno más tardío (menor de 6 millones de años; Riedel y Sanfilippo, 1978), aunque algunos autores muestran que transgrede el plioceno temprano (Wolfart, 1981), porque la última presencia de la especie en el Pacífico fue hace aproximadamente 2.5 millones de años (Theyer *et al.*, 1978). No obstante, en este estudio se considera que la muestra 1 representa al mioceno más tardío, porque no hay presencia de *Lamprocyrtis heteroporos* ni de *Amphirhopalum wirchowii-ypsillon* y *Didymocyrtis tetrathalamus*. La primera especie marca el comienzo del plioceno en regiones bajo la corriente de California (Kling, 1973; Weaver *et al.*, 1981), mientras que las otras dos se encuentran en sedimentos pliocénicos tempranos de los sitios 473 y 476 del DSDP (Wolfart, 1981; Molina-Cruz, 1982), cercanos al rancho El Torote (Fig. 1). Por ello, se estima que la edad de la muestra 1 y, en consecuencia, de la parte más alta de la subunidad C de la formación Trinidad (Fig. 3), es de 6 a 5 millones de años. La última

ly places this sample within the biozone by the same name. This biozone represents the latest Miocene (younger than 6 million years; Riedel and Sanfilippo, 1978), even though some authors have suggested that this transgresses into the earliest Pliocene (e.g., Wolfart, 1981), because *S. peregrina* last occurred in the Pacific 2.5 million years ago (Theyer *et al.*, 1978). Nevertheless, it is considered in this study that sample 1 represents the latest Miocene because neither *Lamprocyrtis heteroporos*, *Amphirhopalum wirchowii-ypsillon* nor *Didymocyrtis tetrathalamus* are present. The first species marks the onset of the Pliocene in regions influenced by the California Current (Kling, 1973; Weaver *et al.*, 1981), while the other two species occur in early Pliocene sediments of the DSDP sites 473 and 476 (Wolfart, 1981; Molina-Cruz, 1982) which are close to El Torote Ranch (Fig. 1). Thus, it is estimated that the age of sample 1 and consequently, the upper part of subunit C of the Trinidad Formation is between 6 and 5 million years. The presence of *Anthocyrtidium ehrenbergii* (28), which last occurred about 5.5 million years ago (Weaver *et al.*, 1981), is consequently congruent with sample 1.

*Stichocorys peregrina* was endemic to the California Current waters (Weaver *et al.*, 1981); therefore, sample 1 represents a late Miocene interval in which the California Current contributed significantly to the protomouth of the Gulf of California. This event coincides with the intensification of the California Current recorded in the Monterey Formation in California, USA (Mullineaux and Westberg-Smith, 1986).

The determined age of the stratigraphically lower diatomites of the Trinidad Formation in El Torote Ranch is approximately 2.5 million years older than the base of the DSDP sites 474 to 476 (Aubry *et al.*, 1982), which is coherent with the sea-floor spreading model suggested for the mouth of the Gulf of California (Fig. 2; Larson *et al.*, 1968). Because the deposit of these diatomites represents a Pacific Ocean inland invasion prior to the definition of magnetic anomalies (Fig. 2), i.e., to the sea-floor accretion-spreading process which continues to morphologically shape the gulf, it is justifiable

presencia de *Anthocyrtidium ehrenbergii* (28), de hace 5.5 millones de años (Weaver *et al.*, 1981), es, por consiguiente, congruente con la muestra 1.

*Stichocorys peregrina* fue endémica de la corriente de California (Weaver *et al.*, 1981); en consecuencia, la muestra 1 representa un intervalo miocénico tardío, en el que la corriente de California tuvo un aporte significativo en la protoboca del golfo de California. Este evento coincide con la intensificación de la corriente de California registrada en la formación Monterey de California (Mullineaux y Westberg-Smith, 1986).

La edad determinada para las diatomitas colocadas estratigráficamente más abajo en la formación Trinidad, en el rancho El Torote, es aproximadamente 2.5 millones de años mayor que la del basamento de los sitios 474 a 476 del DSDP (Aubry *et al.*, 1982), lo que es congruente con el esquema de dispersión del piso oceánico propuesto para la boca del golfo de California (Fig. 2; Larson *et al.*, 1968). No obstante, puesto que el depósito de dichas diatomitas representa una invasión del océano Pacífico, tierra adentro, previa a la definición de anomalías magnéticas (Fig. 2), es decir, al proceso de acumulación de nuevo magma y dispersión oceánica que aún da lugar a la configuración morfológica del golfo, es justificable emplear el término *protoboca* para referirse a la cuenca que albergó dicha invasión.

Pero, ¿por qué denominarla protoboca y no protogolfo, como proponen otros autores? (por ejemplo, Smith, 1991). En primer lugar, porque el concepto protogolfo de California ha sido utilizado para referirse a una invasión del océano Pacífico a la parte continental conocida hoy como México, que tuvo una extensión tan grande o mayor que la del golfo actual, aunque, como se mencionó anteriormente, esta característica no ha sido unánimemente aceptada, porque se carece de elementos de juicio provenientes de todo el contorno del golfo de California actual.

En la costa noroeste del golfo de California, puntualmente en el área de San Felipe, Baja California, y al sur de la parte norte del golfo, en isla Tiburón, hay afloramientos marinos del

to use the name *protomouth* to refer to the basin which harbored such an invasion.

But why *protomouth* and not *protogulf* as proposed by other authors (*e.g.*, Smith, 1991)? In the first place, because the *protogulf* of California concept has been used to refer to a Pacific Ocean inland invasion with an extension as large or even larger than the actual Gulf of California; even though, as mentioned earlier, this characteristic has not been unanimously accepted due to the lack of elements of judgment from the entire Gulf of California region.

In the northwest coast of the Gulf of California, within the area of San Felipe, Baja California, and in the southern part of the northern region of the gulf, in Tiburón Island, there are Miocenic marine outcrops. It has been inferred that the San Felipe deposits correspond to bathymetric depths which are equal to or greater than the ones depicted by the upper bathyal environment (> 150 m), because they contain pelagic microfossils, particularly radiolarians (Pérez-Guzmán, 1985). In turn, the Tiburón Island sediments represent very shallow deposits that correspond to the littoral-neritic environment (Stump, 1981). In general, the origin of the deposits discussed above has been related to the existence of the *protogulf* of California (*e.g.*, Pérez-Guzmán, 1985; Smith, 1991). Nevertheless, it is considered in this study that in order to explain the origin of the San Felipe outcrops, we must not restrict ourselves to this option only, *i.e.*, to the existence of a basin more than 1000 km long and communicated with the Pacific Ocean exclusively at its southern extreme. It is possible to propose other places of water incursion from the Pacific Ocean towards the San Felipe location; *e.g.*, from the northwest, although this has not been explored. This route of incursion, as well as other possible routes must be considered, because so far there is not sufficient evidence to show that the San Felipe radiolarians invaded through the argued *protogulf*. On the contrary, the Miocenic marine deposits of Tiburón Island suggest a barrier that impedes the passing of radiolarians through the south-north route. Since they correspond to a very shallow environment (littoral-neritic), the coastal influence which in-

mioceno. Se ha inferido que los depósitos de San Felipe corresponden a profundidades iguales o mayores que las descritas para el ambiente batial superior ( $> 150$  m), porque contienen microfósiles pelágicos oceánicos, en particular radiolarios (Pérez-Guzmán, 1985). Los depósitos de isla Tiburón, a su vez, representan profundidades muy someras, pertenecientes a un ambiente de nerítico a litoral (Stump, 1981). El origen de dichos depósitos, en general, ha sido relacionado con la existencia del protogolfo de California (por ejemplo, Pérez-Guzmán, 1985; Smith, 1991). No obstante, en este estudio, se considera que, para explicar el depósito de los afloramientos marinos del mioceno de San Felipe, no debemos restringirnos únicamente a esta opción, es decir, a la existencia de una cuenca alargada en más de 1000 km y comunicada con el océano Pacífico exclusivamente en su extremo sur. Es posible proponer otros lugares de incursión de las aguas del océano Pacífico hacia esta localidad; por ejemplo, hacia el noroeste, aunque esto no ha sido explorado. Esta vía de incursión, así como otras posibles, necesitan ser consideradas porque hasta la fecha no hay evidencias suficientes de que los radiolarios de San Felipe hayan incursionado a través del protogolfo argumentado. Los depósitos marinos miocénicos de isla Tiburón sugieren, por el contrario, una barrera al paso de los radiolarios por la vía sur-norte, ya que, por ser ambientes muy someros (de litoral a nerítico), hacen evidente la influencia terrígena costera, que inhibe la ocurrencia de radiolarios significativamente. Dadas estas consideraciones, se propone la siguiente interpretación:

Si se retorna hipotéticamente la península de Baja California a su posición de prerruptura continental (Moore y Curray, 1982), se notará que sólo en la región de la boca del golfo de California se configuran geomorfológicamente huecos (Fig. 5). Por tanto, es posible asumir que un proceso tectónico, independiente del de dispersión del piso oceánico actual (Larson *et al.*, 1968), afectó particularmente esta región, sobre todo si se considera que el paleotectonismo de Baja California (norte) no tuvo mucha interrelación con el de Baja California Sur (Dokká y Merriam, 1979).

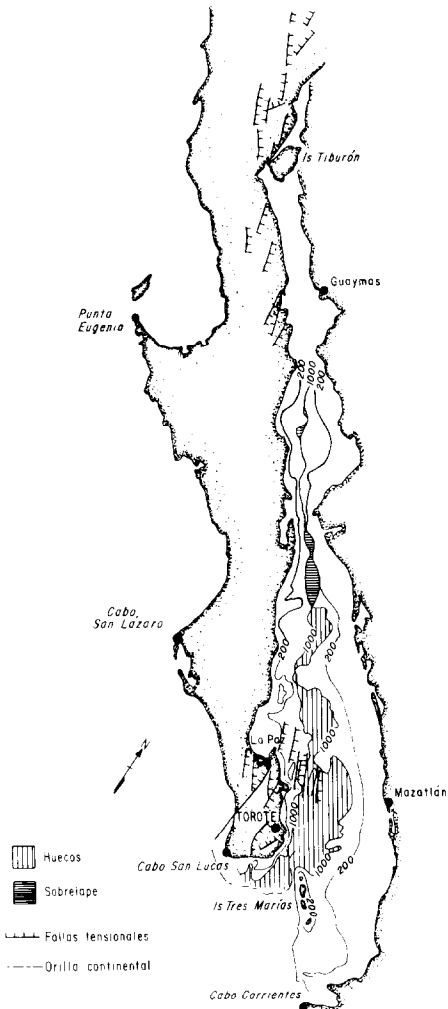
hibits radiolarian occurrence is evident. Given the above considerations, the following interpretation is proposed:

If the Baja California Peninsula is hypothetically returned to its continental prerrupture position (Moore and Curray, 1982), gaps are observed only in the region of the mouth of the Gulf of California (Fig. 5). Thus, it is possible to assume that a tectonic process, independent of the present sea-floor spreading (Larson *et al.*, 1968), particularly affected this region, especially if it is considered that the ancient tectonism of Baja California (Norte) was not interrelated with that of Baja California Sur (Dokká and Merriam, 1979).

The fact that the region within the mouth of the gulf experienced a tectonic process independent from the actual one can be accepted or not, but it is not possible to deny that the gaps in this region are geomorphologically defined whenever the blocks are returned to their continental prerrupture position using drift models (Fig. 5). This fact has paleogeographic relevance, since the formation of such gaps propitiates the bathymetric conditions needed to harbor a Pacific Ocean inland invasion. Furthermore, this restricted the water incursion to the geographical extension of the gaps and therefore, this inland invasion had smaller proportions than those attributed to the protogulf (Smith, 1991).

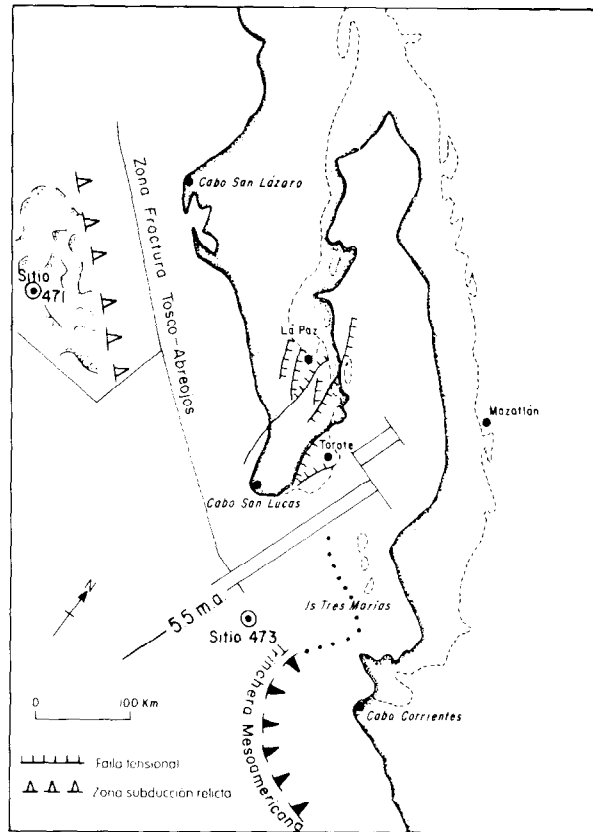
Since the basin which harbored the oceanic invasion under consideration refers to dimensions considerably smaller than those of the protogulf, the term *protomouth* is proposed, and that this protomouth has evolved to form the Gulf of California. This alternate interpretation agrees with that of Mammerickx (1980), differing only in the age estimated for the opening of the protomouth, and consequently, that of the Pacific Ocean invasion. This study proposes that such aperture and invasion occurred 8 million years ago, while Mammerickx proposed 6 million years ago.

Also, a paleogeography that considers a Pacific Ocean invasion only in the gaps (Fig. 6) is not incongruent with the paleontological and lithologic evidences manifested in Punta Mita, Puerto Vallarta, Rancho El Refugio, San José



**Figura 5.** Paleogeografía conceptual del noroeste de México durante el mioceno tardío. En ella, la península de Baja California se ha regresado a su posición de prerruptura continental, a través de la orientación de las fallas, de acuerdo con Moore y Curray (1982). Esta reconstrucción cierra prácticamente el golfo de California; no obstante, si se considera a la isobata de los 1000 m como la orilla continental, se observará que hay huecos en la región de la boca del golfo.

**Figure 5.** Conceptual paleogeography of northwestern Mexico for the late Miocene. In this reconstruction, the Baja California Peninsula has been returned to its continental prerrupture position following the fault outlines and according to Moore and Curray (1982). This reconstruction practically closes the Gulf of California; nevertheless, if the 1000 m isobath is considered as the continental edge, gaps will be observed in the mouth of the gulf.



**Figura 6.** Reconstrucción paleogeográfica concebida en este estudio, para la región de la boca del golfo de California, hace aproximadamente 5.5 millones de años.

**Figure 6.** Paleogeographic reconstruction conceived in this study for the mouth of the Gulf of California, approximately 5.5 million years ago.

El que en la región de la boca del golfo se haya presentado en el pasado un tectonismo independiente del actual puede ser aceptado o no, pero es innegable que en esta región se configuran geomorfológicamente huecos al plantear el retorno de los bloques en cuestión a su posición de prerruptura continental, mediante modelos de deriva tectónica (Fig. 5). Este hecho tiene relevancia paleogeográfica, ya que la formación de dichos huecos propicia las condiciones batimétricas necesarias para albergar una invasión del océano Pacífico, tierra adentro. Además, cabe asumir que esta invasión debió restringirse a la extensión geográfica propia de los

del Cabo, Santa Rosalía and the Tres Marias Islands. (Smith, 1991 and references therein).

## CONCLUSIONS

Subunit C of the Trinidad Formation (McCloy, 1984) is constituted of intercalated layers of turbiditic mudstones, diatomitic shales and diatomites. Nevertheless, only the diatomite layers, given their pelagic character, show the accumulation of oceanic-planktonic organisms, particularly radiolarians. The occurrence of the radiolarian group *Pylospira* in the subunit C diatomites indicates that their deposition was

huecos y que, por tanto, debió de tener proporciones menores que las atribuidas al protogolfo (Smith, 1991).

Puesto que la cuenca que albergó la invasión oceánica en discusión refiere dimensiones considerablemente menores que las del propuesto protogolfo, se le denomina aquí *protoboca* y se propone, además, que a partir de ella se ha formado el actual golfo de California. Esta propuesta alterna está de acuerdo, en general, con la de Mammerickx (1980), de la que difiere sólo en la asignación de la edad estimada para la apertura de la protoboca y, en consecuencia, en la de la invasión del océano Pacífico, tierra adentro. En este trabajo se propone que dicha apertura e incursión ocurrieron hace 8 millones de años, mientras que él propuso 6 millones de años.

Adicionalmente, una paleogeografía que considere sólo los huecos en cuestión (Fig. 6) no es incongruente con las evidencias paleontológicas y litológicas manifiestas en punta Mita, puerto Vallarta, rancho El Refugio, San José del Cabo, Santa Rosalía e islas Marias (Smith, 1991, y referencias ahí citadas).

## CONCLUSIONES

La subunidad C de la formación Trinidad (McCloy, 1984) está constituida por estratos intercalados de lodolitas turbidíticas, lutitas diatomíticas (hemipelágicas) y diatomitas; no obstante, sólo los horizontes de diatomitas, dado su carácter netamente pelágico, muestran acumulación de organismos planctónicos, en particular de radiolarios. La presencia del grupo de radiolarios *Pylospira* en las diatomitas de la subunidad C indica que el depósito de éstas fue promovido principalmente por eventos de surgencias, ocurridos hace 8 a 5 millones de años. Durante este estadio de surgencias, conforme transcurrió el tiempo, se incrementó el aporte del agua de la corriente de California en la boca del golfo y, por eso se encuentra la especie índice *Stichocorys peregrina* muy conspicuamente al final del mioceno, es decir, hace un poco menos de 5 millones de años.

La presencia de radiolarios en las diatomitas, así como su edad, hacen evidente que el

principalmente promovido por upwelling events which occurred approximately between 8 and 5 million years ago. As time progressed in this stage of upwelling events, the contribution of water from the California Current increased in the protomouth of the Gulf of California, and consequently, gave rise to a conspicuous occurrence of *Stichocorys peregrina* at the end of the Miocene, *i.e.*, a little before 5 million years ago.

The radiolarian presence in the diatomites, as well as their age proves that the Pacific Ocean waters invaded the gulf-mouth region before the onset of the sea-floor accretion-spreading process which formed the present Gulf of California. Therefore, it is justifiable to precede the name of the basin which harbored said invasion with the prefix proto. In this case *protomouth*, because the Pacific Ocean inland invasion was less extensive than the present Gulf of California.

## ACKNOWLEDGEMENTS

My sincere thanks to Gerardo González-Barba and Alejandro Alvarez-Arellano for their enthusiasm and help in obtaining the samples from the Trinidad Formation. I also thank María Luisa Machain and Kjell Björklund for accompanying me on the expedition, and Alejandro Pineda for preparing the slides. Finally my thanks to Miguel Agustín Téllez Duarte for the critical review of the manuscript.

English translation by the author.

---

océano Pacífico invadió la región de la boca, antes de que se originara el proceso de acumulación de nuevo material magmático y dispersión oceánica que ha dado lugar a la formación del golfo de California. Por consiguiente, es justificable anteceder al nombre de la cuenca que albergó dicha invasión con el prefijo proto. En este caso, se propone el término *protoboca*, porque dicha incursión oceánica tuvo dimensiones menores que las del golfo de California actual.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a Gerardo González-Barba y Alejandro Alvarez Arellano, el en-

tusiasmo y ayuda brindados para explorar la formación Trinidad y obtener las muestras. Asimismo, hago extensivo este sentimiento a María Luisa Machain y Kjell Björklund, por acompañarme a dicha expedición, así como a Alejandro Pineda por preparar los portaobjetos. Finalmente, agradezco a Miguel Agustín Téllez Duarte la revisión crítica del manuscrito.

## REFERENCIAS

- Alvarez-Arellano, A. y Molina-Cruz, A. (1986). Aspectos paleoceanográficos cuaternarios del golfo de California, evidenciados por conjuntos de radiolarios. **An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., UNAM**, 13(2): 67-94.
- Aubry, M.P., Matoba, Y., Molina-Cruz, A. and Schrader, H. (1982). Synthesis of leg 64 biostratigraphy. In: J.R. Curray and D.G. Moore (eds.), **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 64**, 64(2): 1057-1064.
- Benson, R.N. (1964). Preliminary report on Radiolaria in recent sediments of Gulf of California. In: Tj.H. van Andel and G.G. Shor (eds.), **Marine Geology of the Gulf of California**. AAPG. Memoir 3: 398-400.
- Benson, R.N. (1983). Quaternary radiolarians from the mouth of the Gulf of California, Deep Sea Drilling Project, leg 65. In: B.T.R. Lewis *et al.* (eds.), **Initial Reports of the DSDP, Leg 65**, 65: 491-523.
- Carreño, A.L. (1985). Biostratigraphy of the late Miocene to Pliocene on the Pacific island María Madre, Mexico. **Micropal.**, 31 (2): 139-166.
- Curray, J.R., Moore, D.G., Kelts, K. and Einsele, G. (1982). Tectonics and geological history of the passive continental margin at the tip of Baja California. In: J.R. Curray and D.G. Moore (eds.), **Initial Reports of the DSDP, Leg 64**, 64(2): 1089-1116.
- Dokka, R.K. and Merriam, R.H. (1979). Tectonic evolution of the main gulf escarpment between latitude 31°N and 30°N, north-eastern Baja California, Mexico. In: P.L. Abbot and G. Gastil (eds.), **Baja California Geology: Field Guides and Paper**. Dept. of Geol. Sci., San Diego State Univ., San Diego, CA, USA, pp. 139-148.
- Hagstrum, J.T., Sawlan, M.G., Hausback, B.P., Smith, J.G. and Gromme, C.S. (1987). Miocene paleomagnetism and tectonic setting of the Baja California Peninsula, Mexico. **J. Geophys. Research**, 92(B3): 2627-2639.
- Kling, S.A. (1973). Radiolaria from the Eastern North Pacific, Deep Sea Drilling Project, leg 18. **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 18**, 18: 617-671
- Larson, R.L., Menard, H.W. and Smith, S.M. (1968). Gulf of California: A result of ocean floor spreading and transform faulting. **Science**, 73: 3361-3397.
- Mammerickx, J. (1980). Neogene reorganization of spreading between the Tamayo and the Rivera fracture zone. **Mar. Geophys. Res.**, 4: 305-318.
- McCloy, C. (1984). Stratigraphy and depositional history of the San José del Cabo Trough, Baja California Sur, Mexico. In: V.A. Frizzel (ed.), **Geology of the Baja California Peninsula**. Pacific Section S.E.P.M., 39: 267-273.
- McCloy, C., Ingle, J.C. and Barron, J.A. (1988). Neogene stratigraphy, foraminifera, diatoms and depositional history of María Madre Island, Mexico: Evidence of early Neogene marine conditions in the southern Gulf of California. **Marine Micropal.**, 13: 193-212.
- Molina-Cruz, A. (1978). Late quaternary oceanic circulation along the Pacific coast of South America. Ph.D. thesis. **Oregon State Univ.**, Corvallis, OR, USA, 179 pp.
- Molina-Cruz, A. (1982). Radiolarians in the Gulf of California: Deep Sea Drilling Project, leg 64. In: J.R. Curray and D.G. Moore (eds.), **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 64**, 64(2): 983-1002.
- Molina-Cruz, A. (1986). Evolución oceanográfica de la boca del golfo de California. **An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., UNAM**, 13(2): 95-120.
- Molina-Cruz, A. (1988). Late Quaternary oceanography of the mouth of the Gulf of California: The Polycystine connection. **Paleoceanography**, 3(4): 447-459.



- Moore, T.C. Jr. (1973). Method of randomly distributing grains for microscopic examination. **J. Sediment. Petrol.**, 43(3): 904-906.
- Moore, D.G. and Curray, J.R. (1982). Geologic and tectonic history of the Gulf of California. In: J.R. Curray and D.G. Moore (eds.), **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 64**, 64(2): 1279-1294.
- Mullineaux, L.S. and Westberg-Smith, M.J. (1986). Radiolarians as paleoceanographic indicators in the Miocene Monterey Formation, upper Newport Bay, California. **Micropal.**, 32(1): 48-71.
- Nigrini, C. and Moore, T.C. Jr. (1978). A guide to modern Radiolaria. **Cushman Foundation for Foram. Research, Spec. Publ.** 16, 106 pp.
- Nigrini, C. and Lombardi, G. (1984). A guide to Miocene Radiolaria. **Cushman Foundation for Foram. Research, Spec. Publ.** 22, 206 pp.
- Pérez-Guzmán, A.M. (1985). Radiolaria biostratigraphy of late Miocene in Baja California and the Tres Marias Islands, Mexico. **Micropal.**, 31(4): 320-334.
- Riedel, W.R. and Sanfilippo, A. (1971). Cenozoic Radiolaria from the Western Tropical Pacific, leg 7. In: E.L. Winterer *et al.* (eds.), **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 7**, 7: 1529-1672.
- Riedel, W.R. and Sanfilippo, A. (1978). Stratigraphy and evolution of tropical Cenozoic radiolarians. **Micropal.**, 24(1): 61-96.
- Robertson, J.H. (1975). Glacial to interglacial oceanographic changes in the northwest Pacific, including a continuous record of the last 400,000 years. Ph.D. dissertation, **Columbia University**. New York, NY, USA, 355 pp.
- Roelofs, A.K. and Pisias, N.G. (1986). Revised technique for preparing quantitative radiolarian slides from deep-sea sediments. **Micropal.**, 32(2): 182-185.
- Shepard, F.P. (1950). Submarine topography of the Gulf of California, part 3 of the 1940 E.W. Scripps cruise to the Gulf of California. **Geol. Soc. America Mem.**, 43 pp.
- Shepard, F.P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **J. Sed. Petrology**, 24 (3): 151-158.
- Smith, J.T. (1991). Cenozoic mollusks and paleogeography of the Gulf of California. In: P. Dauphin and B.R.T. Simoneit (eds.), **The Gulf and Peninsular Province of the Californias**. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47: 637-666.
- Stump, T.E. (1981). The marine Miocene faunas of Tiburón Island, Sonora, Mexico, and their zoogeography implications. In: L. Ortleib and J. Roldan (eds.), **Geology of Northwestern México and Southern Arizona**. Inst. de Geología, UNAM, México, D.F., pp. 105-124.
- Theyer, F., Mato, C.Y. and Hammond, S.R. (1978). Paleomagnetic and geochronologic calibration of latest Oligocene to Pliocene radiolarian events, equatorial Pacific. **Marine Micropal.**, 3: 377-395.
- Weaver, F., Casey, R.E. and Pérez-Guzmán, A.M. (1981). Stratigraphic and paleoceanographic significance of early Miocene to middle Pliocene radiolarian assemblages from northern to Baja California. In: R.E. Garrison and R.G. Douglas (eds.), **The Monterey Formation and Related Silicious Rocks of California**. Pacific Section. Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ. Los Angeles, CA, USA, pp. 71-86.
- Wolfart, R. (1981). Neogene radiolarians from the eastern North Pacific (off Alta and Baja California), Deep Sea Drilling Project, leg 63. In: R.S. Yeats and B.U. Haq (eds.), **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 63**, 63: 473-506.