

Paleoecología y cronoestratigrafía de las diatomeas del Miembro Los Indios en la Mesa La Misión, del Mioceno de Baja California, México

Fernando Manuel **Salinas-Márquez**, Juan Gabriel **Flores-Trujillo**, Javier **Helenes**, Miguel Agustín **Téllez-Duarte**, Francisco Javier **Aranda-Manteca**

Fernando Manuel Salinas-Márquez

fer.sama85@gmail.com

Universidad Autónoma de Baja California,
Facultad de Ciencias Marinas. Carretera
Transpeninsular Ensenada - Tijuana No. 3917
Colonia Playitas C.P. 22860 Ensenada, Baja
California, México.

Juan Gabriel Flores-Trujillo

Universidad Autónoma del Carmen,
Dependencia Académica de Ingeniería
y Tecnología. Av. Central S/N Esq. con
Fraccionamiento Mundo Maya C.P. 24115
Ciudad del Carmen, Campeche, México.

Javier Helenes

Centro de Investigación Científica y Estudios
Superiores de Ensenada, División de Ciencias
de la Tierra. Carretera Ensenada-Tijuana No.
3918, Zona Playitas, C.P. 22860, Ensenada,
B.C. México.

Miguel Agustín Téllez-Duarte

Francisco Javier Aranda-Manteca

Universidad Autónoma de Baja California,
Facultad de Ciencias Marinas. Carretera
Transpeninsular Ensenada - Tijuana No. 3917
Colonia Playitas C.P. 22860 Ensenada, Baja
California, México.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo identificar y analizar los aspectos paleoambientales y bioestratigráficos de las especies de diatomeas presentes en los sedimentos en la Mesa La Misión. La Mesa La Misión, es un afloramiento del Miembro Los Indios de la formación Rosarito Beach en Baja California. Es una secuencia de rocas volcánoclasticas que contiene una abundante y diversa fauna. Se tomaron muestras de sedimentos a lo largo de la secuencia estratigráfica, y se encontraron 15 especies de diatomeas. La asociación de diatomeas indica que el depósito de sedimentos en el Miembro Los Indios ocurrió en una plataforma progradacional. Las diatomeas bentónicas son más abundantes en la base de la secuencia y se observa una disminución de estas en las capas superiores. La mayoría de las especies de diatomeas encontradas son de temperaturas templadas, sin embargo se observan algunas diatomeas tropicales y otras de aguas frías, lo que sugiere una mezcla de masas de agua. La mezcla de diatomeas de diferentes masas de agua y la disminución de las diatomeas bentónicas sugiere una elevación del nivel del mar, que se asocia al evento del Máximo Climático del Mioceno Medio y puede corresponder al ciclo global TM2.2. La presencia de la especie *Actinocyclus ingens* var. *nodus* asigna una edad de Mioceno medio, más específico entre los 13.0 y 15.6 Ma (Langhiano medio) al Miembro Los Indios de la Formación Rosarito Beach. Esta edad coincide con las fechas obtenidas de los basaltos subyacentes y sobreyacentes que dan 16.1 ± 2.1 y 14.3 ± 2.6 millones de años respectivamente.

Palabras clave: diatomeas, La Misión, Paleoecología, Bioestratigrafía, Rosarito Beach.

ABSTRACT

The aim of the present study is to identify and analyze the paleoenvironmental and biostratigraphic aspects of the diatoms, in the sediments of the Mesa La Misión outcrop.

The Mesa La Misión in Baja California is an outcrop of the Member Los Indios, part of the Rosarito Beach Formation. This formation consists of a volcanoclastic sequence with abundant and diverse vertebrate fauna named "La Misión Local Fauna". The presence of 15 different diatom species were found in samples taken from four stratigraphic levels of the Mesa La Misión outcrop. Deposition of the Los Indios Member occurred in a marine progradational platform. Benthic diatoms are abundant in the lower part of the sequence and become less abundant at higher stratigraphic levels. Most of the diatom species found indicate temperate waters. However, mixing of water may have been present due to some tropical and cold water specimens that were found. An increase of the deposition depth towards the top of the section was found. This was due to the occurrence of diatoms from different temperature gradients, combined with the reduction of benthic diatoms towards the top of the section. This sea level can be associated with the Middle Miocene Climatic Optimum. It may correspond to the global cycle TM 2.2. In addition, the presence of *Actinocyclus ingens* var. *nodus*, a biostratigraphical taxon, places the deposition of the sediments during the middle Miocene. More specifically, between 15.6 and 13.0 million years (middle Langhian). This age correlates with the radiometric dating of the underlying and overlying basalts dated 16.1 ± 2.1 and 14.3 ± 2.6 , respectively.

Keywords: diatoms, La Misión, Paleogeology, Biostratigraphy, Rosarito Beach.

BOL. SOC. GEOL. MEX. 2016
VOL. 68 NO. 3
P. 537-552

Manuscrito recibido: Septiembre 9, 2015.
Manuscrito corregido recibido: Diciembre 14, 2015.
Manuscrito aceptado: Diciembre 20, 2015.

1. Introducción

El Miembro Los Indios es una secuencia piroclástica rica en fósiles que se depositó en una plataforma basáltica amplia, con condiciones predominantes de poca energía en una secuencia transgresiva que va de transicional a nerítico (Minch *et al.*, 1970; Minch *et al.*, 1984; Ashby, 1989).

Un análisis de los microfósiles silíceos del Miembro Los Indios, indica la presencia y abundancia relativa de los mismos, así como una interpretación paleoambiental y correlaciones estratigráficas con otras formaciones en California, EU (Deméré *et al.*, 1984).

Los basaltos subyacentes al Miembro Los Indios han sido fechados en 16.1 ± 2.1 millones de años (Ma), con el método de fechado radiométrico (Gastil *et al.*, 1975). Mientras que a los sobreyacentes, se les ha asignado una edad de 14.3 ± 2.6 Ma (Hawkins, 1970).

Al sur de la localidad tipo, llamada Mesa Los Indios, se encuentra otro afloramiento del miembro, conocido como Mesa La Misión. En esta unidad se han descrito vertebrados que incluyen peces óseos y cartilaginosos, aves marinas, cetáceos, tortugas, pinnípedos, sirenios y desmostilios, macrofósiles de invertebrados marinos y microfósiles silíceos. Debido a su buena preservación, así como a su diversidad y gran abundancia, a este conjunto fósil se

le ha denominado como Fauna Local La Misión. Diversos autores han usado a los vertebrados del Miembro Los Indios para relacionarlo con la formación Round Mountain Silt (Sharktooth Hill), la Formación Monterey, Topanga, Calvert y Choptank de Estados Unidos (Tabla 1), y con formaciones de otras partes del mundo como la Formación Montpelier en Francia, Formación Gatun en Panamá y Grupo Mizumani en Japón (Minch *et al.*, 1970, 1984; Deméré *et al.*, 1984; Barnes, 1998; Barrios-Rivera, 1985; González-Barba, 1990; Aranda-Manteca, 1990, 1994, 2001; Gascón-Romero y Aranda-Manteca, 1992; Aranda-Manteca *et al.*, 1994; Gascón-Romero *et al.*, 1994; Flores-Trujillo, 2002; Sánchez-Gutiérrez, 2003).

Al igual que en la Mesa Los Indios, en la Mesa La Misión, también se observa la secuencia transgresiva (Aranda-Manteca, 1990, 1994, 2001), y debido a que ya no hay acceso a la localidad tipo del Miembro Los Indios, los estudios sobre esta secuencia se han estado realizando en la Mesa La Misión. Sin embargo, las diatomeas en la Mesa La Misión son pobremente conocidas, por lo que en el presente trabajo, se describen y analizan paleoecológicamente, con el fin de compararlas con las reportadas previamente en la localidad tipo en La Mesa Los Indios por Deméré *et al.* (1984).

Tabla 1. Edades y zonaciones para el Mioceno y comparación de las Formaciones de edades cercanas de la región de México y Estados Unidos.

Edad (m.a.)	Era	Periodo	Época	Estado	Norteamérica			Pacífico	Formaciones																	
					Microfauna Marina	Megafauna Marina	Mamíferos Continentales	Zonas de Diatomeas	Baja California	Baja California Sur	California		Maryland	Virginia												
5	Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Messiniano	Delmontiano	Jacalitos	Hemfiliano	<i>Nitzchia reinholdii</i>	b																	
6				Tortoniano				Mohniano	Margaritano												a/b					
7																						Denticulopsis hustedtii	a/b			
8																								d		
9				Elvetiano		Clarendoniano	<i>Denticulopsis hustedtii-D. Lauata</i>		c																	
10																					Serravaliano		b			
11																									a	
12																										
13				Langiano	Luisiano	Temblor	Barstoviano	<i>Denticulopsis lauata</i>	b																	
14																						a				
15				Reliziano																			Hemingfordiano	<i>Actinocyclus ingens</i> var. <i>Ingens</i>		
16				Burdigaleano	Saucesiano																					
17																										
18																										
19																										
20																										
21																										
22																										
23																										

2. Área de estudio

La Formación Rosarito Beach, del Mioceno medio, aflora principalmente en el área comprendida entre las poblaciones de Tijuana y Ensenada en Baja California, México. La secuencia de rocas la conforman basaltos alternados con tobas y se divide en dos secciones, la norte (Minch, 1967) y la sur (Minch *et al.*, 1970). La sección sur (Mesa Los Indios), se subdivide en el Miembro La Misión principalmente basáltico y el Miembro Los Indios predominantemente sedimentario (Minch *et al.*, 1984).

A la localidad tipo del Miembro Los Indios, en la Mesa del mismo nombre, Ashby (1989) no le asignó un número de localidad, sin embargo, se ubica en el área descrita por Minch *et al.*, (1984) y Deméré *et al.*, (1984) como L-452, sin hacer una denominación formal como localidad tipo. Posteriormente, Ashby (1989) refiriéndose a la misma localidad, la considera localidad tipo y desde entonces ha sido considerada como tal, ubicándola en un afloramiento de cantera abandonada.

El área de estudio se localiza entre los 32°01' y 32°06' de latitud N, y 116°48' y 116°52' de longitud W, sobre el km 65 de la carretera libre Tijuana-Ensenada en el Estado de Baja California, México y se le conoce como La Mesa La Misión. Debido a la presencia de fallas en la zona, las nueve capas distinguibles que conforman al Miembro Los Indios (Aranda-Manteca, 1994), afloran discontinuamente por lo que se construyó una columna estratigráfica compuesta de la secuencia sedimentaria (figuras 1 y 2).

Los sedimentos piroclásticos, son el producto de vulcanismo explosivo tipo riolítico. Los análisis petrológicos muestran que los 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 6 cm de diámetro, 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 biogénico, mezclada con abundantes cristales subhedrales de cuarzo, feldespato y hornblenda (Ledesma y Kasper, 1989).

3. Metodología

De acuerdo con Aranda-Manteca (2001), se tomaron como referencia las capas nombradas previamente por Deméré *et al.*, (1984) en la Mesa Los Indios y su correlación con la Mesa La Misión (Figura 2). Se tomaron muestras de sedimentos finos, en donde la probabilidad de contener microfósiles de diatomeas es más alta. La muestra 1 se tomó de la capa D en la localidad 105, en la localidad 106 se tomó la muestra 2 de la capa C, la muestra 3 de la capa D y la muestra 4 de la capa E. En la localidad 103 se tomó la muestra 5 de la capa D, la 6 y 7 de la capa E, y la 8 y 9 de la capa G. Se muestreó por debajo y por encima de las capas de porcelanita.

Se siguió la metodología de Ruhland *et al.* (1999), para el procesamiento del sedimento. Sin embargo, esta técnica se modificó, ya que normalmente se agrega ácido clorhídrico y peróxido de hidrógeno para eliminar los foraminíferos y materia orgánica respectivamente, pero debido a que Minch *et al.*, (1970) y Deméré *et al.*, (1984), solo reportan radiolarios en una de las localidades y solamente una especie de dinoflagelado, estos pasos no se hicieron. Se procedió a hacer montajes (de las muestras) en portaobjetos de 2.5 x 7.5 cm y cubreobjetos de 2.5 x 2.5 cm utilizando resina óptica.

Los montajes se revisaron realizando recorridos totales en un microscopio marca Olympus BX51 con aumentos de 400 y 800. Se fotografiaron las diferentes especies con una cámara marca Olympus Q Color 5 empotrada al microscopio. La identificación de las especies se realizó utilizando

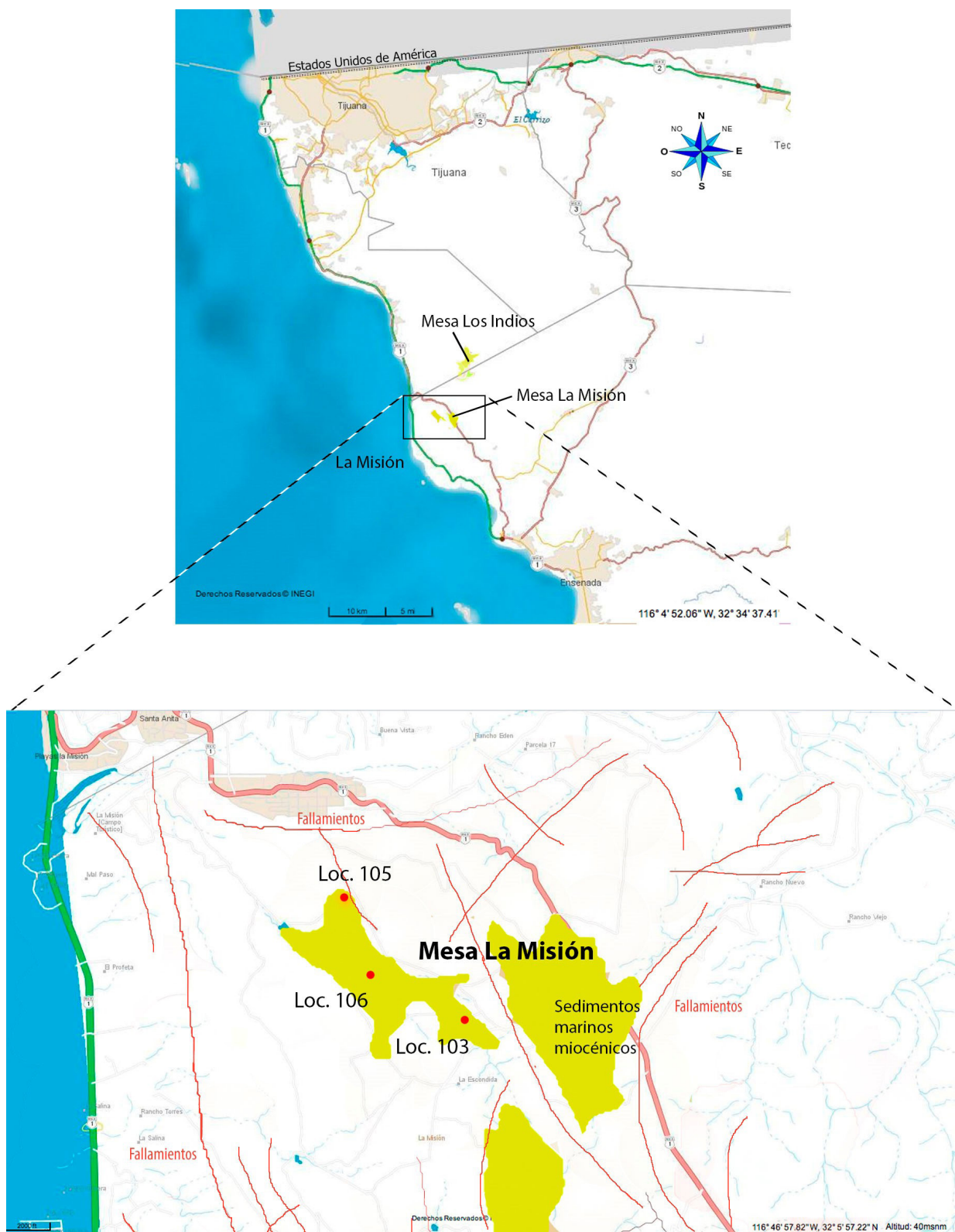


Figura 1 Ubicación del área de estudio en la Mesa La Misión y la sección tipo del Miembro Los Indios, en La Mesa Los Indios, Baja California. Mapas tomados de INEGI.

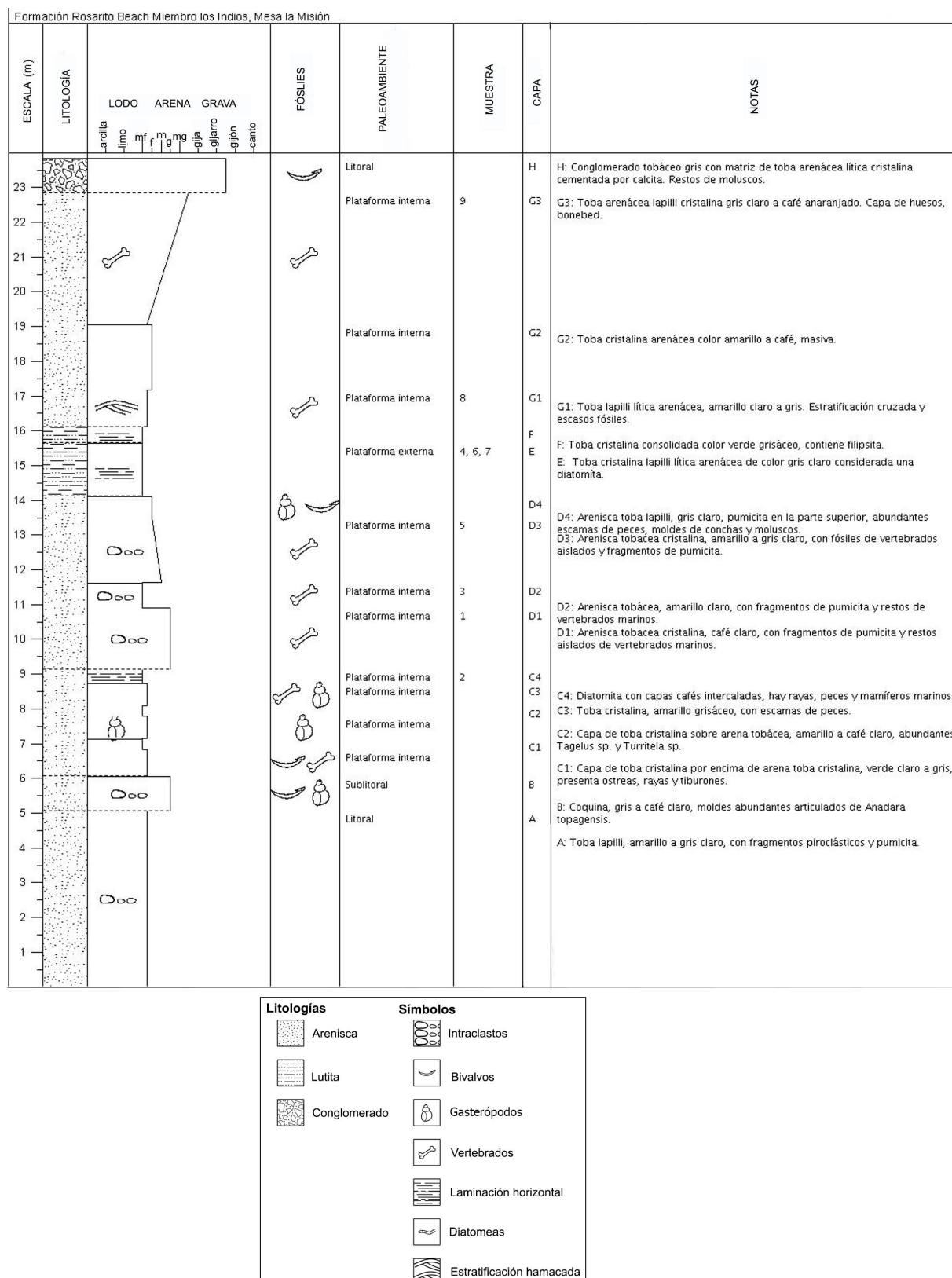


Figura 2 Descripción de las capas del Miembro Los Indios de la formación Rosarito Beach en La Mesa La Misión, Baja California. Modificado de Aranda-Manteca, 2001.

la metodología de Cupp (1943), Wornardt (1967) y Koizumi (1973). Durante los recorridos se seleccionaron 300 especímenes, considerando que es el tamaño mínimo de muestra para tener un estudio estadísticamente significativo (Dryden, 1931; Lipps *et al.*, 1979). En muestras con un número inferior, se montó una segunda lámina para obtener el número mínimo de fósiles observados y cuantificados.

Con los resultados obtenidos de la observación previa, se procedió a analizar su contenido de fósiles para hallar significancia estadística, utilizando el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001). Para estimar la riqueza de la paleocomunidad, las abundancias de sus especies y que tan numéricamente equitativas eran, se utilizaron los índices ecológicos, tales como la diversidad de Shannon (Shannon, 1948), de Simpson y la equitatividad de Pielou (Pielou, 1984). Por último, se realizó también el índice de similitud de Morisita (Morisita, 1959), para cuantificar el solapamiento de las diferentes muestras.

Las formulas empleadas de estos índices, se listan a continuación:

La fórmula del índice de Shannon:

$$J' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

donde:

S : número de especies (la riqueza de especies).

p_i : proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i): $\frac{n_i}{N}$

n_i : número de individuos de la especie i .

N : número de todos los individuos de todas las especies.

La fórmula del índice de Simpson:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

donde:

S : es el número de especies.

N : es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas).

n : es el número de ejemplares por especie

La fórmula del índice de equitatividad:

$$J = \frac{J'}{\log S}$$

donde:

J' : Corresponde a los valores de diversidad obtenidos.

S : Número de especies recolectadas.

La fórmula del Índice de Morisita es:

$$I_M = \frac{2 \sum x_i y_i}{(D_1 + D_2) N_1 N_2}$$

donde:

x_i : número de individuos en la especie i en la comunidad 1.

N_1 : número total de individuos en la comunidad 1.

y_i : número de individuos en la especie i en la comunidad 2.

N_2 : número total de individuos en la comunidad 2.

D_1 : Valor de dominancia de la comunidad 1.

D_2 : Valor de dominancia de la comunidad.

4. Resultados

En Mesa La Misión se identificaron 15 especies de diatomeas, de 13 géneros pertenecientes a 12 familias diferentes (Tabla 2). Cinco de estas formas, no aparecen en el listado de Deméré *et al.*, (1984), una fue reportada en un trabajo subsecuente (Ledesma y Kasper, 1989): *Paralia sulcata*, en la misma área (Figura 3: 11); y las otras, *Amphora* sp., *Azpeitia vetustissima* var. *voluta*, *Pleurosigma* sp., *Thalassiosira eccentrica*, son reportadas por primera vez para esta localidad (Figura 3: 4).

De las 15 especies encontradas, 73 % son pelágicas y 27 % son bentónicas. De las pelágicas, *Actinocyclus ingens* var. *nodus*, *Actinopterychus senarius*, *Azpeitia vetustissima* var. *voluta* y *Pleurosigma* sp. son especies neríticas; *Coscinodiscus marginatus* y *Thalassiosira eccentrica* son especies oceánicas (Cupp, 1943; Koizumi, 1973; Barron, 1975; Baldauf y Barron, 1980; Figura 3).

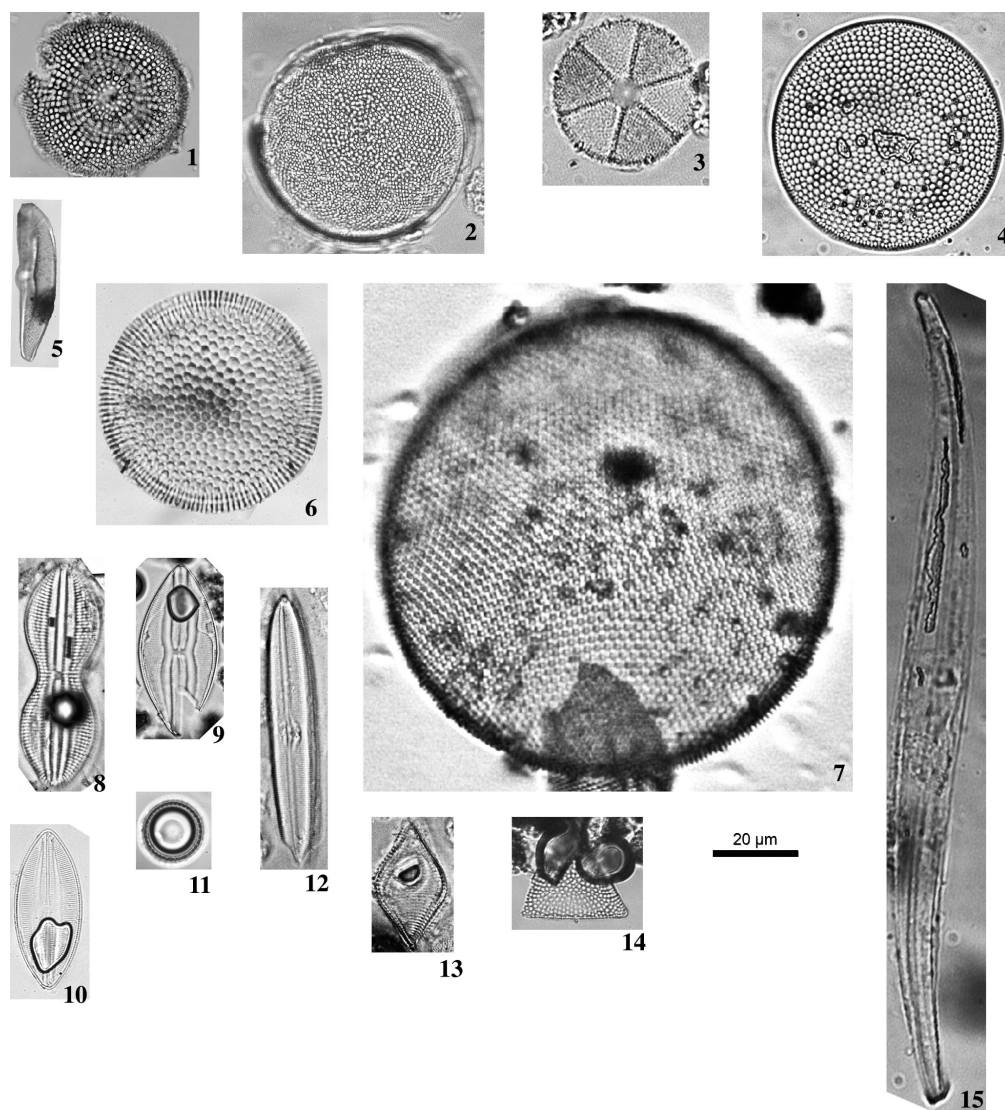


Figura 3 Diatomeas de la Mesa La Misión del Miembro Los Indios de La Formación Rosarito Beach. 1) *Actinocyclus ingens* var. *nodus*, 2) *Actinocyclus octonarius*, 3) *Actinoptychus senairius*, 4) *Azpeitia vetustissima* var. *voluta*, 5) *Amphora* sp., 6) *Cosinodiscus marginatus*, 7) *Thalassiosira eccentrica*, 8) *Diploneis taschenbergeri*, 9) *Lyrella clavata*, 10) *Lyrella lyra*, 11) *Paralia sulcata*, 12) *Pinnularia ruttneri*, 13) *Rhaphoneis* sp., 14) *Pleurosigma* sp., 15) *Triceratium condecorum*.

Para la Mesa Los Indios, Deméré *et al.*, (1984) reportó 20 especies de diatomeas. En la Mesa la Misión, solo se encontraron 15 de ellas, 5 de las cuales no han sido descritas para la Mesa Los Indios, lo que aumenta el número de especies de diatomeas para el Miembro los Indios a 25.

Las especies bentónicas, *Rhaphoneis amphiceros*, *Triceratium condecorum*, *Diploneis taschenbergeri*, *Amphora* sp.

y *P. sulcata* son especies bentónicas y ticipelágicas; *Actinocyclus octonarius* es bentoplanctónica y mesopelágica, y *Lyrella lyra* y *L. clavata* son bentónicas (Cupp, 1943; Koizumi, 1973). La capa D es la que contiene una mayor abundancia de taxa bentónicos (58 %) y el número disminuye en las capas superiores, hasta 24 % en la capa E y solo 2 % en la capa G. La única anomalía por la escasa

recuperación de diatomeas, fue la capa C, en la que solo se obtuvieron 8 individuos, lo que impide usarla en los análisis estadísticos (Tabla 2 y 3).

Las especies más abundantes son *A. ingens* var. *nodus* y *P. sulcata* en la capa C con abundancias del 25 %; en la capa D las mas abundantes son *P. sulcata* y *C. curvatulus* con 39.20 % y 17.42 % respectivamente; en la capa E son *C. curvatulus*, *A. ingens* var. *nodus* y *P. sulcata* con 29.94 %, 25.16 % y 21.03 %; finalmente, en la capa G, las especies que mas abundan son *C. curvatulus*, *A. ingens* var. *nodus* y *C. marginatus* con 38.69 %, 28.64 % y 25.63 % (tabla 2; Figura 3). Estas especies conforman más del 80 % de toda la muestra.

4.1. RESULTADOS ESTADÍSTICOS

Las capas con una mayor riqueza de especies son las capas D y E, con 15 y 14 especies diferentes respectivamente. La capa con menor riqueza fue G con 12 especies. Las abundancias relativas de las diferentes especies varían mucho entre las capas. En la capa D, a pesar de que hay una gran dominancia de *P. sulcata*, también se presentan todas las especies de la muestra. En la capa E la especie más dominante es *C. curvatulus*, y se observa que unas

pocas especies oceánicas dominan y las demás especies disminuyen aún más en número o están completamente ausentes. En la capa G la dominancia es aún mayor, solo 3 especies oceánicas dominan toda la muestra con mas del 90 % (tabla 3). El índice de diversidad de Shannon estima la riqueza de especies de una comunidad con respecto a la distribución de los individuos de cada especie. Este índice se representa normalmente como J' y, se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0.5 y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3. Valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3, son altos. Con base en lo anterior, en la Mesa La Misión, la diversidad de diatomeas es baja en todas las capas, dado que los valores son inferiores a 2. Además, la diversidad disminuye en las capas superiores, siendo la capa D la que tiene la mayor diversidad y la G la que tiene la menor (tabla 3). El índice de dominancia de Simpson expresa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra, sean de la misma especie, y está fuertemente influenciado por la importancia de las especies más abundantes (Simpson, 1960; Peet, 1974; Magurran, 1988). En todas las capas

Tabla 2. Listado de número de individuos y abundancias relativas de las especies en cada una de las capas del Miembro Los Indios de la formación Rosarito Beach en la Mesa La Misión, Baja California. + Especies bentónicas, * Especies pelágicas.

Capa	número de individuos / abundancia relativa (%)							
	C		D		E		G	
<i>Actinocyclus ingens</i> var. <i>nodus</i> *	2	25	21	3.66	195	25.16	114	28.64
<i>Actinocyclus octonarius</i> +	0	0	50	8.71	5	0.65	4	1.01
<i>Actinoptychus senarius</i> +	1	12.5	51	8.89	24	3.1	6	1.51
<i>Amphora</i> sp. +	1	12.5	1	0.17	2	0.26	0	0
<i>Azpeitia vetustissima</i> var. <i>voluta</i> *	1	12.5	100	17.42	232	29.94	154	38.69
<i>Cosinodiscus marginatus</i> *	0	0	9	1.57	114	14.71	102	25.63
<i>Diploneis taschenbergeri</i> +	1	12.5	13	2.26	1	0.13	1	0.25
<i>Navicula clavata</i> +	0	0	3	0.52	1	0.13	0	0
<i>Navicula lyra</i> +	0	0	25	4.36	13	1.68	2	0.5
<i>Paralia sulcata</i> +	2	25	225	39.2	163	21.03	1	0.25
<i>Pinularia ruttneri</i> +	0	0	3	0.52	0	0	0	0
<i>Pleurosigma</i> sp.*	0	0	25	4.36	14	1.81	5	1.26
<i>Rhaphoneis</i> sp. +	0	0	5	0.87	2	0.26	0	0
<i>Thalassiosira eccentrica</i> *	0	0	37	6.45	8	1.03	9	2.26
<i>Triceratium condecorum</i> +	0	0	6	1.05	1	0.13	0	0

Tabla 3. Índices ecológicos de las diatomeas del Miembro Los Indios de la formación Rosarito Beach en la Mesa la Misión, por capas.

Capa	D	E	G
Taxa	15	14	10
Individuos	574	775	398
Índice de Shannon (J')	1.98	1.7	1.38
Índice de Simpson (1-D)	0.79	0.78	0.7
Índice de Dominancia (D)	0.21	0.22	0.3
Índice de Equitatividad (J)	0.73	0.65	0.6

este índice tiene valores superiores a 0.7, lo que indica unas pocas especies dominantes (Tabla 3).

La equitatividad (J) se refiere a que tan cercanos en número son las especies presentes de un ecosistema y varía de 0 a 1. Entre menos variables sean las especies de la comunidad, más alto será el valor de J. Los valores calculados para las capas arrojan valores de 0.60 para la capa D y van en aumento en las capas superiores. Las más cercanas a la base presentan mayor equitatividad (capa D) mientras que las superiores muestran valores más bajos (E y G). En la capa D hay una mayor cantidad de especies y las abundancias de esas especies son más cercanas entre ellas. Caso contrario son las capas E y G, en donde unas pocas especies son dominantes y la mayoría son escasas (Tabla 3).

El Índice de similitud de Morisita (presencia-ausencia y abundancia), se basa en el índice de dominancia de Simpson, y se refiere a la probabilidad de que individuos tomados al azar de dos comunidades pertenezcan a la misma especie (Brower y Zar, 1977). Se compararon las diferentes capas muestreadas y se obtuvo que las capas más similares eran la D y la G, seguidas de E y G. La mayor diferencia (valores más cercanos a 0 del índice de Morisita), se da entre las capas D y G donde los valores están por debajo del 0.05. Los datos muestran que la mayor cantidad de especies bentónicas se encuentran en la capa D y una mayor cantidad de especies oceánicas se encuentran en E y G, lo que explica esta separación (Tabla 4).

Tabla 4. Índice de Similitud de Morisita de las diatomeas del Miembro Los Indios de la formación Rosarito Beach en la Mesa la Misión, Baja California.

	D	E	G
D	1	0.7	0.34
E	0.7	1	0.88
G	0.34	0.88	1

5. Discusión

Se han encontrado nuevas especies de diatomeas en los sedimentos del Miembro Los Indios y es posible que muestreos subsecuentes aporten aún más especies. Es probable que no se hayan encontrado todas las especies de diatomeas conocidas para este Miembro, debido al método de procesamiento de las muestras, ya que el ojo de malla del tamiz no fue suficientemente grande para el paso de las diatomeas de mayor tamaño.

5.1. PALEOAMBIENTE

Las reconstrucciones paleoecológicas basadas en asociaciones de diatomeas, proveen valiosa información sobre los ambientes sedimentarios costeros, debido a la sensibilidad de estas algas a los cambios ambientales (Télez y Schillizzi, 2002). Los sedimentos del Miembro Los Indios, se han interpretado como depósitos en una amplia plataforma basáltica, originada por coladas de lava, producido por el vulcanismo derivado de un proceso de subducción tectónica (Minch *et al.*, 1970, 1984). Los sedimentos y la asociación de diatomeas, indican un ambiente costero de plataforma interna a externa, con una profundidad máxima de 200 m (Minch *et al.*, 1984; Deméré *et al.*, 1984) que fue influenciada por tormentas que retrabajaban y transportaban los sedimentos (Deméré *et al.*, 1984; Aranda-Manteca, 1990, 1994, 2001). Además, las especies de vertebrados en los sedimentos representan un clima subtropical a templado, ya que tienen límites biogeográficos entre 30 y 40° de latitud (Aranda-Manteca, 2001), lo que indica una probable temperatura superficial

del mar entre 18 y 20 °C, de acuerdo con la posición de antiguas isothermas del océano Pacífico (Raup y Stanley, 1978). Esta interpretación coincide con las reconstrucciones paleoclimáticas de la costa de California, que sugieren condiciones tropicales-subtropicales a través de la mayor parte del Mioceno (Domning, 1978).

En el Pacífico Norte, la temperatura del agua superficial fue de 17.5 °C y la profunda de 5 °C de acuerdo con estudios realizados por medio de isótopos de oxígeno (Habicht, 1979). Aranda-Manteca (2001), reconoce diferentes grupos dentro de la asociación de fósiles de tiburones en los sedimentos de la Misión. Este autor reportó tiburones que habitaban a diferentes temperaturas y los relaciona con la mezcla de masas de agua. La dominancia de unas pocas especies de diatomeas y el hecho de que estas especies dominantes sean todas de aguas templadas, hace suponer que esta era la temperatura en esta zona.

La mayoría de las especies de diatomeas identificadas en esta investigación, habitaban en masas de agua templadas, y solo algunas son de aguas tropicales a templadas y son más abundantes en la capa D. La diversidad ligeramente elevada de esta capa puede relacionarse con la incursión de especies tropicales o subtropicales debida a una elevación de la temperatura en esta zona. A pesar de esta incursión de especies de aguas más cálidas, las especies dominantes templadas se mantienen a lo largo de las diferentes capas.

La presencia de especies tropicales a templadas en asociaciones de latitudes medias, se ha interpretado como resultado de la incursión de masas de aguas tropicales a subtropicales durante periodos de calentamiento global (Keller, 1981). En la parte superior de la secuencia, la especie *C. marginatus* está asociada a aguas frías y es abundante en las capas E y G. La aparición de esta especie y la disminución de las especies tropicales, evidencia la disminución de la temperatura del agua (Tabla 5). La especie *A. ingens* var. *nodus* tiene una distribución estratigráfica muy limitada, pues incluye solamente la parte superior de la “Zona *Denticula lauta*” (Barron, 1985, 2003). El intervalo de esta

Tabla 5. Temperaturas de las especies de diatomeas presentes en los sedimentos del Miembro Los Indios de la formación Rosarito Beach en la Mesa la Misión, Baja California. Tomado de Cupp (1943), Wornardt (1967) y Koizumi (1973).

Especie	Temperatura
<i>Actinocyclus ingens</i>	Templado
<i>Actinocyclus octonarius</i>	Templado
<i>Actinoptychus senarius</i>	Templado
<i>Amphora</i> sp.	Templado
<i>Azpeitia vetustissima</i> var. <i>voluta</i>	Templado
<i>Cosinodiscus marginatus</i>	Frío
<i>Diploneis taschenbergeri</i>	Templado
<i>Navicula clavata</i>	Tropical-templado
<i>Navicula lyra</i>	Tropical-templado
<i>Paralia sulcata</i>	Templado
<i>Pinularia ruttneri</i>	Tropical-templado
<i>Pleurosigma</i> sp.	Templado
<i>Rhaphoneis</i> sp.	Templado
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	Tropical-templado
<i>Triceratium condecorum</i>	Tropical-templado

zona corresponde de 15.84 a 14.88 Ma, el cual sería el intervalo más conservador de *A. ingens* var. *nodus*. Considerando la distribución estratigráfica conocida de *A. ingens* var. *nodus* (ca. 15.6 – 13.0 Ma) y las edades radiométricas y bioestratigráficas estimadas por otros autores (Hawkins, 1970; Gastil *et al.*, 1975; Minch *et al.*, 1984; Aranda-Manteca, 1990, 1994, 2001), los sedimentos del Miembro Los Indios coinciden con el Óptimo Climático del Mioceno Medio (OCMM). Este periodo comienza durante el Mioceno medio (17 Ma) y aumenta la temperatura global en 6 °C y es seguido por un enfriamiento alrededor de los 14 Ma (Zachos *et al.*, 2005). El efecto del OCMM puede observarse en el cambio de las especies de diatomeas mencionado anteriormente. Durante este periodo se observa una flora de diatomeas compuesta principalmente por especies de masas de agua cálida, que son remplazadas posteriormente por especies transicionales de aguas tropicales-templadas, y finalmente especies de aguas frías. Un patrón similar se observa en el Pacífico ecuatorial (Barron, 1985); por lo tanto, un recambio a gran escala se da en la composición de las asociaciones de diatomeas. Este periodo corresponde con un gran enfriamiento debido a la formación de hielo de la Antárti-

da, hace aproximadamente 13 Ma (Koizumi *et al.*, 2009). En Baja California Sur aflora la Formación Tortugas, en ésta formación afloran sedimentos que se depositaron durante el Mioceno temprano hasta el Mioceno tardío. La secuencia de 400 metros está dividida en cuatro miembros, de los cuales el miembro 3 es contemporáneo al Miembro Los Indios. A pesar de que los ambientes depositacionales y la composición de especies son diferentes, las correlaciones bioestratigráficas sitúan a ambos en la zona de "*Denticula lauta*". Un aspecto que es importante recalcar es que en ambas formaciones hay evidencias de una disminución del nivel del mar, durante el final del Mioceno medio y que se relaciona con la formación de la capa de hielo de la Antártida (Helenes-Escamilla, 1980).

Este cambio climático generó una variación del nivel medio del mar, que puede inferirse con la variación de la cantidad de diatomeas bentónicas y oceánicas en las diferentes capas de los sedimentos del Miembro Los Indios. En la capa inferior (D) las especies dominantes son bentónicas, y en las superiores (E y G) son oceánicas. El análisis de similitud de Morisita hace la distinción de estos dos grupos en las 3 capas. Aranda-Manteca (2001), también relaciona la disminución del tamaño de grano en los sedimentos, con una elevación del nivel del mar y por la distribución de grupos distintos de vertebrados en las diferentes capas. Ejemplo de esto, es la abundancia de dientes de batoideos (rayas) y tiburones subtropicales costeros y Pinnípedos en las capas D y E, que se relaciona con una zona sublitoral costera y la presencia de peces óseos oceánicos (túnidos) y cetáceos (ballenas barbadas) en la capa G, que se relaciona con una zona de plataforma oceánica.

Según los datos obtenidos, las muestras con mayor abundancia y diversidad están en las capas D y E. Las capas A y B que están en la base, no tienen diatomeas o estas no han sido reportadas, esto se ha interpretado como un ambiente continental y las capas C, D y E muestran la presencia de moluscos sublitorales. La presencia de diatomeas bentónicas en la parte media inferior (C, D y E) de la secuencia y subsecuente disminución en las capas

medias superiores (F y G) sugiere una elevación del nivel del mar hasta la parte media y una regresión subsecuente (capa H; Figura 2) (Ashby, 1989; Aranda-Manteca, 1990, 1994, 2001).

Aranda-Manteca (2001) identifica un proceso progradacional en las capas C, D, E y F y uno retrogradacional en las capas G y H. Evidencia de lo anterior, es una disminución en el tamaño de grano de los sedimentos, de arenas gruesas en la base hasta arenas finas y muy finas en las capas medias superiores. A su vez, relaciona las capas de arenas finas con sedimentos diatomáceos en una cuenca protegida y no muy profunda (Deméré *et al.*, 1984; Aranda-Manteca, 2001). La variación en la clase de sedimento observada en las capas inferiores puede asociarse con condiciones costeras; después, esta variación sedimentaria, estaría asociada con un ambiente marino sublitoral, plataforma somera y finalmente un ambiente marino costero nuevamente (Aranda-Manteca, 1994, 2001). Esto coincide con el aumento y la disminución progresiva en la abundancia de diatomeas bentónicas (300 en la capa D y solo 8 en la G). La superficie de profundización máxima (SPM) puede inferirse en las capas y es posible correlacionarla con la del ciclo global. Este proceso de elevación global aparentemente coincide con el ciclo global TM2.2 (Kennet, 1982) y relacionado con un proceso progradacional de hace 15 Ma.

En su estudio sobre los depósitos del Mioceno de California, al sureste de Caliente Range, Clifton (1981), observa que durante el Mioceno temprano ocurrió un periodo de transgresión. Para el Mioceno medio este autor identificó la presencia de varios episodios transgresivos-regresivos. En los sedimentos de la Mesa La Misión se observa uno de estos eventos de elevación representado por el cambio de la proporción de diatomeas bentónicas y planctónicas. Estos eventos, son observables en la Mesa La Misión, tanto en la geología de los sedimentos del afloramiento, como en el cambio de la composición de la comunidad de diatomeas y de vertebrados. La presencia de estos eventos tanto en California como en Baja California, asociados al máximo climático de Mioceno medio,

nos permite suponer que los cambios se estaban produciendo a una escala global o regional y no localmente.

5.2. BIOESTRATIGRAFÍA Y EDAD

Se completaron una variedad de estudios bioestratigráficos de diatomeas marinas de los últimos 18 Ma del Pacífico Norte, Pacífico ecuatorial y mares del Sur, resultando en una calibración más refinada de eventos (aparición y extinción), con la escala de tiempo paleomagnética (Barron, 2006). Sin embargo, estas zonaciones son solo aplicables a una escala regional (Hilgen *et al.*, 2012). Barron (1975) propuso una zonación para diatomeas para el Pacífico Norte modificada de Koizumi (1973), que permite una mejor resolución bioestratigráfica. Está basada en *datums* que correlacionan diferentes áreas geográficas de los depósitos silíceos de la costa de California y las zonas del Pacífico Norte (Schrader, 1973), además con otros esquemas zonales Pan-Pacíficos (Rowell, 1981). Esta zonación permite correlacionar los sedimentos diatomáceos del Miembro Los Indios, con las edades biocronológicas conocidas para la zona de California.

Los microfósiles silíceos en los sedimentos de la zona se pueden relacionar con la zona de *Corbisema triacantha* del Mioceno medio temprano, definida por Burky (1975a), que a su vez, se correlaciona con la zonación de nanoplankton de Martini (1971), específicamente, con la zona de *Sphenolithus heteromorphus* que tiene una edad absoluta de 14 a 15 Ma (Burky, 1973; 1975b). Estos fósiles permitieron la correlación entre la Formación Rosarito Beach y el estado de moluscos “Temblor” de Addicott (1972), la edad Hemingfordiana de mamíferos terrestres (Deméré *et al.*, 1984) y periodo Langhiano de acuerdo a la escala de tiempo paleomagnética (Gradstein *et al.*, 2012).

La presencia de *Actinocyclus ingens* var. *nodus* indica una edad de Mioceno medio temprano, en la zona de *Denticula lauta*, específicamente en el final de la subzona “a” y hasta el final de la subzona “b” (Koizumi, 1973; Baldauf y Barron, 1980). Y en el caso de la zonación de diatomeas del Pacífico Norte en la zona XXIII y hasta la zona XXI (Bal-

dauf y Barron, 1982). Por tanto, el Miembro Los Indios se sitúa entre los 14 y 15.5 Ma, corroborando la edad propuesta por Deméré *et al.* (1984) y los fechados radiométricos de Gastil *et al.* (1975) y Hawkins (1970). Ledesma y Kasper (1989), mencionan la presencia de *Actinoptychus minutus*, una especie que aparece al final de la subzona “b” de *D. lauta* y, que acortaría el intervalo de los sedimentos a los 14 Ma. Sin embargo, dado que Ledesma y Kasper (1989) no muestran imágenes de las especies que identificaron y que *A. minutus* es una especie muy rara en sus muestras, es muy posible que se confundiera con *A. senarius*, una especie muy parecida y frecuente en el Miembro los Indios. La diferencia más evidente entre estas dos especies es el número de secciones en las que está dividida la valva; en el caso de *A. minutus* la valva está dividida en ocho secciones y en *A. senarius* son seis (Wornardt, 1967; Moreno *et al.*, 1996).

La distancia entre la zona de estudio y la localidad tipo es de aproximadamente 3 km y la estratigrafía de ambos sitios es muy similar. Además de la continuidad de las capas en la localidad tipo, no parece haber una diferencia notable entre los sitios. Paleoeológicamente, ambos parecen representar las mismas condiciones de plataforma con una alta productividad y diversidad. La zona de la Mesa La Misión es un excelente sitio para el estudio de los fósiles del Miembro Los Indios de la Formación Rosarito Beach.

6. Conclusiones

En la Mesa La Misión los sedimentos del Miembro Los Indios presentan una baja diversidad y alta dominancia de unas pocas especies de diatomeas. La cuenca sedimentaria sugiere un aumento progresivo de la profundidad debido a la disminución en la abundancia de especies de diatomeas bentónicas y aumento de las planctónicas de las capas inferiores a las superiores en la columna estratigráfica.

La presencia de las especies *Thalassiosira eccentrica*, *Navicula clavata*, *Navicula lyra* y *Triceratium condecorum*

de aguas tropicales a templadas y *Cosinodiscus marginatus* de aguas frías indican mezcla de masas de aguas en los mismos estratos, favoreciendo la gran diversidad de vertebrados en el Miembro Los Indios.

La presencia de *Actinocyclus ingens* var. *nodus* como fósil índice, ubica a los sedimentos del Miembro Los Indios en la zona de *Denticula lauta*, específicamente en el final de la subzona “a” y hasta el final de la subzona “b” (Koizumi, 1973; Baldauf y Barron, 1982), por lo tanto se encuentra en la zona XXIII y hasta la zona XXI de diatomeas del Pacífico Norte (Baldauf y Barron, 1980). La edad de estas zonas ubica al Miembro Los Indios entre los 14 y 15.5 Ma. Este resultado coincide con las edades radiométricas reportadas por otros autores para el Miembro Los Indios.

7. Agradecimientos

Agradecemos a la Dra. Elizabeth Orellana por su valiosa ayuda y aportes para la identificación de las especies. Al laboratorio de Palinología del CICESE por prestar sus instalaciones para el procesamiento de las muestras. A los Dres. Eduardo Salinas Stefanon y Jorge Vélez Juarbe por sus correcciones acertadas y su disposición. También agradecemos a CONACyT por otorgar la beca de doctorado de la cual se deriva el presente trabajo.

8. Referencias

- Addicott, W.O., 1972, Provincial Middle and Late Tertiary Molluscan Stages, Temblor Range, California., *en* Stinmeyer, E.H. (ed.), Proceedings Pacific Coast Miocene Biostratigraphic Symposium: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Bakersfield, California, 1–26.
- Aranda-Manteca, F.J., 1990, Aspectos paleoceanográficos y paleoecológicos de los fósiles del Mioceno, la Mesa La Misión, Baja California, México: Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, 3(1), 97–116.
- Aranda-Manteca, F.J., 1994, Vertebrados marinos fósiles del Mioceno, Mesa La Misión, Baja California, México: Ensenada, Baja California, México, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Tesis de Maestría, 204 p.
- Aranda-Manteca, F.J., 2001, Análisis paleoecológico y paleoambiental de la asociación de vertebrados marinos fósiles de La Misión, Baja California, México: Ensenada, Baja California, México, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Tesis de Doctorado, 211 p.
- Aranda-Manteca, F.J., Domning, D.P., Barnes, L.G., 1994, A new middle Miocene sirenian of the genus *Metaxytherium* from Baja California and California: Relationships and paleobiogeographic implications, Proceedings of the San Diego Society of Natural History, San Diego, California, 29, 191–204.
- Ashby, J.R. Jr., 1989, Miocene Tectonostratigraphic History of the Rosarito Beach Basin, Northwestern Baja California: Implications for the Early Tectonic development of the Southern California Continental Borderland: U.S.A., University of California, Tesis de Maestría, 149 p.
- Baldauf, J.G., Barron, J.A., 1980, *Actinocyclus ingens* var. *nodus*: a New, Stratigraphically Useful Diatom of the Circum-North Pacific: Menlo Park, California, U.S. Geological Survey, 103–110.
- Baldauf, J.G., Barron, J.A., 1982, Diatom biostratigraphy and paleoecology of the type section of the Luisian Stage, central California: Micropaleontology, 28(1), 59–84.
- Barnes, L.G., 1998, The sequence of fossil marine mammal assemblages in Mexico: México, Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo, Publicación Especial, 1, 1–55.

- Barrios-Rivera, H., 1985, Estudio analítico del registro paleovertebradológico de México: México, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura, 85 p.
- Barron, J.A., 1975, Marine Diatom Stratigraphy of the Upper Miocene-Lower Pliocene Strata of Southern California: *Journal of Paleontology*, 49, 619–632.
- Barron, J.A., 1985, Miocene to Holocene planktic diatoms, *en* Bollii *et al.*, (eds.), *Plankton stratigraphy*, Cambridge Earth Science Series, Cambridge University Press, New York, New York, 763–809.
- Barron, J.A., 2003, Appearance and extinction of planktonic diatoms during the past 18 m.y. in the Pacific and Southern oceans: *Diatom Research*, 18(2), 203–224.
- Barron, J.A., 2006, Diatom biochronology for the Early Miocene of the Equatorial Pacific Stratigraphy: *Stratigraphy*, 2, 281–309.
- Brower, J.E., Zar, J.H., 1977, *Field and Laboratory Methods for General Ecology*: U.S.A., Wm. C. Brown Company Publishers, 194 p.
- Burky, D., 1973, Cocolith and Silicoflagellate Stratigraphy, Deep Sea Drilling Project, Leg 18, Eastern North Pacific, *en* Kulm, L.D., von Huene, R., *et al.*, (eds.), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project: Washington (U.S. Government Printing Office)*, 18, 885–893.
- Burky, D., 1975a, Silicoflagellate and Cocolith Stratigraphy, Deep Sea Drilling Project, Leg 29, *en* Kennet, M.P., Hutz, R.E. (eds.), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project: Washington (U.S. Government Printing Office)*, 29, 845–872.
- Burky, D., 1975b. Cocolith and Silicoflagellate Stratigraphy, Northwestern Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 32, *en* Larson, R.L., Moberly, R., *et al.*, (eds.), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project: Washington (U.S. Government Printing Office)*, 32, 677–701.
- Clifton, H.E., 1981, Progradational Secuences in Miocene Shoreline Deposits, Southern Caliente Range, California: *Journal of Sedimentary Research*, 86, 1459–1510.
- Cupp, E.E., 1943, *Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America*. Scripps Institution of Oceanography. UC San Diego: Scripps Institution of Oceanography, University of California, Berkely, Los Angeles, 1–236.
- Deméré, T.A., Roeder, M.A., Chandler, R.M., Minch, J.A., 1984, Paleontology of the Middle Miocene Los Indios Member of the Rosarito Beach Formation, Northwestern Baja California, Mexico, *en* Minch, J.A., Ashby, J.R. (eds.), *Miocene and Cretaceous Depositional Environments, Northwestern Baja California, Mexico*, Pacific Section A.A.P.G., San Diego, California, 54, 47–56.
- Domning, D.P., 1978, *Sirenian Evolution in the North Pacific Ocean*: University of California Publications in Geological Sciences, Berkeley, University of California Press, 118, 176 p, 18 pl.
- Dryden, A.L., 1931, Accuracy in percentage representation of heavy mineral frequency: *Proceedings of the National Academy of Science*, 17, 233–238.
- Flores-Trujillo, J.G., 2002, *Morfología y Morfometría del Cráneo y del Oído Interno (Hueso Periótico) en Odontocetos Delphinoidea: México*, Universidad Autónoma de Baja California, Tesis de Maestría, 168 p.
- Gascón-Romero, G.A., Aranda-Manteca, FJ., 1992, *Misticetos Miocénicos de La Misión, Baja California, México*: *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 5(1), 45–53.
- Gascón-Romero, G., Aranda-Manteca, FJ., Barnes, L.G., 1994, Nueva evidencia de la evolución de las ballenas barbadas en Baja California: *Revista de Investigación Científica de la Universidad Autónoma de Baja California Sur*, 2, 1–9.

- Gastil, R.G., Phillips, R.P., Allison, E.C., 1975, Reconnaissance Geology of the State of Baja California: Geological Society of America Memories, 140, 1–170.
- González-Barba, G., 1990, Descripción de la Fauna selácea del Mioceno Medio del Miembro Los Indios de la Formación Playa Rosarito, Baja California, México: Ensenada, México, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Tesis de Licenciatura, 89 p.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Hilgen, F.J., 2012, On The Geologic Time Scale: Newsletters on Stratigraphy, 45(2), 171–188.
- Habicht, J.K.A., 1979, Paleoclimate, Paleomagnetism and Continental Drift: AAPG Studies in Geology, 9, 1–27.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001, PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis: Palaeontologia Electronica, 4(1), 4–9.
- Hawkins, J.W., 1970, Petrology and Possible tectonics Significance of the Late Cenozoic Volcanic Rocks, Southern California and Baja California: Geological Society of America Bulletin, 81, 3323–3338.
- Helenes-Escamilla, J., 1980, Stratigraphy, depositional environments of the Miocene Tortugas Formation, Baja California Sur, Mexico: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, XLI(1–2), 47–67.
- Hilgen, F.J., Lourens, L.J., Van Dam, J.A., Beu, A.G., Boyes, A.F., Cooper, R.A., Krijgsman, W., Ogg, J.G., Piller, W.E., Wilson, D.S., 2012, The Neogene Period, *en* The Geologic Time Scale 2012, Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M., (eds.), Elsevier, Amsterdam, 923–978.
- Keller, G., 1981, Miocene Biochronology and Paleooceanography of the North Pacific: Marine Micropaleontology, 6, 535–551.
- Kennet, J.P., 1982, Marine Geology: USA., Prentice-Hall, 813 p.
- Koizumi, I., 1973, Neogene Diatoms From the Western Margin of the Pacific Ocean, *en* Larson, R.L., Moberly, R., *et al.*, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume 32, Washington (U.S. Government Printing Office), 865–889.
- Koizumi, I., Sato, M., Matoba, Y., 2009, Age and significance of Miocene diatoms and diatomaceous sediments from northeast Japan: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 272(1–2), 85–98.
- Ledesma, J., Kasper, J.J., 1989, Interpretación Geológica y Paleooceanográfica de los Miembros La Misión y Los Indios de la Formación rosarito Beach (Mioceno Medio), Baja California, México: Ciencias Marinas, 15(3), 21–44.
- Lipps, J.H., Berger, W.H., Bruzas, M.A., Douglas, R.G., Ross, C.A., 1979, Foraminiferal Ecology and Paleoecology: USA, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 187 p.
- Magurran, A.E., 1988, Ecological Diversity and its Measurement: United Kingdom, Chapman and Hall, 179 p.
- Martini, E., 1971, Standard Teritary and Quaternary Calcareous Nanoplankton Zonation, *en* Farinacci, A. (ed.), Proceedings of the II Planktonic Conference, Roma 1970, Edizioni Technoscienza, 2, 739–777.
- Minch, J.A., 1967, Stratigraphy and Structure of the Tijuana-Rosarito Beach Area, Northwest Baja California, Mexico: Geological Society of America Bulletin, 78, 1155–1178.
- Minch, J.A., Ashby, J.R., Deméré, T.A., Kuper, H.T., 1984, Correlation and depositional Environments of the Middle Miocene Rosarito Beach Formation of Northwestern Baja California, Mexico, *en* Minch, J.A., Ashby, J.R., (eds.), 1984, Miocene and Cretaceous Depositional Environments, Northwestern Baja California, Mexico, Pacific Section A.A.P.G., San Diego, California, 54, 33–46.

- Minch, J.A., Schulte, C.K., Hoffman, G., 1970, A Middle Miocene Age for the Rosarito Beach Formation in Northwestern Baja California, Mexico: Bulletin of the Geological Society of America, 81, 3149–3154.
- Moreno, J.L., Licea, S., Santoyo, H., 1996, Diatomeas del Golfo de California: México, Universidad Autónoma de Baja California Sur, 273 p.
- Morisita, M., 1959, Measuring of the dispersion and analysis of distribution patterns: Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series E. Biology, 2, 215–235.
- Peet, R.K., 1974, The Measurement of Species Diversity: Annual Review of Ecology and Systematics, 5, 285–307.
- Pielou, E.C., 1984, The interpretation of ecological data: a primer on classification and ordination: New York, John Wiley & Sons, 263 p.
- Raup, D.M., Stanley, S.M., 1978, Principios de Paleontología: España, Editorial España, 456 p.
- Rowell, H.C., 1981, Diatom Biostratigraphy of the Monterey Formation, Palos Verdes Hills, California, *en* Garrison, R.E., Douglas, R.G., Pisciotto, K.E., Isaacs, C.M., Ingle, J.C., (eds.), The Monterey Formation and related Siliceous Rocks of California, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1981, Los Angeles, California, 55–70.
- Ruhland, K., Karst, T., Paterson, A., Gregory-Eaves, R., Smol, J.P., Cumming, B.F., 1999, Standard Sediment Sample Preparation Methods for Siliceous Microfossils (Diatoms and Chrysophyte Scales and Cysts): Canada, Pearl: Paleoecological Environmental Assessment and Research Laboratory, Department of Biology Queen's University, 24 p.
- Sánchez-Gutiérrez, S.J., 2003, Sistemática de las Tortugas Marinas Fósiles de la Mesa La Misión, Baja California, México: México, Universidad Autónoma de Baja California, Tesis de Maestría, 204 p.
- Schrader, H.J., 1973, Cenozoic Diatoms From the North East Pacific, Leg 18, *en* Kulm, L.D., von Huene, R., *et al.*, (eds.), Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project: Washington (U.S. Government Printing Office), 18, 673–797.
- Shannon, C.E., 1948, A mathematical theory of communication: Bell System Technical Journal, 27 379–423, 623–656.
- Simpson, G.G., 1960, Notes on the measurement of faunal resemblance: American Journal of Science, 258A, 300–311.
- Téllez-Gutiérrez, B., Schillizzi, R., 2002, Asociaciones de Diatomeas en Paleoambientes Cuaternarios de la Costa Sur de la Provincia de Buenos Aires, Argentina: Pesquisas em Geociências, 29(1), 59–70.
- Wornardt, W.W., 1967, Miocene and Pliocene Marine Diatoms from California: San Francisco, California, USA, California Academy of Sciences, 108 p.
- Zachos, J.C., Röhl, U., Schellenberg, S.A., Sluijs, A., Hodell, D.A., Kelly, D.C., Thomas, E., Nicolo, M.R., Isabella L., Lucas J. McCarren, H., Kroon, D., 2005, Rapid acidification of the ocean during the Paleocene-Eocene thermal maximum: Science, 308(5728), 1611–1615.

Apéndice

Actinocyclus ingens var. *nodus* Baldauf
Actinocyclus octonarius Ehrenberg
Actinoptychus senarius Ehrenberg
Amphora sp. Ehrenberg ex Kützing
Azpeitia vetustissimus var. *voluta* Baldauf y Barron
Cosinodiscus marginatus Ehrenberg
Denticula lauta Bailey
Diploneis taschenbergeri (Schmidt) Hustedt
Navicula clavata Gregory
Navicula lyra Ehrenbrg
Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve
Pinularia ruttneri Hustedt *en* Schmidt
Pleurosigma sp. Smith
Rhaphoneis sp. Ehrenberg
Thalassiosira eccentrica (Ehrenberg) Cleve
Triceratium condecorum Ehrenberg