

UNIVERSIDAD DEL MAR  
CAMPUS PUERTO ÁNGEL



Variación espacial de diatomeas en el Golfo de  
Tehuantepec, campaña oceanográfica TEHUA IV,  
septiembre de 2006

**Tesis**

**Que para obtener el Título Profesional de**

**Licenciada en Oceanología**

**Presenta**

**Carolina Flores Correo**

**Director**

**Dr. Maria Auxilio Esparza Alvarez**

## Resumen

Los objetivos de este trabajo fueron determinar la variabilidad espacial de la comunidad de Diatomeas del Golfo de Tehuantepec del cinco al ocho de septiembre de 2006 y la asociación característica de este grupo con la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y *Clorofila a*, basados en la composición de especies (riqueza, diversidad, dominancia y equitatividad) y la abundancia relativa. La riqueza de la zona para este periodo de muestreo estuvo constituida por 63 taxa distribuidas en 30 géneros: *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia*, *Asteromphalus*, *Actinocyclus*, *Azpeitia* y *Thalassiosira* fueron los más abundantes. Treinta contribuyeron a la matriz del 75% de abundancia relativa. Su orden de contribución a la abundancia relativa total fue: *Azpeitia nodulifera*, *Fragilariopsis doliolus*, *Ditylum brightwellii*, *Coscinodiscus marginatus*, *Actinoptychus senarius* y *Cyclotella litoralis*. El escenario oceanográfico fue: TSM cálidas de 28.9-30 °C, profundización de la termoclina y bajas concentraciones de *Clorofila a* (0.1-0.4 mg m<sup>-3</sup>). Asociado a esto se obtuvo una baja diversidad con respecto al periodo anterior (Almaraz Ruíz 2013 & Nava Fernández 2013) y por ende una alta dominancia. La mayor abundancia fue de *Az. nodulifera*, *D. brightwellii*, *F. doliolus*, *Actinocyclus curvatulus*, *Talassiosira eccentrica* y *Rhizosolenia bergonii*. Se dividió al Golfo de Tehuantepec en tres áreas con base en las concentraciones de *Clorofila a*: 1) NW con alta riqueza y diversidad, representado por: *D. brightwellii*, *Ac. senarius*, *T. eccentrica* y *R. bergonii*; 2) parte media: *Az. nodulifera*, *D. brightwellii* y *F. doliolus* como las especies que más contribuyeron a la comunidad de diatomeas y 3) NE, sin similitud en sus asociaciones, ni entre las asociaciones de las otras áreas, además que presentó el mayor índice de dominancia. En esta zona, *Az. nodulifera* fue la especie con mayor aportación a la dominancia, seguida de: *D. brightwellii*, *F. doliolus* y *A. curvatulus*.

En general, *Az. nodulifera*, *F. doliolus*, *D. brightwellii*, *C. marginatus*, *Ac. senarius*, *A. curvatulus*, *T. eccentrica* y *R. bergonii* fueron las especies de diatomeas asociadas a las condiciones oceanográficas prevalecientes: aguas cálidas, bajas concentraciones de *Clorofila a* y una columna estratificada.

Palabras clave: Diatomeas, Temperatura Superficial del Mar (TSM), *Clorofila a* y Golfo de Tehuantepec.

## Dedicatoria

*A mi familia que me ha apoyado incondicionalmente en todo, muchas gracias, ¡esto es suyo!*

*Samuel y Elena, mis pilares, gracias por todas las enseñanzas, su educación me ha traído hasta aquí.*

*Samuel, Mélany y María José, mis hermanos, gracias por estar ahí, uno para cuidarme, y las otras para ser mis ganas de no dejar todo de lado.*

*Y finalmente al maestro de vida, gracias por salvarme de tantos eventos, ponerme a la gente indicada en el camino y hacerme quien soy; ¡sigo aprendiendo!.*

## Agradecimientos

Esta tesis forma parte de la campaña oceanográfica TEHUA IV, a bordo del buque oceanográfico El PUMA de la UNAM de septiembre de 2006.

Agradezco al ICML por las facilidades y el apoyo recibido durante las estancias profesionales, lo cual desencadenó en este trabajo. A la UMAR, por mi formación profesional, a cada uno de los profesores que me forjaron. Gracias por su paciencia.

Agradezco la dirección de la tesis a la Doctora Ma. Auxilio Esparza Álvarez, por su apoyo, orientación y dirección prestados durante su elaboración, además de su apoyo incondicional en todo, la amistad, las tardes de revisiones donde aprendí grandes cosas. ¡Muchas gracias Auxilio!

Al Doctor David U. Hernández Becerril, un agradecimiento especial por permitirme el uso de las muestras, brindarme las instalaciones del laboratorio de diversidad y ecología del fitoplancton marino y los conocimientos durante mi estancia, más aun por permitirme ser parte de este proyecto.

Al M. en C Francisco Javier Ulises Becerril Bobadilla, por su interés, revisiones, por sus sugerencias, igualmente por soportar mi amistad con Karen y las aventuras que eso implicaba.

A la Dra. María Luisa Leal Acosta, por su interés, revisiones y amabilidad.

A la Dra. Cecilia Chapa Balcorta por su interés, apoyo brindado en la obtención y procesado de parámetros oceanográficos, gracias.

A mis amigos, Karen, Pablin, Danis, por obedecerme jajaja... Me gustó mucho ser parte de ese grupo tan genial, con cada uno viví cosas únicas, los quiero mucho. Apartado especial para Karen (también al Topo pues xD) y Manyi, pedacitos especiales en mi corazón. Edaliz, por todas las historias de terror y no terror, te quiero. Gustavo, me enseñaste mucho, te veo en otra vida, mil gracias. A Kelly por permitirme desarrollarme en otro ámbito totalmente distinto a lo que estaba cómoda y abrir mi mente a más posibilidades. Alex, fuiste el que me echo el empujón de salida en este proyecto, siempre te estaré agradecida por las cosas que me enseñaste, sobre todo la música y la comida, ¡sos un genio!. Carlos, por el apoyo con MATLAB mil gracias, más gente como tú y la vida sería más fácil.

Agradecimiento especial a Jesús A. llegaste muy repentino pero muchas gracias por las tardes en el gym y estar aquí y ahora.

Y los que me falten mencionar, no se sientan a todos los quiero, ¡hay Caro para todos!.

## Índice de contenido

<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>7</b>
<b>1.0 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>2.0 ANTECEDENTES</b> .....	<b>11</b>
2.1 Florística en el Golfo de Tehuantepec.....	11
2.3 Variables dinámicas y biológicas.....	13
<b>3.0 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>4.0 HIPÓTESIS</b> .....	<b>15</b>
<b>5.0 OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>16</b>
5.1 Objetivos particulares.....	16
<b>6.0 ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>16</b>
6.1 Oceanografía del Golfo de Tehuantepec .....	17
<b>7.0 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
7.1 Obtención de muestras .....	19
7.2 Pre-tratamiento de muestras .....	21
7.3 Procesado de muestras.....	21
7.3.1 Eliminación de carbonatos .....	21
7.3.2 Eliminación de materia orgánica .....	21
7.4 Montaje de muestras.....	22
7.5 Cuantificación de muestras e identificación taxonómica .....	22
7.6 Procesamiento y unificación de datos .....	23
7.6.1 Conteos de valvas de diatomeas .....	23
7.6.2 Obtención de la matriz del 75% Abundancia Relativa (75% AR) .....	24
7.6.3 Índices ecológicos.....	24
7.6.4 Índice de similitud de Sorensen.....	26
7.6.5 Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Clorofila a.....	26
<b>8.0 RESULTADOS</b> .....	<b>27</b>
8.1 Estructura florística y Matriz de abundancia relativa al 75% .....	27
8.2 Estructura comunitaria: Índices ecológicos .....	27
8.3 Índice de similitud de Sorensen .....	30
8.4 Temperatura Superficial del Mar (TSM).....	32

8.5 Clorofila a .....	32
<b>9.0 DISCUSIONES .....</b>	<b>36</b>
9.1 Estructura florística a partir de la AR.....	36
9.2 Estructura comunitaria: Índices ecológicos .....	39
9.3 TSM, Clorofila a y la comunidad de diatomeas .....	43
<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>11. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>48</b>
<b>12. ANEXOS .....</b>	<b>56</b>

### Índice de Figuras.

Fig. 1 Sub-órdenes de clase Bacillariophyceae (Crosta & Koc 2007). .....	9
Fig. 2 Diagrama esquemático de la reproducción por mitosis (asexual) y meiosis (sexual). Tomado de Belén Bosco (2011). .....	10
Fig. 3 Ubicación del Golfo de Tehuantepec y sus divisiones por regiones. Tomado de Lluch et al. (1997). .....	17
Fig. 4 Mapa del Golfo de Tehuantepec y ubicación de las estaciones de muestreo. ....	19
Fig. 5 Criterio de conteo de valvas de diatomeas (Tomado de Crosta & Koc 2007). .....	23
Fig. 6 Abundancia Relativa de las cuatro especies de diatomeas que más contribuyen a la comunidad, periodo de muestreo del 5-8 de septiembre de 2006. ....	28
Fig. 7 Índice de diversidad de Shannon- Wiener (H') y riqueza de Shannon- Wiener (Hmax'). .....	29
Fig. 8 Índice de diversidad de Simpson ( $\lambda$ ) y dominancia de Simpson ( $\lambda-1$ ) con su respectiva línea media.....	29
Fig. 9 Índice de Equidad de Pielou (J') .....	30
Fig. 10 Dendrograma de Similitud del Índice de Sorensen: grupo 1 (G1), grupo 2 (G2) y grupo 3 (G3). .....	31
Fig. 11 TSM de 05 septiembre de 2006. <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/</a> .....	33
Fig. 12 TSM de 06 septiembre de 2006. <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/</a> .....	33
Fig. 13 TSM de 07 septiembre de 2006. <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/</a> .....	34
Fig. 14 Concentración de Clorofila a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) del día 6 de septiembre de 2006. <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/</a> .....	34
Fig. 15 Concentración de Clorofila a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) del día 7 de septiembre de 2006. <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/</a> .....	35
Fig. 16 Distribución espacial de <i>Coscinudiscus radiatus</i> .....	60
Fig. 17 Distribución espacial de <i>R. crassispina</i> , <i>R. decipens</i> y <i>R. fallax</i> .....	60
Fig. 18 Distribución espacial de <i>Ac. curvatulus</i> y <i>Ac. octonarius</i> .....	61
Fig. 19 Distribución espacial de <i>Az. africana</i> , <i>Az. neocranulata</i> y <i>Az. nodulifera</i> .....	61
Fig. 20 Distribución espacial de <i>T. eccentrica</i> y <i>T. aguste-lineata</i> .....	62
Fig. 21 Distribución espacial de <i>Ditylum brighwellii</i> .....	62
Fig. 22 Distribución espacial de <i>Fragilariopsis doliolus</i> .....	63

## Índice de Tablas

Tabla I. Ampliación para niveles tróficos propuesta por Contreras Espinoza et al. (1994). .....	8
Tabla II. Variables dinámicas y biológicas para el Golfo de Tehuantepec. ....	13
Tabla III. Estaciones georeferenciadas de arrastres verticales para el GT, colectadas por Sara Moreno. ....	20
Tabla IV. Valores calculados de los índices ecológicos, en color rojo indica los valores máximos y los verdes los mínimos. ....	28
Tabla V. Valores del Índice de Similitud de Sorensen (donde: 0=no hay similitud; 100=la mayor similitud posible. Se marcaron en rojo las estaciones con similitud mayor al 55%.....	31

## Índice de Anexos

Anexo I. Listado de especies presentes en el Golfo de Tehuantepec, campaña oceanográfica TEHUA IV, septiembre 2006, arrastre vertical, profundidad máxima de arrastre: 100m. ....	56
Anexo II. Tabla de abundancias relativas al 75% .....	59
Anexo III. Distribución geo-espacial de la distribución de especies en el GT. ....	60

## 1.0 Introducción

El fitoplancton marino está compuesto de organismos fotosintetizadores, algales, protistas y microscópicos: Cyanobacteria, Prasinophyceae, Euglenophyta, Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Eustigmatophyceae, Parmophyceae, Raphidophyceae, Cryptophyta, Haptophyta, Dinoflagellata, Bacillariophyta, entre otros; los cuales se encuentran en el inicio de la trama trófica y son considerados productores primarios (Tomas 1997, Tapia García *et al.* 2007, Harris 1986, Round *et al.* 1990, Hernández Becerril 2014). Los pigmentos fotosintéticos que ayudan a fitoplancton a aprovechar la energía lumínica son la *Clorofila a, b* y *c*. En el océano se consideran las *Clorofilas a* y *c* para análisis de fitoplancton debido a que estos organismos marinos poseen un sistema de pigmentos fotosintéticos que les permiten hacer uso de energía lumínica para sus procesos metabólicos. La *Clorofila a* es el pigmento fotosintético principal dentro de todos los grupos del fitoplancton marino. Por tanto, se utiliza ya que ésta variable permite numéricamente la productividad del océano. Existen cuatro grandes categorías del proceso de eutrofización, sin embargo Contreras Espinoza *et al.* (1994) realizó una expansión de intervalos con el fin de hacer más amplios los estados tróficos de los cuerpos de agua Tabla I (Strickland & Parsons 1972, Margalef 1983 y Riley & Chester 1989).

Tabla I. Ampliación para niveles tróficos propuesta por Contreras Espinoza *et al.* (1994).

Ampliación propuesta para los niveles tróficos				
Categorías	Intervalo en la concentración de <i>clorofila a</i>		Índice trófico	
Ultraoligotrófico	0.000	0.122	0	9
$\alpha$ Oligotrófico	0.123	0.340	10	19
$\beta$ Oligotrófico	0.350	0.940	20	29
$\gamma$ Oligotrófico	0.950	2.600	30	39
$\alpha$ Mesotrófico	2.700	7.200	40	49
$\beta$ Mesotófico	7.300	20.000	50	59
$\alpha$ Eutrófico	21.000	55.000	60	69
$\beta$ Eutrófico	56.000	155.000	70	79
$\gamma$ Eutrófico	156.000	425.000	80	89
Hipereutrófico		> 426.000		> 90



Las diatomeas (Phylum: Bacillariophyta) son el grupo más abundante, en la capa superficial de la columna de agua, después de las cianobacterias, por consecuencia ambos son fundamentales en el ciclo del carbono, silicio, fósforo y otros nutrientes (Patrick, 1948; Mann & Lazier 2006 y Crosta & Koc 2007). Se estima que aproximadamente el 25% de la fijación del carbono orgánico del planeta se deba a las cianobacterias y diatomeas (Harris 1986, Colín García *et al.* 2013). Son el grupo más diverso dentro del fitoplancton a nivel mundial, contribuyen entre el 20 al 25% de la producción primaria neta (Werner 1997). Las diatomeas son microalgas unicelulares, eucariotas, su característica primordial es que las células tienen una pared celular llamada frústula hecha de sílice, construida de dos partes no simétricas: hipoteca y epiteca (valva, epivalva/hipovalva). La Clase se divide en centrales y pennadas, estas últimas se subdividen en dos grupos: con rafe y sin rafe (Fig. 1) (Round *et al.* 1990, Tomas 1997 y Crosta & Koc 2007).

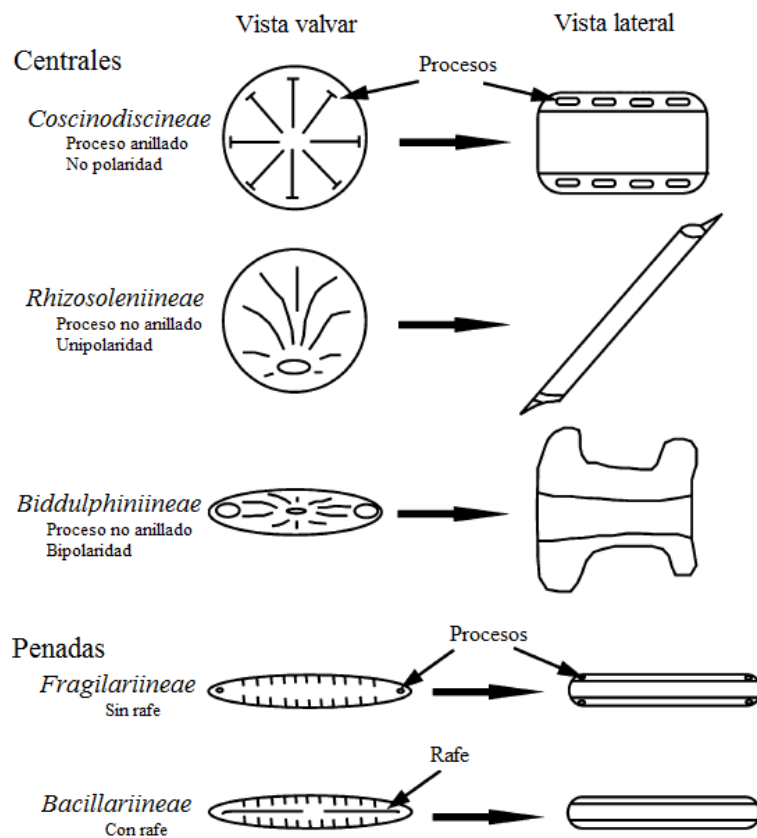


Fig. 1 Sub-órdenes de clase Bacillariophyceae (Crosta & Koc 2007).

En cuanto a su reproducción, esta puede ser asexual y sexual. La primera es la forma más común que se realiza por división binaria, donde el ADN se replica y quedan dos mitades equivalentes, este proceso se repite hasta que las células reducen su tamaño y alcanzan el mínimo vital. Posteriormente, empiezan a reproducirse de manera sexual, donde las células diploides sufren meiosis (Fig. 2). En ausencia de nutrientes, se genera la formación de auxosporas y se mantienen en estado latente esperando altas concentraciones de nutrientes (Tomas 1997, Armstrong & Brassier 2005, Colín García *et al.* 2013 y Medlin 2016).

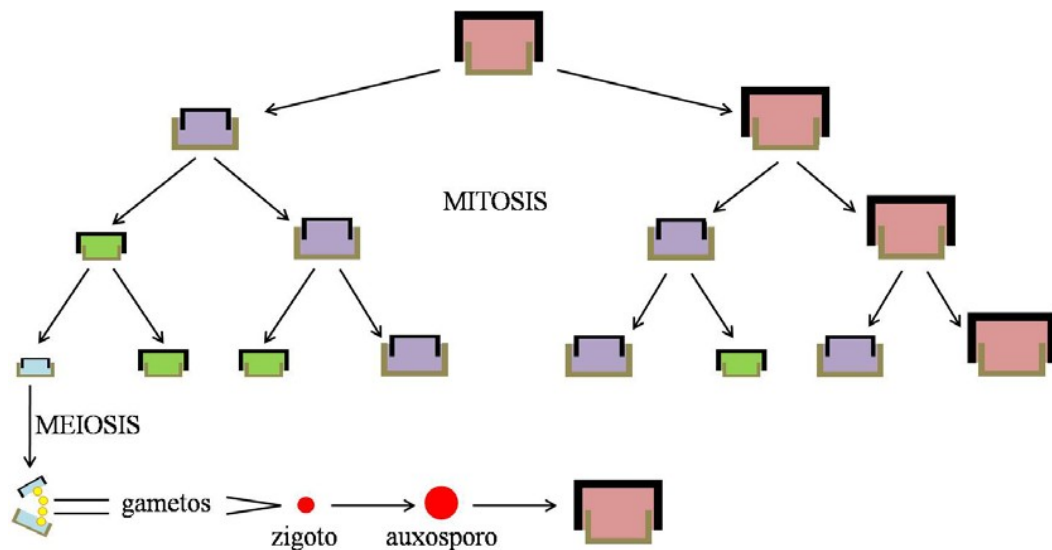


Fig. 2 Diagrama esquemático de la reproducción por mitosis (asexual) y meiosis (sexual). Tomado de Belén Bosco (2011).

Las diatomeas marinas se dividen principalmente en bentónicas y planctónicas. Se les puede encontrar solitarias o en colonias formando filamentos, en asociación con otros organismos (por ejemplo: epizoicas en ballenas y crustáceos, endozoicas en foraminíferos, endofíticas y epifíticas en pastos marinos), ticopelágicas, epipelítica, epipsámicas, además son cosmopolitas. En cuanto a su distribución, es restringida de forma horizontal y vertical por las variaciones en las concentraciones de nutrientes en las masas de agua, así como la zona fótica respectivamente (Round *et al.* 1990, Tomas 1997, Lara Lara 2008).

El grupo de las diatomeas en el océano se ve fuertemente influenciado por procesos biogeoquímicos y físicos (mezcla, surgencias, estratificación de la columna de agua). Su respuesta es inmediata, tanto en abundancia (florecimientos de algunas especies),

diversidad, distribución, presencia de solo algunas especies en bajas abundancias o la ausencia total del grupo (Vázquez Bedoya *et al.* 2008). Razón por la cual también son usadas como indicadoras paleoambientales (Armstrong & Brasier 2005).

Conocer la dinámica de fluctuación de las diatomeas durante los diferentes escenarios oceanográficos es relevante porque permite establecer asociaciones de diatomeas específicas para cada uno de ellos (Vázquez Bedoya *et al.* 2008). En este trabajo se reporta el análisis de la comunidad de diatomeas para el Golfo de Tehuantepec, para inicios (5-8) de septiembre de 2006, finales de verano en una zona tropical y por ende condiciones cálidas y oligotróficas. La asociación que se identificará podrá ser utilizada como indicador de las condiciones oceanográficas específicas del intervalo de muestreo.

## 2.0 Antecedentes

### 2.1 Florística en el Golfo de Tehuantepec

La florística sobre diatomeas del Golfo de Tehuantepec, en la columna de agua, se tiene registrada con estudios puntuales, en la zona costera. Aké Castillo *et al.* (1999), en un periodo menor a un año, realizó 37 muestreos de plancton, de los cuales obtuvo las especies de *Thalassiosira* que caracterizan la zona como subtropical. Una serie de reportes ante la CONABIO presentan estudios de fitoplancton, sobre muestreos del Pacífico Mexicano (PM) que incluye el Golfo de Tehuantepec desde 1986-2009, con excepción del intervalo 2000-2003 (Meave del Castillo 2002, 2009; Hernández Becerril & Salazar Paredes 2012). Los reportes contienen listados de especies de diatomeas, donde 21 taxas son exclusivas del Golfo de Tehuantepec (Meave del Castillo 2009). Dentro del informe de Hernández Becerril & Salazar Paredes (2012) correspondiente al muestreo de febrero de 2009; registran a los géneros *Asteromphalus*, *Chaetoceros* y *Coscinodiscus* como los más diversos.

Por otro lado, Hernández Becerril (2000), describió el género *Coscinodiscus* mediante valores taxonómicos respecto a sus características morfológicas de muestras procedentes de arrastres verticales (30 m de profundidad), con red de apertura de malla de 54  $\mu\text{m}$ , cubriendo un periodo de cuatro años (1982-1986) y muestras aisladas, correspondientes a

costas occidentales de Baja California, Golfo de California y Golfo de Tehuantepec. Encontró que *Coscinodiscus radiatus* está ampliamente distribuida, mientras que *Coscinodiscus granii* solo fue reportada para el Golfo de California y Golfo de Tehuantepec.

De un estudio morfológico y taxonómico del género *Pseudonitzschia* (campana oceanográfica TEHUA IV 2006), exclusivo para muestras del Golfo de Tehuantepec, Moreno Gutiérrez (2008) obtuvo 10 especies para el género, de las cuales dos de ellas fueron nuevos registros: *Pseudonitzschia dolorosa* y *Pseudonitzschia heimii*.

Por otro lado, Herrera Hernández (2009) realizó un estudio taxonómico de diatomeas planctónicas. Utilizó las muestras obtenidas en 2007 durante la campana oceanográfica TEHUA V, a bordo del buque oceanográfico EL PUMA. Exclusivamente para el Golfo de Tehuantepec reportó las familias *Rhizosoleiaceae* y *Probosciceae*, las especies que describió fueron: *Guinardia blavyana*, *Neocalyptrella robusta*, *Proboscia alata*, *Rhizosolenia bergonii*, *R. clevei*, *R. crassispina*, *R. hialina* y *R. imbricata*. La diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) dentro de esas familias fue de 2-2.5 bits.

En sedimentos, Almaraz Ruíz (2013) describió la variabilidad temporal de las diatomeas presentes en muestras de una trampa de sedimentos (ancladas al Noroeste de la región central del Golfo de Tehuantepec, en las coordenadas 15° 38. 826' latitud Norte y 95° 16. 905' longitud Oeste a una distancia frente a la costa de 36 millas náuticas) para el intervalo febrero a julio de 2006. Se reportaron 239 especies, 79 de ellas contribuyeron al 75% de la abundancia relativa en todo el muestreo. Tres asociaciones de diatomeas fueron relacionadas a diferentes condiciones oceanográficas. Durante condiciones de surgencias (condiciones frías) las especies más abundantes fueron: *Corethron hystrix/pennatum* y *Skeletonema costatum/tropicum*; en condiciones templadas (eventos tehuanos) fué *Lioloma elongatum/Thalassiotrix sp.* y en condiciones cálidas (verano o no surgencia) reportó la presencia de *Pleurosigma directum* y *Actinocyclus octonarius*.

Almaraz Ruiz (2017) realizó otro estudio en sedimentos laminados (del fondo, cercano al mismo lugar de la trampa) y determinó la variación de la asociación de diatomeas para el periodo de 1925 a 2013, enfocándose en los intervalos climáticos marinos inferidos para surgencias y su respuesta al calentamiento global. Para ello, por la afinidad ecológica de

diferentes taxa de diatomeas a condiciones oceanográficas específicas, estableció tres grupos en orden de importancia: 1) Surgencias (proxis: especies de diatomeas afines a masas de agua fría): *Thalassionema nitzschioides*, esporas de *Chaetoceros*, *Thalassionema nitzschioides* var. *parva* y *Lioloma pacificum* 2) Templadas y mesotróficas: *Fragilariopsis doliolus*, *Thalassionema bacillare* y *Thalassiosira oestrupii* 3) Cálidas y oligotróficas: *Neodelphineis pelagica*, *Cyclotella litoralis*, *Actinocyclus ellipticus*, *Thalassiosira decipiens* y *Thalassionema pseudonitzschioides*. La alternancia y variabilidad de los grupos de diatomeas que representan los diferentes escenarios de “las condiciones oceanográficas mostraron que existieron cambios en la productividad primaria asociados especialmente a la tendencia de calentamiento global del último siglo, y secundariamente a la Oscilación Decadal del Pacífico”.

### 2.3 Variables dinámicas y biológicas

De la literatura, las variables oceanográficas más importantes del Golfo de Tehuantepec que podrán ser utilizadas para comparación en nuestro caso de estudio son las dinámicas: velocidad del viento, precipitación (como indicador de nubosidad), Temperatura Superficial del Mar (TSM) y biológica: concentración de *Clorofila a*. La Tabla II muestra estas variables de estudios previos.

Tabla II. Variables dinámicas y biológicas para el Golfo de Tehuantepec.

<b>Autores</b> <b>Variables</b>	<b>Nava Fernández (2013)</b>		<b>Almaraz Ruiz (2013)</b>		<b>Chapa Balcorta (2016)</b>
Velocidad del viento	mayo-septiembre 4.1 ms <sup>-1</sup>		febrero- 2da semana de marzo > 8 ms <sup>-1</sup> 8-14 abril >7.8 ms <sup>-1</sup> 6-12 mayo 5.7 ms <sup>-1</sup>		post tehuano junio 2010 y octubre-noviembre 2013 marzo-abril 10 ms <sup>-1</sup> marzo 19.8 ms <sup>-1</sup>
Esfuerzo del viento	0.004 Nm <sup>-2</sup>		-----		Marzo-abril 2013 0.2 Nm <sup>-2</sup>
Precipitación semanal	septiembre 2006 57.7 mm		-----		
TSM	con surgencia octubre <sub>1</sub> -abril <sub>3</sub> 26°C	sin surgencia abril <sub>4</sub> -octubre <sub>1</sub> 30 °C	24.1 y 31 °C		Media climatológica mensual 25-30 °C
<i>Clorofila a</i>	enero <sub>1</sub> -abril <sub>3</sub> 2 mgm <sup>-3</sup>	abril <sub>4</sub> -octubre <sub>3</sub> 0.4 mgm <sup>-3</sup>	máximo 18-24 febrero 3.85 mgm <sup>-3</sup>	mínimo 27 mayo- 2 junio 0.185 mgm <sup>-3</sup>	

En cuanto a las variables dinámicas tenemos a Nava Fernández (2013) y Chapa Balcorta *et al.* (2015) que reportan diferentes escenarios para el Golfo de Tehuantepec. Por un lado, Nava Fernández (2013) para el periodo 2006-2009, reporta cambios estacionales e interanuales. Para el primero menciona surgencias, tehuanos y no tehuanos y para el segundo eventos La Niña y El Niño. Por otro lado, Chapa Balcorta (2016) realizó un estudio de la dinámica del carbono inorgánico disuelto (junio 2010-abril 2013 y octubre-noviembre 2013) donde reportó datos satelitales de TSM, viento, anomalía del nivel del mar. En abril (post-tehuano) obtuvo la presencia de cuatro estructuras distintas: una región de surgencia costera (descrita por primera vez), una zona altamente mezclada (previa a tehuanos), un remolino ciclónico y dos anticiclónicos, además de una corriente fluyendo hacia el polo.

Almaraz Ruíz (2013) para el intervalo de febrero-julio 2006 establece periodos de surgencias y no surgencias estacionales.

### 3.0 Justificación

Las diatomeas son las primeras en florecer después de un evento de surgencia, se les puede encontrar todo el año en la columna de agua y responden rápidamente a la dinámica oceanográfica (Margalef 2005).

Los estudios sobre las diatomeas del Golfo de Tehuantepec son pocos, costeros y puntuales, los cuales se han enfocado a taxonomía y caracterización (Meave del Castillo 2002, 2009, Hernández Becerril 2000, Hernández Becerril & Salazar Paredes 2012, Woolrich Arrijoja 2016). Este trabajo incluye un análisis más amplio en cuanto a distribución de la comunidad de diatomeas, basado en el muestreo de estaciones costeras y oceánicas a finales de verano de 2006. Esto permite establecer el contraste de la distribución del grupo entre la zona oceánica y nerítica. Además que las muestras integran la producción de la columna de agua, por ser de arrastre vertical, es de esperar que se obtenga la asociación de diatomeas característica del Golfo de Tehuantepec para condiciones específicas del periodo de muestreo, la cual podría ser utilizada como proxi

(asociación de diatomeas característica de condiciones tropicales, neríticas, cálidas, y oligotróficas). Esto será un precedente ya que no se tiene registro de una evaluación similar para la zona de estudio. Además, este trabajo a diferencia de los mencionados anteriormente, incluye índices ecológicos para referirse a los valores de diversidad, riqueza, equitatividad y dominancia, los cuales nos permiten hablar de forma cuantitativa respectivamente y poder hacer comparaciones con otros ambientes marinos.

#### 4.0 Hipótesis

Si la comunidad de diatomeas responde en primer orden (en referencia a la trama trófica) a la oceanografía del Golfo de Tehuantepec, se espera caracterizar la asociación o grupos de especies que correspondan a condiciones oceanográficas del periodo de muestreo.

La abundancia, riqueza, diversidad, dominancia y equitatividad de las diatomeas están directamente relacionadas con la temperatura superficial del mar y la estratificación de las masas de agua. El muestreo se realizó durante la primera semana de septiembre (verano) de 2006 en el Golfo de Tehuantepec; por lo cual, se espera encontrar poca diversidad de las especies de diatomeas y baja abundancia, así como una alta dominancia y baja riqueza de la comunidad en general y asociado a bajas concentraciones de *Clorofila a*.

## 5.0 Objetivo general

- Estimar la variabilidad espacial de la comunidad de Diatomeas del Golfo de Tehuantepec del 5 al 8 de septiembre de 2006 y la asociación característica de este grupo con la TSM y *Clorofila a*.

## 5.1 Objetivos particulares

- Identificar las especies que componen la comunidad de Diatomeas en el Golfo de Tehuantepec del 5 al 8 de septiembre de 2006.
- Extraer la riqueza, diversidad, dominancia y equitatividad a partir de abundancias relativas.
- Estudiar las asociaciones de diatomeas características para la temporada analizada.
- Establecer posibles relaciones entre la distribución espacial de las abundancias relativas de diatomeas con la temperatura superficial del mar (TSM) y la concentración *Clorofila a*.

## 6.0 Área de estudio

El Golfo de Tehuantepec (GT) se considera como una de las tres zonas centroamericanas del Pacífico Tropical Oriental (PTO) con niveles altos de productividad primaria (Ortega-García *et al.* 2000 y Lara Lara *et al.* 2008), se encuentra entre los estados de Oaxaca y Chiapas, ocupando un área de 125 000 km<sup>2</sup> aproximadamente según Lara Lara *et al.* (2008). El GT pertenece a la Región Central del Pacífico Tropical Oriental (Fig. 3) (Lluch *et al.* 1997, Moreno Ruiz *et al.* 2008).



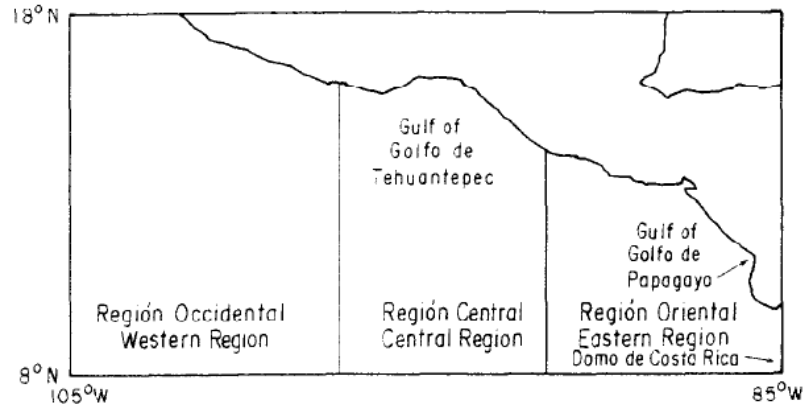


Fig. 3 Ubicación del Golfo de Tehuantepec y sus divisiones por regiones. Tomado de Lluch *et al.* (1997).

### 6.1 Oceanografía del Golfo de Tehuantepec

La oceanografía física del GT ha sido sumamente estudiada por Trasviña & Barton (1997); Lluch *et al.* (1997), Barton *et al.* (1993), Flores Vidal *et al.* (2011). El GT tiene una variabilidad estacional, está descrita en dos etapas: estiaje y lluvias, además consideran los nortes como un factor muy importante para la oceanografía regional del lugar. La primera se da de octubre-abril, se conoce como la temporada de tehanos, con predominancia de vientos del norte; la segunda es de no tehanos se da de mayo-octubre, está caracterizada por pulsos de vientos formados por tormentas tropicales y huracanes (Trasviña & Barton 1997, Romero Centeno *et al.* 2003, Velázquez Muñoz *et al.* 2011, Reyes Hernández *et al.* 2016). La topografía del Istmo de Tehuantepec favorece la ocurrencia de los vientos nortes (Tehuanos) en el GT. Esto es consecuencia de la interrupción de la cadena montañosa de la Sierra Madre del Sur que tiene una altura promedio de 2000 m sobre el nivel del mar y que en la parte central del Istmo su altura promedio decae hasta 250 m formando un canal de aproximadamente 40 km de ancho del conocido paso de Chivela. Ahí se produce la aceleración del aire frío en forma de chorros de gran velocidad que pueden alcanzar velocidades superiores a  $10 \text{ ms}^{-1}$  (con ráfagas de hasta  $30 \text{ ms}^{-1}$ ) con duraciones de 2 a 5 días (tehanos); los cuales soplan en forma

perpendicular a la costa de Salina Cruz (Barton *et al.* 1993, Trasviña 2008, Romero Centeno 2001, Flores Vidal *et al.* 2011, Velázquez Muñoz *et al.* 2011).

Las masas de agua importantes en el GT son: Agua Tropical Superficial (TSW), Agua subtropical Sub-superficial (STUW) y Agua Intermedia del Antártico (AAIW) (Reyes & Murad 2005, Barton *et al.* 2009). El sistema de corrientes influyente en el GT es: la Corriente Norecuatorial (CNE), la Contracorriente Norecuatorial (CCNE) y la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) (Trasviña 2008, Flores Vidal *et al.* 2011, Reyes Hernández *et al.* 2016).

La CCCR que fluye hacia el NW es fuertemente discutida en cuanto a su existencia (Kessler 2006). Diversos trabajos han descrito su presencia y trayectoria en el GT, reportan que durante el invierno boreal se debilita debido a las condiciones oceanográficas dominadas por el viento local (Flores Vidal *et al.* 2011, Velázquez Muñoz *et al.* 2011, Reyes Hernández *et al.* 2016). Reportes de dicha corriente mencionan que es persistente durante todo el año, en evento de tehuanos se desvía hacia el suroeste, conforme el evento se desarrolla la corriente del lado oeste se perturba generando convergencia costera con la corriente que ingresa al este. Ambas corrientes confluyen al norte del GT y fluyen al sur. Al oeste se ve parte de la formación de una estructura anticiclónica que captura una mancha de agua fría, producto de la surgencia y la mezcla producidas por el viento, mientras que en el lado opuesto no se observa la formación de su contraparte ciclónica (Trasviña & Barton 2008, Flores Vidal *et al.* 2011, Reyes Hernández *et al.* 2016).

## 7.0 Materiales y Métodos

### 7.1 Obtención de muestras

Las muestras fueron obtenidas del GT durante la campaña oceanográfica TEHUA IV, a bordo del buque oceanográfico “EL PUMA” de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La red de estaciones es mostrada en la Fig. 4. El muestreo se llevó a cabo del 5-8 de septiembre de 2006 mediante arrastres verticales con una red de apertura de malla de 54  $\mu\text{m}$ . La profundidad de arrastre fue de 100 m, el método de preservación fue formaldehído al 4% para evitar la descomposición de la materia orgánica y la degradación de las células. (Tabla III).

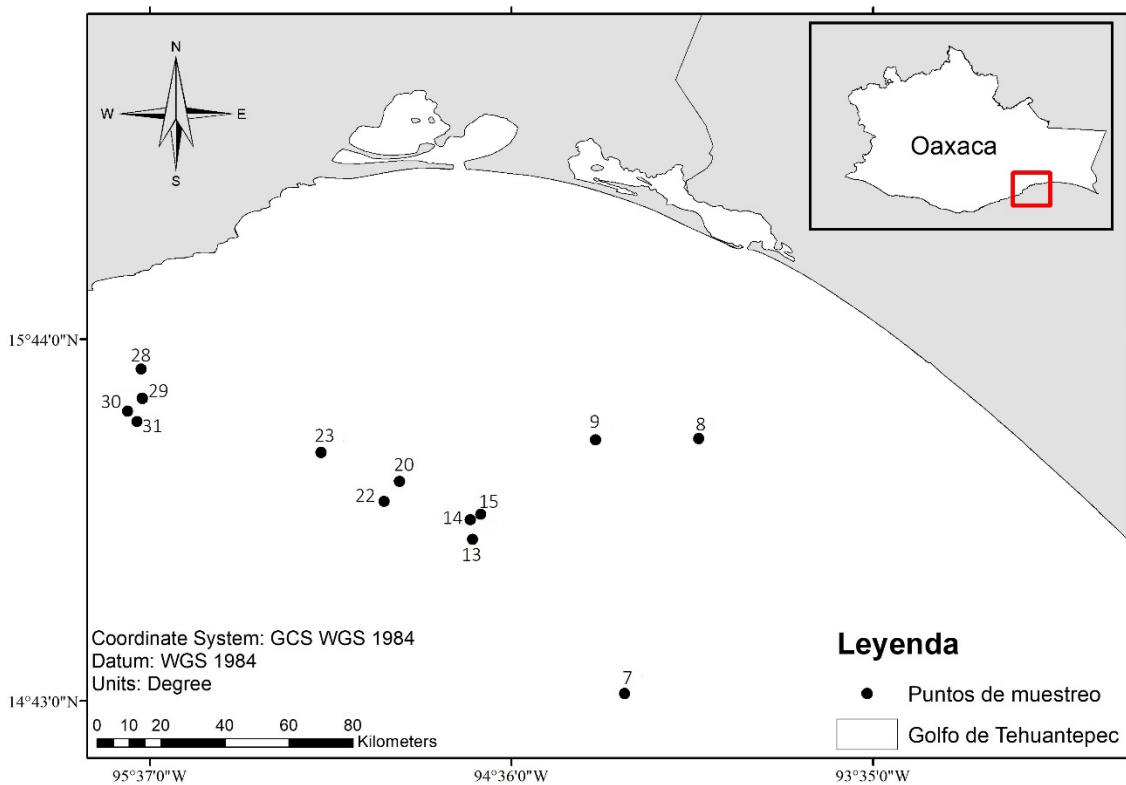


Fig. 4 Mapa del Golfo de Tehuantepec y ubicación de las estaciones de muestreo.

Tabla III. Estaciones georeferenciadas de arrastres verticales para el GT, colectadas por Sara Moreno.

Muestra/Estaciones	Fecha	Latitud	Longitud	Hora
7	05-sep-06	14°49'35.22"	93°39'36.48"	06:38
8	05-sep-06	15°07'58.8"	93°59'35.4"	10:47
9	05-sep-06	15°25'14.58"	94°18'26.4"	15:33
13	06-sep-06	15°0.3'37.32"	94°29'1.56"	10:40
14	06-sep-06	15°05'20.88"	94°28'33.48"	14:10
15	06-sep-06	15°05'39.96"	94°28'52.32"	16:00
20	07-sep-06	15°15'57.42"	94°45'53.58"	07:59
22	07-sep-06	15°14'1.74"	94°46'53.58"	13:42
23	07-sep-06	15°22'10.56"	94°56'21.96"	18:33
28	08-sep-06	15°50'11.52"	95°12'58.44"	12:29
29	08-sep-06	15°40'44.64"	95°12'58.44"	13:11
30	08-sep-06	15°39'11.52"	95°13'52.88"	17:00
31	08-sep-06	15°35'39.24"	95°14'40.5"	19:40

Las muestras corresponden a ejemplares de archivo en resguardo del Laboratorio de Diversidad y Ecología del fitoplancton de la Universidad Nacional Autónoma de México, fueron adquiridas para su análisis durante una estancia de verano en 2016. Se hizo la prospección de las muestras con el objetivo de determinar su estado de preservación. Se tomaron alícuotas del fondo de botes de 500 ml donde encontraban las muestras, de los cuales se vertieron 3 gotas sobre un portaobjetos y se cubrieron con cubreobjetos. Para observar el montaje utilizó un microscopio con contraste de fase VE- B10 marca Zeiss ®. Se concluyó que la preservación era relativamente buena ya que: las células estaban completas y no exhibían disolución de las valvas.

## 7.2 Pre-tratamiento de muestras

Para eliminar el preservante (formaldehído 4%), sin riesgo de intoxicación, se procedió a enjuagarlas con agua destilada caliente (60 °C). El procedimiento consistió en aforar con agua los recipientes donde se encontraban las muestras y dejar reposarlas por 24 h, para que el material biogénico se precipitará. Posteriormente se decantó la solución acuosa (formaldehído diluido) con cuidado de no remover las partículas biogénicas. Para esto, se extrajo aproximadamente la mitad del líquido, se dejó precipitar otras 24 h. Posteriormente se tomaron alícuotas de 3 ml del fondo de cada una de las muestras. Esto se vertió en tubos de ensayo de 15 ml. Se aforó con agua destilada y fueron centrifugadas a 3500 rpm por 10 min, posteriormente se desechó el sobrenadante (Ferrario 1995). El procedimiento se repitió de 5 a 6 veces para estar seguros que se eliminó todo el preservante.

## 7.3 Procesado de muestras

Para la extracción de partículas biosilíceas se aplicó el método de Schrader y Gersonde (1978), el cual consiste en eliminar los carbonatos y la materia orgánica. El método se divide en dos partes:

### 7.3.1 Eliminación de carbonatos

La primera parte consistió en la eliminación carbonatos usando ácido clorhídrico (HCl) concentrado (37%). Este fue adicionado en pequeñas alícuotas hasta que se observó que la muestra dejó de combustionar. Una vez que terminó de ebulir, la muestra se enjuagó con agua destilada repetidas veces, de la misma forma que se hizo para eliminar el formaldehído, solo que en este caso fue para eliminar el estado ácido de la solución y las sales generadas.

### 7.3.2 Eliminación de materia orgánica

La eliminación de material orgánico se realizó usando peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 18%, éste se añadió gradualmente a las muestras. Con el fin de acelerar el procedimiento de oxidación las muestras se calentaron a una temperatura de 60°C. Se utilizó alcohol para poder controlar la efervescencia y evitar que la muestra se derramara y perder

contenido. Una vez que las muestras dejaron de ebulir fueron retiradas y enfriadas, posteriormente fueron enjuagadas con agua destilada hasta obtener un pH neutro.

#### 7.4 Montaje de muestras

Las muestras fueron pasadas a vasos de precipitado de 10 a 20 ml con el fin de concentrar la cantidad de material silíceo. Las muestras se homogenizaron, se tomaron alícuotas de 0.7 ml y se vertieron en cubreobjetos circulares con diámetros de 22 mm. El cubreobjetos que contenía el material silíceo se secó con ayuda de una lámpara para acelerar el proceso. Por otra parte, para hacer una laminilla observable al microscopio, a un portaobjetos se le agregaron al centro dos gotas de resina naphrax (1.7 de índice de refracción) como medio de montaje y se colocó el cubreobjetos. Las laminillas se calentaron a 40 °C, con el fin de eliminar el tolueno en el que se encontraba diluida la resina y las burbujas de aire que generaron en el calentamiento se extrajeron presionando el cubreobjetos con una goma. Por último, las laminillas se dejaron enfriar y se etiquetaron. Por cada muestra se montaron tres placas para contar con dos réplicas.

#### 7.5 Cuantificación de muestras e identificación taxonómica

Para la cuantificación e identificación de valvas de diatomeas se utilizó un microscopio óptico con contraste de fases en sus diferentes objetivos, (marca OLYMPUS® modelo BX51, cámara digital OLYMPUS modelo E-420), además de las claves taxonómicas: Cupp (1943), Round *et al.* (1990) y los conteos se realizaron por transectos horizontales recorriendo esta hasta el otro extremo.

Para realizar los conteos de valvas se siguió el criterio propuesto por Crosta & Koc (2007) que consistió en no contar las valvas que no mostraron características suficientes para la identificación y considerar como una aquellas que las mostraron (tipo *Coscinodiscus*) y como ½ aquellas que muestran extremos identificables de las diatomeas pennadas (Fig. 5).

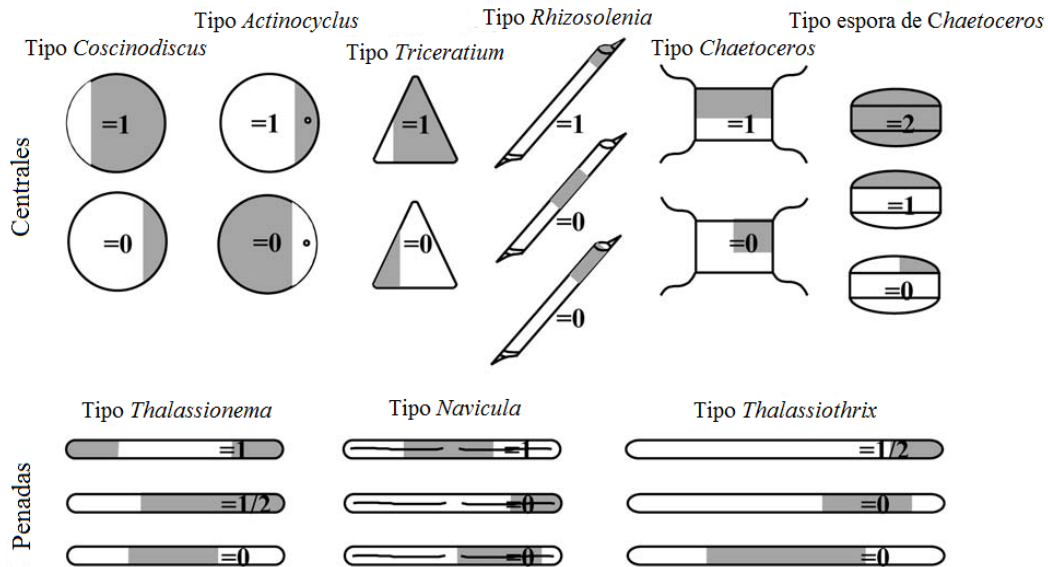


Fig. 5 Criterio de conteo de valvas de diatomeas (Tomado de Crosta & Koc 2007).

## 7.6 Procesamiento y unificación de datos

### 7.6.1 Conteos de valvas de diatomeas

Se contaron de 100-300 valvas de diatomeas por muestra, incluyendo las réplicas; con la finalidad de tener una muestra representativa (que represente una parte del total), con el propósito de incluir la mayor cantidad especies. Una vez hecha la identificación y cuantificación del número de valvas se integró la matriz de conteos de valvas por especie según el método de Round *et al.* (1990).

$$N = \sum ni \left( \frac{A}{a} \right)$$

Ec.1

Dónde:

N= número de valvas por laminilla

a= área contada (mm<sup>2</sup>).

A= área total de la muestra sobre la laminilla (mm<sup>2</sup>).

ni= número de valvas de la especie *i*.

$\sum ni$ = suma del número de valvas pertenecientes a cada especie por área contada

Las diatomeas de las laminillas E7, E8, E9, E13, E14, E20, E22 y E23 fueron contadas en su totalidad. Por otro lado, en las laminillas E15, E28, E29, E30 y E31 solo se contaron a

1/6 del área total siguiendo la metodología de Round *et al.* (1990). Cabe resaltar que en las laminillas donde el total de las partículas biogénicas fueron < 100 se contaron más laminillas, por ejemplo para la E14 se contaron todas las laminillas montadas (A, B, C, D, E y F).

### 7.6.2 Obtención de la matriz del 75% Abundancia Relativa (75% AR)

Con la intención de ver cuáles son las especies que contribuyen a la comunidad de diatomeas de forma espacial para área de estudio, con los conteos de las valvas de diatomeas de cada muestra se realizó una matriz del 75% de AR, la cual consistió en:

- Hacer un listado de especies correspondiente a cada muestra
- Organizar cada muestra de manera descendiente (de mayor a menor)
- Realizar la matriz de abundancias acumulativas (consistió en poner el primer valor de abundancia y sumarle el inmediato del renglón inferior)
- Obtener la matriz de AR 75%, la cual, se obtuvo cortando la matriz acumulativa al 75%

Esto se realizó para poder obtener las especies más abundantes y así mismo, eliminar el efecto de las especies que fueron poco frecuentes o raras (Round *et al.* 1990).

### 7.6.3 Índices ecológicos

Se obtuvieron los índices de diversidad, riqueza, dominancia y equitatividad, con la finalidad de relacionarlos con la Temperatura Superficial del Mar y la *Clorofila a* ya que estos son indicadores de la dinámica biológica:

- i. Diversidad de Shannon Wiener ( $H'$ ): Este índice considera que los individuos se muestran al azar a partir de una población indefinidamente grande y que todas las especies que comparten la comunidad (o hábitat) están representadas en la muestra. El valor en el que oscila el índice va de 1.5 a 3.5 y en raras ocasiones sobrepasa 4.5 (Magurran 1988, Moreno 2001).

$$H' = - \sum p_i \ln p_i \quad \text{Ec.2}$$

$$p_i = n_i / N \quad \text{Ec. 3}$$



Donde:

$p_i$ = proporción del número total de valvas por especie en cada muestra.

$n_i$ = número de valvas por especie.

$N$ = número total de valvas por muestra.

- ii. Riqueza de Shannon Wiener ( $H'_{max}$ ): con éste se toma en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies (Pielou 1984).

$$H'_{max} = LN(S) \quad \text{Ec.4}$$

Dónde:

$S$ = número de especies por muestra.

- iii. Dominancia de Simpson ( $\lambda$ ), toma en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies. Sus valores van de 0-1, siendo 1 la mayor dominancia y 0 la menor dominancia (Pielou 1984).

$$\lambda = \frac{\sum n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

$n_i$ = número de valvas por especie

$N$ = número total de valvas por muestra

- iv. Diversidad de Simpson ( $1-\lambda$ ), como representa lo inverso a la dominancia, la diversidad puede calcularse como  $1-\lambda$ , los valores van de 0-1 donde 1 es muy diverso y 0 nula diversidad (Lander 1996).

$$D = 1 - \lambda \quad \text{Ec.6}$$

- v. Equidad de Pielou ( $J'$ ), mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Maguran 1998).

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

$H'$  = Diversidad de Shannon-Wiener

$H'_{\max}$  = Riqueza de Shannon-Wiener

#### 7.6.4 Índice de similitud de Sorensen

Este índice mide la tasa de cambio en la composición de distintas comunidades (diversidad beta), ayuda a medir la heterogeneidad de un muestreo. Se basa en la relación presencia- ausencia entre el número de especies comunes en dos áreas (o comunidades) y el número total de especies, toma valores que van de 0-100, donde 0 es poca similitud entre muestras y 100 son muy similar (Muller Dombis & Ellenberg 1974, Moreno 2001). Este índice se obtuvo con el programa Primer6® utilizando la matriz de abundancia relativa.

$$\text{Índice de similitud} = 2C/A+B \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

A y B: Son el número de especies de cada estación

C= Número de especies que se encuentran presentes en ambas estaciones de estudio

#### 7.6.5 Temperatura Superficial del Mar (TSM) y *Clorofila a*

Los valores de la TSM se obtuvieron de datos diarios del satélite MODIS-aqua, de la página NASA *Ocean color* (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), a un nivel de procesamiento L3 y una resolución espacial de 4 km. Los datos fueron procesados con el software Matlab® versión 2013 para obtener las imágenes.

La concentración de *Clorofila a* se obtuvo de la base de datos diarios del satélite MODIS-aqua de la página NASA *Ocean color*, (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), a un nivel de procesamiento L3 y una resolución espacial de 4 km. Los datos fueron procesados con el programa Matlab® versión 2013 para obtener las imágenes.

## 8.0 Resultados

### 8.1 Estructura florística y Matriz de abundancia relativa al 75%

Se lograron identificar 63 especies de diatomeas en 30 géneros (Anexo I). Los géneros mejor representados fueron: *Coscinodiscus* y *Rhizosolenia* ambos con ocho especies, mientras que *Actinocyclus* y *Asteromphalus* con cinco, seguido de *Azpeitia* y *Thalassiosira* con cuatro. Algunas valvas de diatomeas centrales no pudieron ser identificadas debido a su deterioro, los posibles géneros son: *Coscinodiscus* y *Thalassiosira*.

En cuanto a la abundancia relativa, 29 especies contribuyeron al 75% del total de las especies (en las 13 muestras analizadas). Las especies con mayor distribución en el espacio muestreado en orden de abundancia relativa fueron *Azpeitia nodulifera* (44.07% en la E8 y 29.97% en la E23), *Ditylum brightwelli* (21.05% en la E8 seguida de 15.0% en la E14, Fig. 6) ambas con presencia en 8 estaciones. Continuando el orden de contribución tenemos a *Fragilariopsis doliolus*, *Actinocyclus curvatulus*, *Actinoptychus senarius*, *Thalassionema nitzschioides*, *Coscinodiscus radiatus*, *Thalassiosira eccentrica*, *Coscinodiscus decrescens* y *Coscinodiscus oculus-iridis*; las estaciones en las que aparecen y el porcentaje de abundancia relativa con el que contribuyen se presentan en el Anexo II.

### 8.2 Estructura comunitaria: Índices ecológicos

Los índices ecológicos de diversidad ( $H'$ ) y riqueza de Shannon-Wiener ( $H'_{\max}$ ), diversidad ( $\lambda-1$ ) y dominancia de Simpson ( $\lambda$ ), así como la equidad de Pielou ( $J'$ ) (Tabla IV) mostraron que el promedio de la diversidad  $H'$  en la zona muestreada fue de 2.97; con el valor más alto destaca la E28 (3.63) y el mínimo en la E8 (1.83) (Fig. 7). En cuanto a la  $H'_{\max}$  el promedio fue de 3.30; con un máximo en la E29 (3.71) y un mínimo en la E8 (2.56) respectivamente. Por otro lado, la diversidad ( $\lambda-1$ ) mostró un promedio de 0.90, un valor máximo en la E28 (0.93) y un mínimo en la E8 (0.74); mientras que diversidad de Simpson ( $\lambda$ ) obtuvo un promedio de 0.98, con un valor máximo en la E8 (0.25) y un valor mínimo en la E13 (0.06) (Fig. 8). Finalmente para la  $J'$  se obtuvo un promedio de 0.89; el valor más alto estuvo en la E28 (0.99) y el más bajo en la E8 (0.71) (Fig. 9).

Todos los índices muestran la misma tendencia de comportamiento (Diversidad y Riqueza incrementan de la E8 a la E31), exceptuando el de dominancia, el cual es inverso.

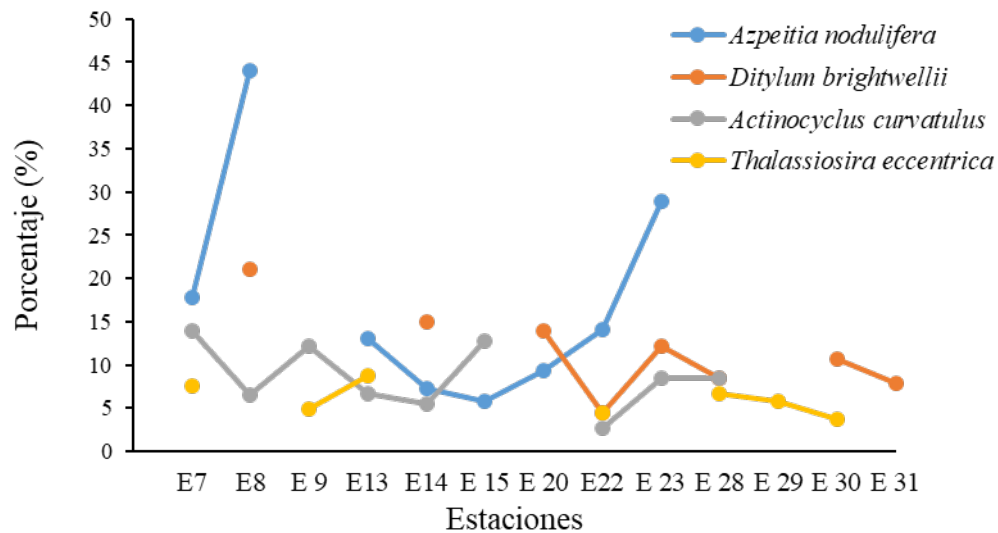


Fig. 6 Abundancia Relativa de las cuatro especies de diatomeas que más contribuyen a la comunidad, periodo de muestreo del 5-8 de septiembre de 2006.

Tabla IV. Valores calculados de los índices ecológicos, en color rojo indica los valores máximos y los verdes los mínimos.

MUESTRA	DIVERSIDAD (H')	RIQUEZA (H <sub>max</sub> )	DOMINANCIA (λ)	DIVERSIDAD (λ-1)	EQUIDAD (J')
E 7	2.734	2.890	0.097	0.903	0.946
E 8	1.837	2.565	0.253	0.747	0.716
E 9	2.696	3.045	0.115	0.885	0.886
E 13	3.087	3.135	0.068	0.932	0.985
E 14	2.914	3.219	0.079	0.921	0.905
E15	2.944	3.367	0.089	0.911	0.874
E20	3.054	3.401	0.070	0.930	0.898
E 22	3.259	3.401	0.074	0.926	0.958
E 23	2.943	3.434	0.121	0.879	0.857
E 28	3.632	3.638	0.070	0.930	0.998
E 29	3.280	3.714	0.072	0.928	0.883
E 30	3.004	3.497	0.089	0.911	0.859
E 31	3.236	3.611	0.071	0.929	0.896
PROMEDIO	2.971	3.301	0.098	0.902	0.897
DESV.EST	0.421	0.325	0.050	0.050	0.071

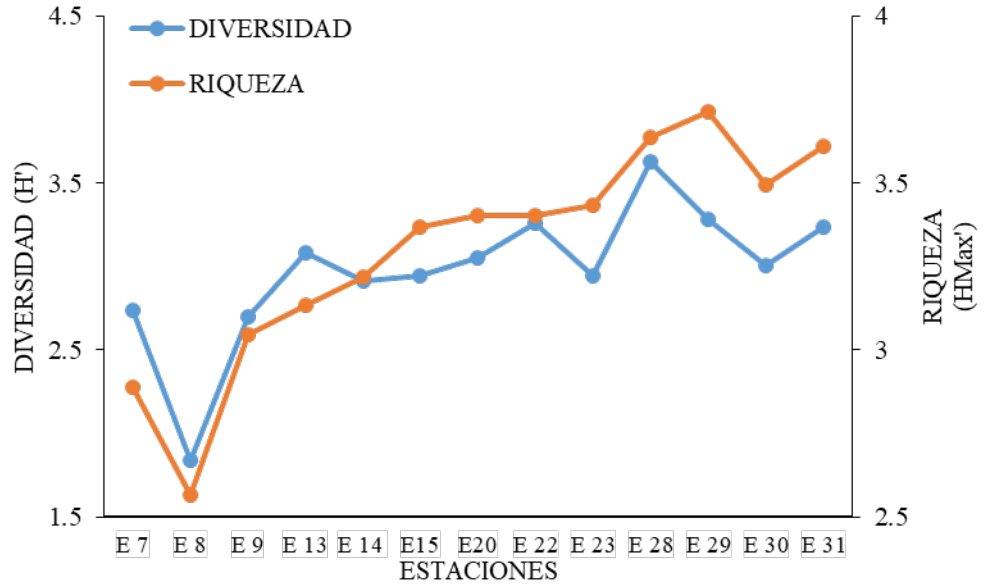


Fig. 7 Índice de diversidad de Shannon- Wiener ( $H'$ ) y riqueza de Shannon- Wiener ( $H_{max}'$ ).

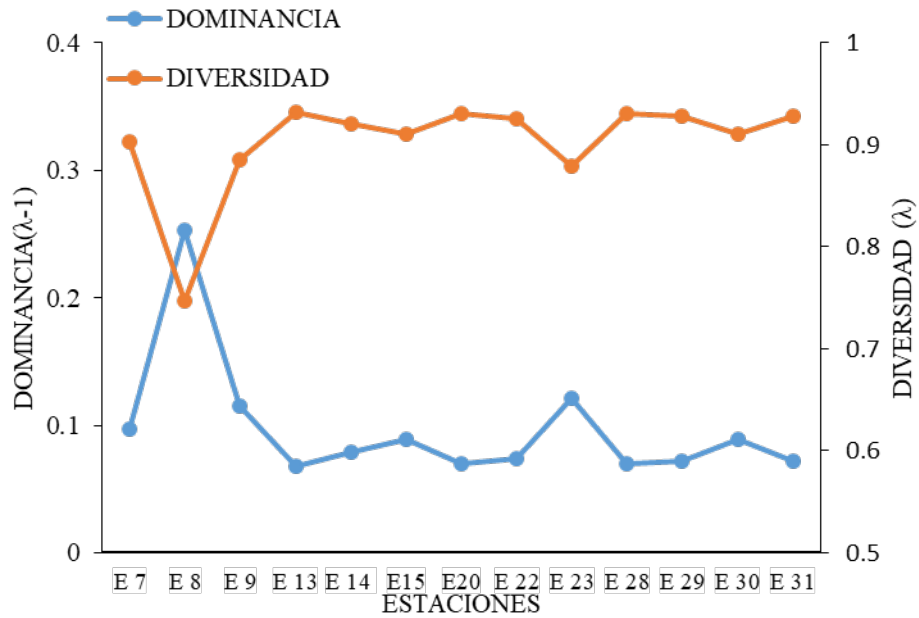


Fig. 8 Índice de diversidad de Simpson ( $\lambda$ ) y dominancia de Simpson ( $\lambda-1$ ) con su respectiva línea media.

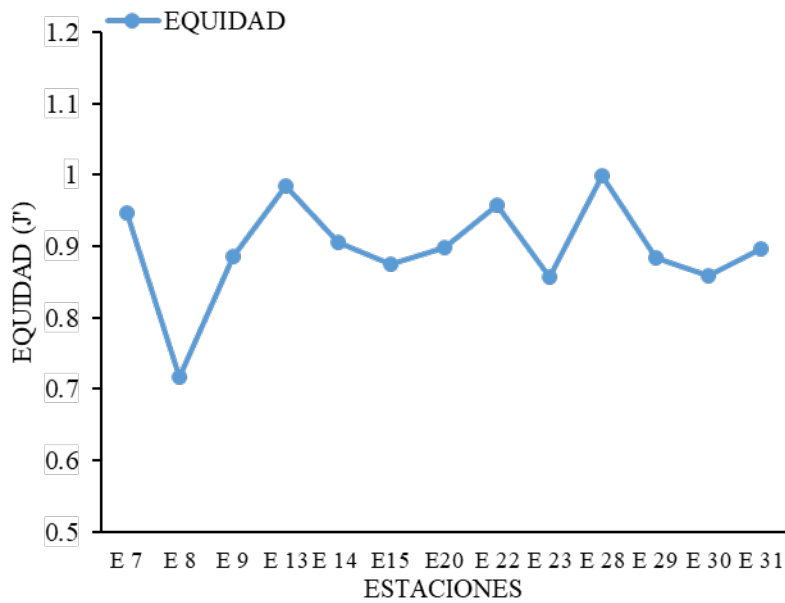


Fig. 9 Índice de Equidad de Pielou (J')

### 8.3 Índice de similitud de Sorensen

En la Tabla III se especifica numéricamente el grado de similitud en las muestras; la similitud se considera significativa cuando es mayor al 55%, las tres asociaciones con mayor similitud fueron: E20 y la E23 (65.38%), seguida de la E20 y la E29 (64.15%), del mismo modo la E15 y la E20 (63.64%). De forma general, podemos observar dos grupos: el primero constituido por las comunidades presentes en las estaciones: E20, E23, E15, E29 y E31; el segundo conformado por: E28, E30, E22, E13 y E14, y tres estaciones que no tuvieron agrupaciones (E7, E8 y E9) (Fig. 10, Tabla V).

Tabla V. Valores del Índice de Similitud de Sorensen (donde: 0=no hay similitud; 100=la mayor similitud posible. Se marcaron en rojo las estaciones con similitud mayor al 55%.

	E7	E8	E9	E13	E14	E15	E20	E22	E23	E28	E29	E30	E31
E7													
E8													
E9													
E13	0	0	0										
E14	0	0	0	38.71									
E15	0	0	0	56.41	23.53								
E20	0	0	0	53.66	38.89	63.64							
E22	0	0	0	41.86	36.84	43.48	37.50						
E23	0	0	0	46.81	38.10	60.00	65.38	44.44					
E28	0	0	0	41.67	51.16	43.14	45.28	54.55	47.46				
E29	0	0	0	58.33	37.21	62.75	64.15	36.36	61.02	56.67			
E30	0	0	0	53.06	54.55	42.31	48.15	60.71	53.33	62.30	52.46		
E31	0	0	0	39.29	23.53	54.24	55.74	38.10	59.70	38.24	55.88	40.58	

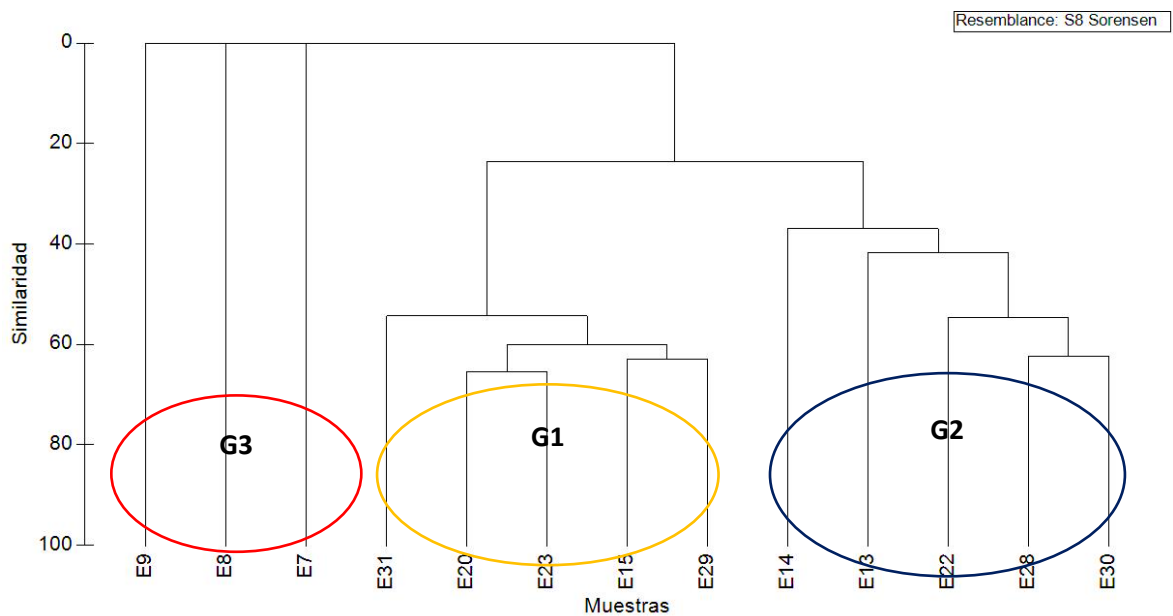


Fig. 10 Dendrograma de Similitud del Índice de Sorensen: grupo 1 (G1), grupo 2 (G2) y grupo 3 (G3).

#### 8.4 Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Las figuras 11-13 muestran la TSM de imágenes de satélite de tres días de muestreo correspondientes al periodo cinco al siete de septiembre de 2006. Las estaciones no fueron cubiertas en su totalidad debido a la nubosidad parcial en la zona. Para el ocho de septiembre de 2006 no se pudieron extraer los datos posiblemente a la considerable nubosidad. En general, los tres escenarios de la TSM oscilaron entre 28.8-30 °C.

En particular, para el día cinco de septiembre de 2006 (Fig. 11) el intervalo de TSM fue de 29.8 a 30 °C, y se puede apreciar en la zona donde se ubican las muestras E28, E30, E31; para el día seis de septiembre de 2006 (Fig. 12) la TSM fluctuó entre 28.8-30 °C, la imagen muestra que se tienen datos para todas las estaciones a excepción de la E9; finalmente, para el día siete de septiembre de 2006 (Fig. 13) la TSM fue de 29.8-30°C, en el área que incluye las estaciones: E28, E30 y E23. Con base a la distribución de TSM en el GT podemos observar dos áreas: 1) NW: E13, E14, E15, E20, E22, E23, E28, E29, E30 y E31; 2) NE: E7, E8, y E9.

#### 8.5 *Clorofila a*

Las figuras Fig. 14 y Fig. 15 muestran las imágenes de satélite de la concentración de *Clorofila a* de dos días. Los dos escenarios obtenidos corresponden a los días seis y siete de septiembre de 2006, el área de muestreo no fue cubierta en su totalidad debido a la nubosidad parcial que se tuvo en el área de muestreo para inicios de septiembre 2006 (Nava Fernández 2013). En general la concentración de *Clorofila a* osciló entre 0-0.5 mg m<sup>-3</sup>. En particular, para el día 6 de septiembre (Fig. 14) la concentración de *Clorofila a* fluctuó entre 0.1-0.5 mg m<sup>-3</sup>, la imagen no incluye datos para el área de las estaciones: E9, E7. El día 7 (Fig. 15) la concentración *Clorofila a* osciló entre 0.1-0.4 mg m<sup>-3</sup>, además de abarcar casi toda el área a excepción de donde se ubican las estaciones: E15 y E13. En ambas figuras (14-15) la concentración de *Clorofila a* va de mayor a menor concentración, de la zona nerítica a la oceánica, en la Fig. 15 se ve marcado como hay dos lengüetas de concentración de *Clorofila a*, de zona nerítica a oceánica. El aporte está en el intervalo de 0.5-0.4 mg m<sup>-3</sup>.



Con base a la distribución de la concentración de *Clorofila a* en el GT podemos observar tres áreas: 1) NW: E29, E31, E28 y E30; 2) parte media: E13, E14, E15, E22, E20 y E23; 3) NE: E7, E8, y E9 (Fig. 15).

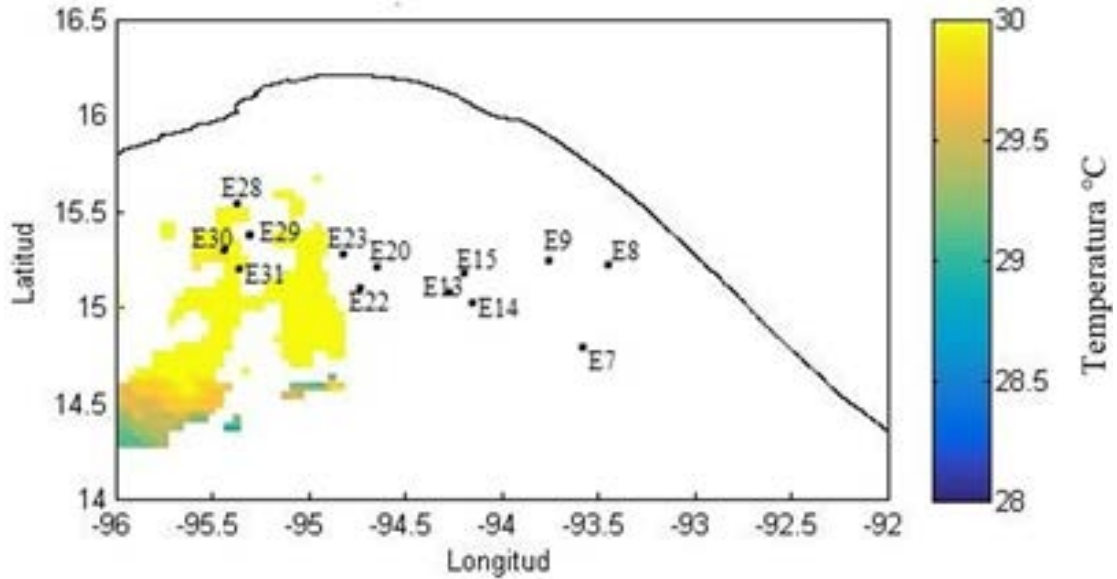


Fig. 11 TSM de 05 septiembre de 2006. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

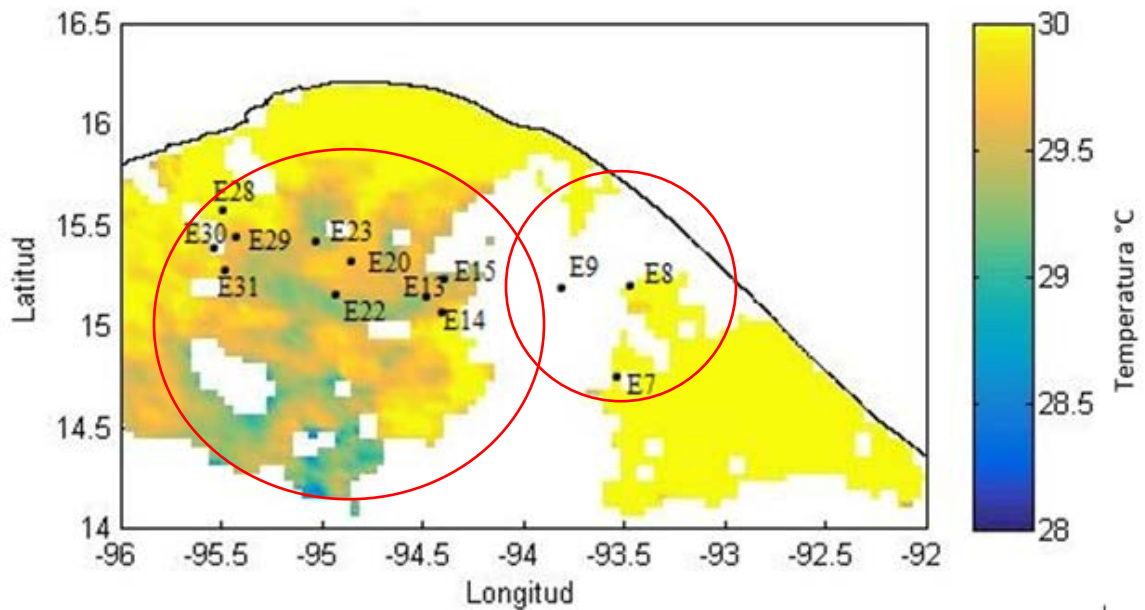


Fig. 12 TSM de 06 septiembre de 2006. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

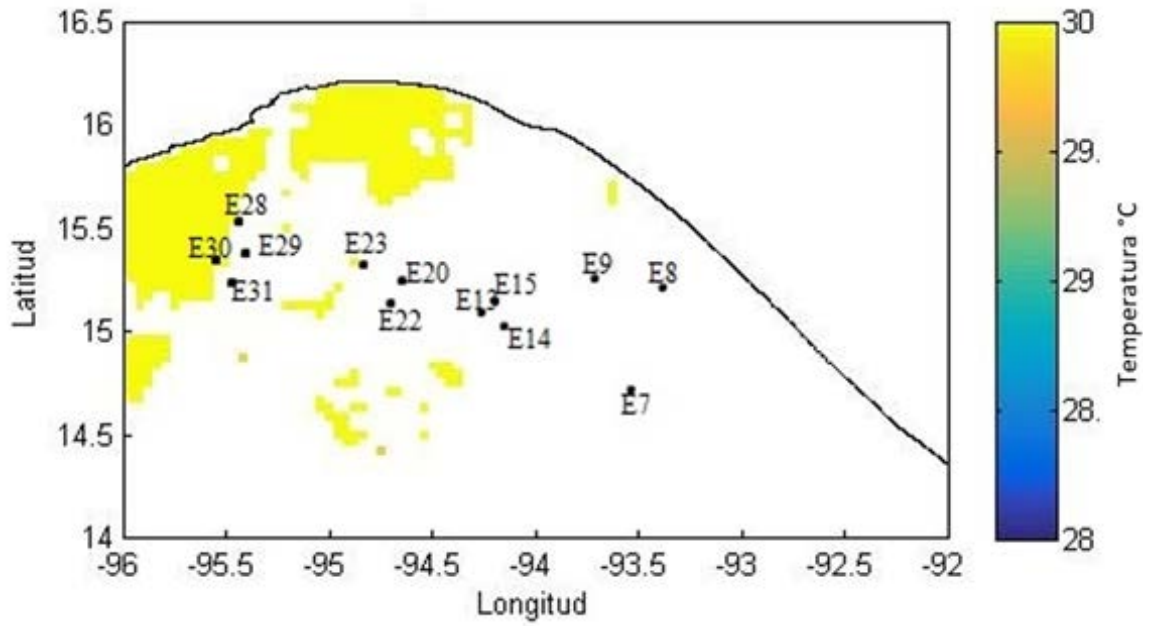


Fig. 13 TSM de 07 septiembre de 2006. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

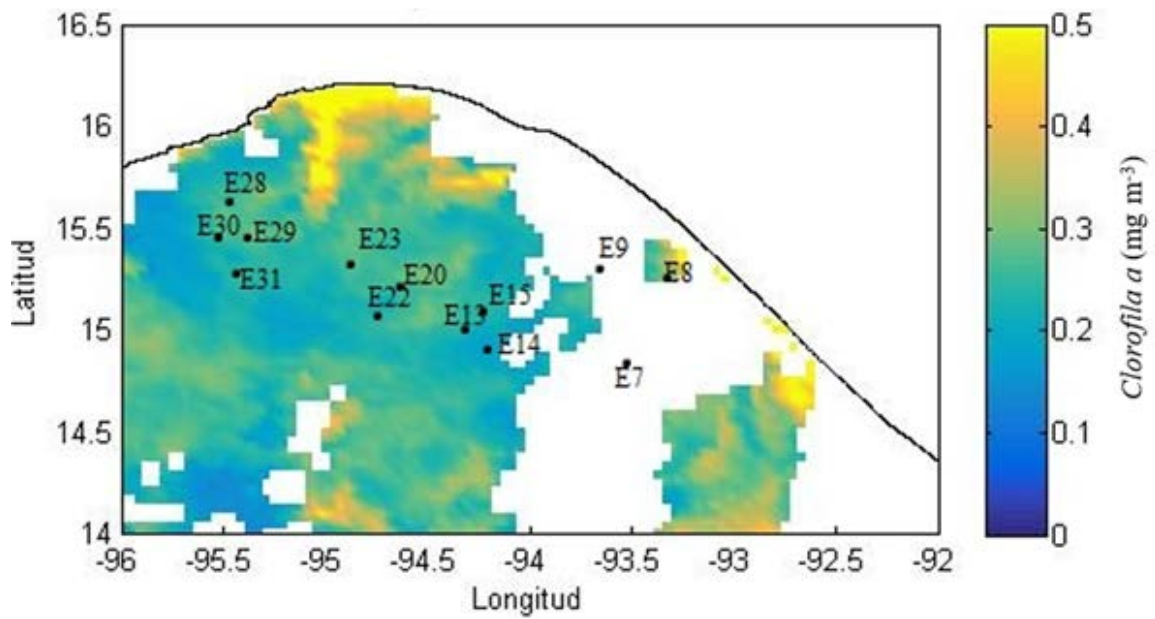


Fig. 14 Concentración de Clorofila a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) del día 6 de septiembre de 2006. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

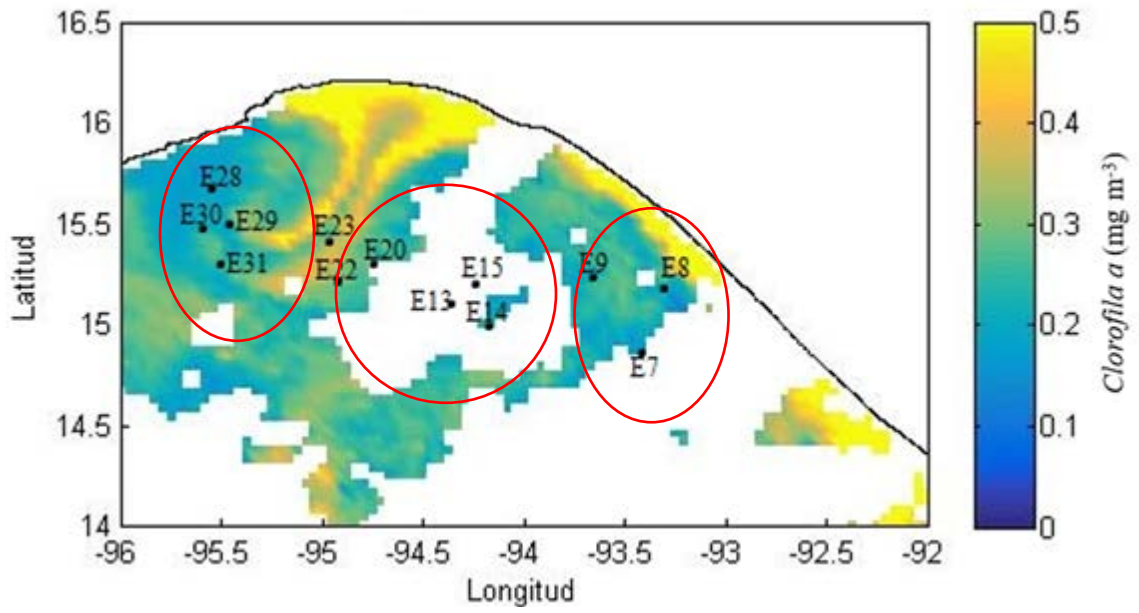


Fig. 15 Concentración de Clorofila *a* (mg m<sup>-3</sup>) del día 7 de septiembre de 2006.  
<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

## 9.0 Discusiones

### 9.1 Estructura florística a partir de la AR

La comunidad de diatomeas en el Golfo de Tehuantepec (Fig. 6), para los días 5-8 de septiembre de 2006 estuvo integrada por 63 especies en 30 géneros, los mejor representados fueron: *Coscinodiscus* y *Rhizosolenia* con ocho especies; *Actinocyclus* y *Asteromphalus* con cinco y *Azpeitia* y *Thalassiosira* con cuatro. El género *Coscinodiscus* estuvo presente en toda el área de estudio, contribuyendo de manera importante a la abundancia relativa total (38.4 a 6.3%). *Coscinodiscus radiatus* es la especie con mayor ocurrencia de este género, estuvo presente en seis de las 13 estaciones. Tanto el género como la especie coinciden con lo reportado con Hernández Becerril (2000) para la zona el cual menciona que es común y ampliamente distribuida (Anexo III, Fig. 16).

Por otro lado, el género *Rhizosolenia* se mantuvo presente en cinco de 13 estaciones; su contribución a la abundancia relativa total fue significativa (24.9-3.9%). Las especies que contribuyeron a la comunidad, que conforma la matriz del 75% de AR, fueron cuatro: la más frecuente fue *R. bergonii* presente en tres estaciones (E28, 5.7%; E29, 3.4%; E30, 11.9%; E31, 8.9%), seguida de *R. crassispina* (E31, 11.4%), *R. decipens* (E29, 5.5%) y *R. fallax* (E31, 4.6%) (Anexo III, Fig. 17). Estas especies con excepción de *R. bergonii* coinciden con lo ya reportado por Hernández Becerril (2010) exclusivamente para Oaxaca (periodo 21 de agosto al 12 de septiembre del 2007) junto a otras siete especies del género: *R. clevei*, *R. clevei* var. *communis*, *R. cylindrus*, *R. formosa*, *R. imbricata*, *R. phuketensis*, y *R. setigera* por lo que se refuerzan los conocimientos previos.

Previo a este estudio, la presencia de *R. bergonii* fue reportada por Almaraz Ruíz (2013) dentro del listado de especies y anexó a *R. acumminata*, *R. castracanei*, *R. hebetata*, *R. pungens*, y *R. styliformis* además de lo ya reportado por Hernández Becerril (2010). Las especies del género *Rhizosolenia* contribuyeron de forma importante a la riqueza, pero no a la abundancia; la temporada analizada correspondió a estiaje que fue caracterizada por la presencia de nortes y por tanto en eventos de surgencias (Trasviña & Barton 1997, Moreno Ruiz *et al.* 2008, Almaraz Ruiz 2013). En un estudio de sedimentos laminados extraídos cercano a la ubicación de la trampa de sedimento se encontraron presentes: *R. bergonii* y *R. crassispina* (Almaraz Ruiz 2017).

Las especies *R. bergonii*, *R. crassispina*, *R. decipens* y *R. fallax* fueron consideradas en este estudio como características para inicios de septiembre de 2006, donde predominan TSM cálidas (28-30 °C) y concentraciones de *Clorofila a* bajas (0-0.5 mg m<sup>-3</sup>), lo cual marca una columna de agua fuertemente estratificada (Nava Fernández 2013) y por lo tanto un ambiente oligotrófico (Strickland & Parsons 1972, Margalef 1983, Riley & Chester 1989, Contreras Espinoza *et al.* 1994) (Anexo III, Fig. 17).

El género *Asteromphalus* fue muy representativo (seis especies) en cuanto a la riqueza de especies (*As. arachne*, *As. elegans*, *As. flabellatus*, *As. heptactis* y *As. roundii*) lo que se corresponde con investigaciones de Hernández Becerril & Salazar Paredes (2012) en un informe para la CONABIO (con muestras del 11 al 29 de febrero de 2009) para el Pacífico central mexicano, en la zona económica exclusiva limítrofe; por otro lado en este trabajo su aportación a la abundancia relativa total (0.65-4.0%) no fue representativa.

Es importante resaltar la presencia de *As. roundii* porque anteriormente fue reportada como exclusiva del GT por Meave del Castillo (1999). Por otro lado, *As. elegans*, *As. flabellatus* y *As. heptactis*, más otras tres especies de este género ya habían sido reportadas (*As. claveanus*, *As. parvulus* y *As. petersonii*) por Almaraz Ruíz (2013) para la temporada de estiaje del año 2006, una temporada antes de este caso de estudio.

El género *Actinocyclus* tuvo una abundancia (0.09-15.18%) donde dos de sus especies: *Ac. curvatulus* y *Ac. octonarius*, contribuyeron al 75% de la AR de la comunidad (Anexo III). Este género cobra importancia ya que se reportó dentro del listado de especies características del GT (Meave del Castillo 1999, 2009). En específico, *Ac. curvatulus* fue caracterizada como una especie de aguas cálidas para junio-julio de 2006 (trampa de sedimento, GT, Almaraz Ruiz 2013). Mientras que, en sedimentos laminados de la misma área, *Ac. octonarius* formó parte del listado (Almaraz Ruíz 2017).

El género *Azpeitia* tuvo una abundancia relativa total alta (0.52-44.07%) y estuvo representado por cuatro especies, tres de ellas (*Az. africana*, *Az. neocrenulata* y *Az. nodulifera*) dentro del 75% de AR con una distribución espacial en casi toda el área (Anexo III, Fig. 19); en el Pacífico Tropical Mexicano (desde San Blas hasta GT) se tiene el registro del género por Meave del Castillo (2002, 2009), Hernández Becerril & Parra Ortiz (2015); se le considera como representante de baja productividad en aguas

superficiales (Romero *et al.* 2003); la forma en la cual se distribuye combina aguas cálidas, alta estratificación en la columna de agua, por tanto bajos nutrientes. Una asociación similar bajo las mismas condiciones oceanográficas fue reportada por Sancetta (1995) en el Golfo de California, México, Romero & Hensen (2002) en el SW del océano Atlántico, Mohtadi *et al.* (2004) en las costas de Perú, Esparza Alvarez (2007) en cuenca San Lázaro Baja California México. Además, esta especie podría asociarse a eventos “El Niño” (Sancetta 1995, Esparza Alvarez 2007). Sin embargo, Almaraz Ruiz (2013, 2017) reporta la presencia de este género, en específico la especie *Azpeitia nodulifera* dentro de su listado de especies, pero no resalta como representativa. Es importante destacar que Almaraz Ruíz (2013) muestrea la temporada invierno-verano/tehuanos (febrero-julio 2006) y lo enfoca a surgencias, al igual que el segundo trabajo (Almaraz Ruíz 2017), con la diferencia que el último lo hace en una secuencia para el último siglo.

Debido al comportamiento de *Az. nodulifera* en condiciones específicas ya mencionadas (TSM y *Clorofila a*), y al haberlo consultado con el trabajo de otros autores (Romero *et al.* 2002, Esparza Alvarez 2007, Nava Fernández 2013), para la zona de estudio (tropical) esta especie puede ser considerada indicadora de aguas cálidas; específicamente se relaciona claramente con una temporada cálida, TSM de 28-30 °C, concentraciones bajas de *Clorofila a* 0-0.5 mg m<sup>-3</sup>, con una profundidad de 70 m de columna de agua superficial y estratificada (Nava Fernández 2013).

El género *Thalassiosira* (AR: 0.28-11.34%) fue representado por cuatro especies, dos de ellas *Thalassiosira eccentrica* y *Thalassiosira anguste-lineata* contribuyeron al 75% de AR. Cabe resaltar que *T. eccentrica* se distribuye en toda el área, mientras que *T. anguste-lineata* se concentra en la parte media de la zona de estudio (Anexo III, Fig. 20). El género *Thalassiosira* ha sido ampliamente estudiado para el PM y el GT por Meave del Castillo (1999, 2006, 2008); Hernández Becerril (2010, 2012) los cuales han reportado nuevas especies, mientras que Woolrich (2016) ha corroborado presencia/ausencia. Por otro lado, las especies *T. decipiens* y *T. oestrupii* son tomadas como indicadoras de condiciones templadas/mesotróficas a cálidas/oligotróficas (Almaraz Ruíz 2013, 2017).

La especie *Ditylum brightwelli* (21.5%- 4.5%) estuvo presente en 8 de 13 estaciones. La literatura cita a esta especie como de aguas templadas del sur del Pacífico y nerítica (Cupp 1943). En el GT se tiene registro de ésta por Meave del Castillo & Hernández Becerril (1998), Meave del Castillo (2006), Moreno Ruíz *et al.* (2011), este último la reporta como abundante en un ambiente salobre (Laguna Superior del GT). En contraste, en este trabajo esta especie alcanza una AR de hasta 21.5% y está distribuida desde la zona nerítica interna hasta la externa (Anexo III, Fig. 21), además de que el periodo de muestreo corresponde con aguas cálidas (28-30°C) y bajas concentraciones de *Clorofila a* (0-0.5 mg m<sup>-3</sup>), por lo tanto aguas oligotróficas y columna de agua estratificada.

Finalmente, la presencia de *Fragilariopsis doliolus* (AR: 23.4%- 4.7%) en 6 estaciones (Anexo III, Fig. 22), lo que marca la pauta para aumentar el límite superior del intervalo de temperatura. Aquí se presentó cuando las TSM tuvieron un intervalo de 28.9-30 °C (aguas cálidas), bajas concentraciones de Clorofila a, aguas oligotróficas y columna de agua estratificada. Esto coincide con lo ya reportado, para otros lugares: Sanceta (1995) en el Golfo de California, Romero *et al.* (2002) 20°N, 20°W Cape Blanc, África, Esparza Álvarez (2007) en cuenca San Lázaro Baja California, México, que la han utilizado para reconstruir condiciones oceanográficas cálidas. En específico Lange *et al.* (1987), para la cuenca de Santa Bárbara, la reporta durante El Niño 1983 (primavera). Para el GT en sedimentos, Tobón Velásquez (2015) para el Último Máximo Glacial también la considera como de aguas cálidas y estratificadas, lo cual contrasta con Almaraz Ruíz (2017) que la considera dentro de la asociación mesotrófica.

## 9.2 Estructura comunitaria: Índices ecológicos

En este estudio se presentaron valores de Diversidad H' (1.8-3.6 bits) y Riqueza H<sub>max</sub>' (2.5-3.7 bits) (Tabla III, Fig. 7-Fig. 9), los cuales están considerados dentro de los valores 1.5-3.5 bits que son para la mayoría de los ecosistemas oceánicos (Magurran 1988). En diversos estudios se menciona que existe diversidad y riqueza en géneros de diatomeas para el GT, pero solo son apreciaciones cualitativas-semicuantitativo debido a que los estudios son preferentemente taxonómicos, por lo que no es posible hacer un comparativo (Ake del Castillo 1999, Meave del Castillo 1999, 2002, 2006, 2009, Moreno Gutiérrez

2008, Herrera Hernández 2009, Hernández Becerril 1999, Hernández Becerril & Salazar Paredes 2012).

El máximo valor de Diversidad  $H'$  (3.6 Bits) y Riqueza  $H_{max}$ ' (3.7 Bits) está dentro de los valores típicos en estudios costeros (Magurran 1988), sin embargo, no son valores altos para la zona tropical marina (Margalef 2005, Moreno *et al.* 2011). Esto se sustenta con otros reportes para la zona sub-tropical del PM; en los que destacan, en la zona de costera, los trabajos de López Fuerte & Siqueiros Beltrones (2006) quienes obtienen valores altos de hasta 4.76 Bits para la Zona de Canales dentro del Sistema Lagunar Magdalena Almejas, y los estudios de: Siqueiros Beltrones & Sánchez Castrejón (1999), López Fuerte (2002), Hernández Almeida & Siqueiros Beltrones (2008) que reportan valores similares para la comunidad de diatomeas bentónicas en los sistemas de manglares del sur de la península de Baja California; mientras que en la zona oceánica, en sedimentos laminados de la cuenca de San Lázaro, zona de templada a sub-tropical, Esparza Álvarez (1999) obtuvo una diversidad promedio de 2.9 bits, con valores altos de 3.5 bits, periodos cálidos (entre 1910-1930 y 1984-1987) de una serie larga de 1903-1996, asociados a la presencia de especies de diatomeas no planctónicas dominantes de las zonas litorales de aguas cálidas y de amplia distribución geográfica.

Por otro lado, para el GT, durante la temporada de estiaje de 2006, en estudios de sedimentos de trampas ubicadas en la frontera nerítica/oceánica, Almaraz Ruíz (2013) reporta valores de Diversidad ( $H'$ ) de 4.04-5.86 bits. El valor 4.04 bits está dentro de los valores de diversidad reportados para aguas oceánicas (3.5-4.5 bits) (Esparza Álvarez 1999, Margalef 2005, Moreno *et al.* 2011), mientras que 5.86 bits lo sobrepasa. En contraste, para la misma zona, pero en el fondo marino, Almaraz Ruíz (2017) reporta que la comunidad de diatomeas preservada en sedimentos laminados presenta valores de 3.8 a 4.5 bits. Los valores están dentro del límite superior (4.5 bits) y dentro del intervalo reportado para aguas oceánicas (3.5 bits), posiblemente obedecen a los procesos de sedimentación y diagénesis (Magurran 1988, Tucker 2001). Comparando lo anterior con nuestro caso de estudio, tenemos un promedio de 2.9 (máximo: 3.63, E28 y mínimo: 1.83, E8), valor que muestra diversidades ( $H'$ ) por debajo de lo esperado para aguas neríticas tropicales (4.5-5 bits) (Margalef 2005) por lo que posiblemente la comunidad estuvo sujeta a estrés ambiental.



En cuanto a la Riqueza ( $H'_{\max}$ ), para la zona nerítica estudiada se obtuvo un promedio de 3.30 bits (máximo: 3.71bits, E29 y mínimo: 2.56 bits, E8). De la literatura, para la zona oceánica adyacente, en trampas de sedimento, Almaraz Ruíz (2013) reporta un promedio de 1.84 bits, con un máximo de riqueza (2.00 bits) a finales del muestreo (verano) y un mínimo (1.69 bits) en invierno. Sin embargo, en términos de riqueza no es posible hacer una comparación (febrero-julio a 5-8 septiembre de 2006) porque los periodos de muestreo y las zonas son distintas (nerítica vs oceánica) (Cupp 1934).

La Diversidad de Simpson ( $1-\lambda$ ) obtenida para nuestro estudio tuvo un valor promedio de 0.90, un máximo de 0.93 (E28) y un mínimo 0.74 (E8), es decir, hay poca diversidad. Esto es similar a lo reportado por Almaraz Ruíz (2013) en muestras de la trampa de sedimentos en la zona oceánica (promedio: 0.93, máximo: 0.967 y mínimo: 0.86), en base a esto no existe un contraste entre la zona nerítica y la oceánica, ni entre la proporcionalidad de las especies de diatomeas que contribuyen al índice ecológico durante los intervalos de muestreo del GT. Esto no implica que las especies sean las mismas, ya que las especies que integran la comunidad de diatomeas varían dependiendo de las condiciones oceanográficas.

Se sabe que los valores de Dominancia de Simpson ( $\lambda$ ) son inversamente proporcionales a la Diversidad por lo que los valores más bajos de diversidad correspondieron a los mayores de Dominancia y viceversa ( $\geq 0$  menos dominancia y cercano a 1 más dominante) (Magurran 1988, Tucker 2001, Margalef 2005). En este trabajo, para este índice se obtuvo un promedio de 0.098 (máximo: 0.25, E8 y un mínimo: 0.06, E13) lo que presenta una baja dominancia, sin embargo en la muestra E8 fue marcada la dominancia *Az. nodulifera*. La baja dominancia en la zona coincide con lo presentado por Almaraz Ruiz (2013) para la zona oceánica adyacente, periodo de muestreo febrero-julio 2006, de una trampa de sedimentos (promedio de 0.072; promedio máximo: 0.138 inicio del muestreo y mínimo: 0.033 finales del muestreo).

Finalmente, el promedio de la Equitatividad de Pielou ( $J'$ ) fue de 0.89 (máximo: 0.99, E28 y mínimo: 0.71, E8). Esto indica que las especies reportadas en este estudio contribuyeron equitativamente a la comunidad con excepción en la muestra E8, debido a que *Az. nodulifera* estuvo presente en grandes cantidades (46% de AR), mostrando gran

dominancia. Al comparar nuestros datos con los de Almaraz Ruíz (2013) (promedio de 1.15 (máximo: 1.28 y mínimo: 0.98)) se encontró que la equidad fue mayor en época de no surgencias (no tehuanos: mayo del 20 al 26 de 2006, junio del 3 al 9 de 2006 y julio del 1 al 7 de 2006), ya que la columna de agua es más estable por la estratificación y se da la formación de más nichos ecológicos para un mayor número de especies (Margalef 2005). Sin embargo, el que sea menor la equitatividad en nuestro periodo de muestreo indica que posiblemente las condiciones oceanográficas fueron más cálidas, oligotróficas y estratificadas a inicios de septiembre que de febrero-julio 2006.

Por tanto, al hacer una comparación entre los índices se observó que nos muestran una clara diferenciación espacial, partiendo al GT en dos áreas bien definidas:

- 1) el extremo NE, caracterizado por presentar las comunidades de especies dominantes (E8 y E9),
- 2) en contraste con el extremo NW, donde el lugar presentó mayor diversidad y riqueza de diatomeas (E28 y E29).

A la par, el índice de Sorensen permite observar 3 grandes grupos, era de esperarse una correspondencia casi exacta a la distribución física de los lugares muestreados, es decir separando áreas continuas. Sin embargo, en la Fig. 10, se observó que: El G1 (E20 y E23, E15 y E29, E31) y el G2 (E28 y E30, E22, E13 y E14) están mezclados, pero dentro de los grupos hay pares de muestras que son muy similares (G1: E20 y E23, E15 y E29; G2: E20 y E23), un claro ejemplo son: E15 con la E29, las cuales se ubican en zonas alejadas espacialmente; en contraste se tiene la E23 y E20 que son estaciones cercanas (es importante hacer notar que este índice solamente agrupa las estaciones por similitud de especies) y el G3 no tiene similitud alguna, en este grupo las muestras están separadas geográficamente del resto (SE, la E7 es la estación más oceánica), fueron las muestras que presentaron a *Az. nodulifera* (E7, E8) y *F. doliolus* (E9) con mayor contribución. Estas especies y la asociación con otras especies dentro de cada las muestras corresponde a especies reportadas como cálidas en indicadoras de eventos El Niño (E7: *Az. nodulifera*, *F. doliolus* y *Ac. octonarius*; E8: *Az. nodulifera*, *D. brightwellii* y *C. radiatus* y E9: *F. doliolus*, *Ac. octonarius* y *C. decrecens*) (Sanceta 1995 en el Golfo de California; Romero *et al.* 2002, 20°N, 20°W Cape Blanc, África; Esparza Álvarez 2007

en cuenca San Lázaro Baja California, México) sin embargo, al no existir estudios similares en esta zona no es posible discutir los resultados y aquí solo se hace el reporte por primera vez.

### 9.3 TSM, Clorofila a y la comunidad de diatomeas

Los valores de TSM obtenidos para septiembre de 2006 presentaron promedios diarios de 29-30°C, correspondientes a los valores promedio de TSM (29.7 °C) reportados en otros estudios para el mismo año y mismo mes (Nava Fernández 2013, Pérez Sampablo 2013), a excepción de Almaraz Ruíz (2013) que reportó un promedio máximo mensual de 31 °C para mayo. Además, con base en la literatura se obtuvo que la profundidad promedio de la termoclina fue de 70 m para el 3 de septiembre de 2006 (15.65 N, 95.23 W) y correspondió a época de no surgencia (Nava Fernández 2013); con posible dominancia de la CCCR (Reyes Hernández *et al.* 2016) y nubosidad parcial (precipitación septiembre 2006 semana<sub>2</sub>: 15.5 mm (considerado un valor bajo), Nava Fernández 2013).

De lo anterior y por la distribución de la TSM (Fig. 11- Fig. 13) obtenida en este estudio el GT se pudo clasificar en dos áreas:

Área 1: NW, donde las TSM son más bajas, 29-29.5 °C que incluye las E13-15 y E20, E22, E23, E28-E31 y de este grupo se formó un sub grupo con la E28 y E30 porque son muestras más costeras y con TSM de 30 °C muestreadas el día 7 de septiembre de 2006 y concentraciones de *Clorofila a* bajas (0.2 - 0.3 mg m<sup>-3</sup>, Fig. 14).

Área 2: NE con TSM de 30 °C, en la que están E9, E8 y E7. En términos generales, se tienen valores de TSM de 29.8 - 30 °C (Fig. 11- Fig. 13) y bajas concentraciones de *Clorofila a* (0.2 - 0.3 mg m<sup>-3</sup>, y Fig. 15), que indican condiciones oligotróficas los días 6 y 7 de septiembre de 2006.

En general, la imagen de concentración de *Clorofila a* (Fig. 15) del centro al Oeste presentó una estructura anticiclónica que captura una mancha de mayor concentración (0.4 mg m<sup>-3</sup>). Este giro es similar a lo reportado por Llunch *et al.* (1997), Kessler (2006), Trasviña (2008), Flores Vidal *et al.* (2011), Salomón Hernández (2013) y Reyes Hernández *et al.* (2016). Por otro lado, el intervalo de concentración de *Clorofila a* (0.1-

0.4 mg m<sup>-3</sup>) en el área presentó concentraciones bajas (Fig. 14 y Fig. 15) y corresponden a condiciones oligotróficas según Contreras Espinoza *et al.* (1994). Aunado a esto, de lo extraído del procesamiento de datos satelitales, Nava Fernández (2013) y Almaraz Ruíz (2013) reportan promedios semanales de esta variable. Nava Fernández (2013) obtuvo el intervalo de 0.2 – 5.1 mg m<sup>-3</sup>. El límite inferior corresponde a la segunda semana de septiembre de 2006, lo cual corresponde al intervalo obtenido en este estudio, lo que sustenta nuevamente las condiciones oligotróficas. Paralelamente, Almaraz Ruíz (2013) para el periodo 27 de mayo al 2 de junio de 2006 obtuvo un intervalo 0.1- 4.1 mg m<sup>-3</sup> con un promedio de 1.43 mg m<sup>-3</sup>, que corresponden a condiciones que van de oligotróficas a mesotróficas (Contreras Espinoza *et al.* 1994).

Por otro lado, la distribución espacial de la concentración de *Clorofila a* en el GT se puede separar en tres áreas: 1) área NW, 2) área transicional en el centro y 3) área NE, similar al patrón reportado por Llunch *et al.* (1997), Kessler (2006), Trasviña (2008), Flores Vidal *et al.* (2011), Reyes Hernández *et al.* (2015), lo cual sigue la dinámica física, separan al Golfo en dos áreas y aunque no mencionan que existe una zona transicional como tal, si describen una intermedia zona de mayor incidencia de vientos (Fig. 15, Fig. 3).

Estas áreas descritas por concentraciones de *Clorofila a* se pueden sustentar con base en la similitud de las asociaciones de diatomeas presentes en la zona nerítica del GT:

- 1) NW E28 y E30 las especies fueron *D. brightwellii*, *A. senarius*, *T. eccentrica* y *R. bergonii*. Además, en esta área presentó los mayores valores de riqueza y diversidad de especies para este estudio (Tabla IV),
- 2) parte media (zona transicional) E20 y E23, donde las especies que tuvieron una mayor contribución fueron: *Az. nodulifera* y *D. brightwellii* y por separación de concentración de *Clorofila a* se anexa la E22 donde además de las dos primeras *F. doliolus* también contribuye,
- 3) y NE con las muestras E9, E8 y E7 donde las comunidades determinadas no presentaron similitud entre ellas ni con las otras muestras, las especies más representativas fueron: *Az. nodulifera* (E7 y E8), *D. brightwellii* (E8), *F. doliolus*

(E7 y E9) y *Ac. curvatulus* (E7, E8 y E9), aunado a esto, esta zona presentó la mayor dominancia.

Del cinco al ocho de septiembre de 2006, las condiciones oceanográficas específicas que se presentaron fueron: TSM altas (28.9-30 °C) y bajas concentraciones de *Clorofila a* (0.1-0.4 mg m<sup>-3</sup>) lo que corresponde a aguas cálidas y oligotróficas. Estas favorecieron que la asociación de diatomeas tuviera las siguientes características: baja diversidad con respecto al periodo anterior (tehuanos, Almaraz Ruiz 2013, Nava Fernández 2013) y alta dominancia de las especies: *Az. nodulifera*, *D. brightwellii*, *F. doliolus*, *A. curvatulus*, *T. eccentrica* y *R. bergonii*. Es importante resaltar que este estudio se realizó en condiciones de no tehuanos (Nava Fernández 2013).

## 10. Conclusiones

Durante el periodo de muestreo del cinco al ocho de septiembre de 2006, el escenario oceanográfico que caracterizó al Golfo de Tehuantepec fue: TSM cálidas de 28.9-30 °C, bajas concentraciones de *Clorofila a* (0.1-0.4 mg m<sup>-3</sup>) y por lo tanto se infiere la profundización de la termoclina.

En cuanto a las comunidades de diatomeas asociadas a estas condiciones tenemos:

1. La riqueza de la zona para este periodo de estudio está constituida por 63 taxa de diatomeas distribuidas en 30 géneros siendo los más representativos, según su importancia fueron: *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia*, *Asteromphalus*, *Actinocyclus*, *Azpeitia* y *Thalassiosira*.
2. Treinta de las 63 taxa contribuyeron a la matriz del 75% de Abundancia Relativa, por lo que existe un alta dominancia de especies. En orden de contribución a la AR total de la comunidad de diatomeas encontramos a *Az. nodulifera*, *F. doliolus*, *D. brightwellii*, *C. marginatus*, *Ac. senarius* y *C. litoralis*.
3. En el periodo de muestreo se presentó una baja diversidad con respecto al periodo de tehuanos descrito por Nava Fernández (2013) y Almaraz Ruiz (2013) de 2006; y por lo tanto, una alta dominancia de las especies. Las especies que presentaron mayor abundancia para cada sitio muestreado fueron: *Az. nodulifera*, *D. brightwellii*, *F. doliolus*, *A. curvatus*, *T. eccentrica* y *R. bergonii*.

Fue posible dividir al GT en tres áreas en base a las concentraciones de *Clorofila a*:

1. En el área NW la riqueza y la diversidad fue la más alta con respecto a las otras áreas, las especies más representativas de estas asociaciones fueron: *D. brightwellii*, *Ac. senarius*, *T. eccentrica* y *R. bergonii*.
2. En la parte intermedia las especies que más contribuyeron a las asociaciones presentes fueron: *Az. nodulifera*, *D. brightwellii* y *F. doliolus*
3. Y en el área NE las asociaciones de diatomeas no presentan similitud entre ellas, ni entre las otras, presentan el mayor índice de dominancia con *Az. nodulifera* como la especie con mayor aportación, seguida de: *D. brightwellii*, *F. doliolus* y *A. curvatus*.

En general, las diatomeas asociadas a las condiciones oceanográficas prevalecientes (aguas cálidas, bajas concentraciones de *Clorofila a*) son: *Az. nodulifera*, *F. doliolus*, *D. brightwellii*, *C. marginatus*, *Ac. senarius*, *A. curvatulus*, *T. eccentrica* y *R. bergonii*.

## 11. Literatura citada

- Aké Castillo J.A., Hernández-Becerril, D.U., & Meave del Castillo, M.E. 1999. Species of the Genus *Thalassiosira* (Bacillariophyceae) from the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Botánica Marina* 42: 48 p.
- Almaraz Ruiz, L. 2017. Variabilidad de las surgencias en el Golfo de Tehuantepec durante el último siglo a través del registro sedimentario de las diatomeas y foraminíferos bentónicos. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 98 p.
- Almaraz Ruiz, L. 2013. Variación temporal de la comunidad de diatomeas en el noroeste del Golfo de Tehuantepec durante los meses de febrero a julio del 2006. Tesis de Licenciatura, Universidad del Mar. 69 p.
- Armstrong, H.A. & Brasier, M.D. 2005. *Microfossils*. 2da ed, Blackwell. Australia. 287 p.
- Badii, M.H., Landeros, J. & Cerna, E. 2008. Patrones de asociación de especies y sustentabilidad. *International Journal of Good Conscience* 3(1): 632-660 p.
- Barton D.E., Argote L.M., Brown P.J., Koosro M., Lavin M., Robles M.J., Smith L.S., Trasviña, A. & Velez, H.S. 1993. Supersquirt: dynamics of the Gulf of Tehuantepec. México. *Oceanography*. 6(1): 23-30 p.
- Belén Bosco, M. 2011. Estudio comparativo del metabolismo del carbono en autótrofos y heterótrofos. Caracterización de enzimas de diatomeas y sus relaciones evolutivas con otros organismos. Tesis doctorado en ciencias biológicas. Universidad Nacional del Litoral. 210 p.
- Bravo Álvarez, H., Buendía Carrera, E. & Torres Jardón, R. 1996. Meteorología de la contaminación. 423-431 p.
- Chapa Balcorta, C., Hernández Ayon, J.M., Durazo, R., Beier, E., Alin, S.R. & López Pérez, A. 2015. Influence of post-Tehuano oceanographic processes in the



- dynamics of the CO<sub>2</sub> system in the Gulf of Tehuantepec, Mexico, *J. Geophys. Res. Oceans*, 120 7752–7770 p. DOI: 10.1002/2015JC011249.
- Chapa Balcorta C. 2016. Dinámica del carbón disuelto en el Golfo de Tehuantepec. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México. 164 p.
- Colín García, M., Heredia, A., Dos Santos Rodríguez, C.T., Figueira, E., Almeida, S.F.P., Basiuk, V.A., Rodríguez Galván, A. & Vrieling, E.G. 2013. Sílice de las algas diatomeas (clase Bacillariophyceae) como material complejo y su importancia nanotecnológica. *La Granja*. 17(1): 5-15 p.
- Contreras F., Castañeda O. & García A. 1994. La clorofila a como base para un índice trófico en las lagunas costeras mexicanas. In *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Autónoma de México 2(21): 1-15 p.
- Crosta, X. & Koc, N. 2007. *Diatoms: From Micropaleontology to Isotope Geochemistry*. *Developments in Marine Geology I*. Elsevier. 327-369 p.
- Cupp, E.E. 1943. Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. *Bull Scripps Inst. Oceanography*. 5 (1): 1-238 p.
- Esparza Alvarez, M.A. 1999. Variabilidad de la comunidad de diatomeas en los sedimentos de la Cuenca de San Lázaro, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. CICESE Ensenada. 87 p.
- Esparza Álvarez, M.A. 2007. Variabilidad decadal de las diatomeas en los sedimentos laminados de la Cuenca de San Lázaro en el sur de la Corriente de California: el último siglo. Tesis de Doctorado. CICESE, Ensenada. 250 p.
- Ferrario M.E., Eugenia S.A & Sala E.S. 1995 *Metodología Básica para el estudio de fitoplancton con especial referencia a las diatomeas*. Manual de métodos ficológicos. Universidad de Concepción Chile, 2-3 p.
- Flores Vidal, X., Durazo, R., Chavanne, C., & Flament, P. 2001. Circulación costera en ausencia de viento en el Golfo de Tehuantepec, México: Observaciones con radares de alta frecuencia, *Ciencias Marinas*. 37(4): 493-512 p.

- Gómez Lizárraga, L.E. 2011. Variabilidad climática en el sur del Golfo de California, durante los últimos 1800 años: patrones y posibles causas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 127 p.
- Harris, G.P. 1986. Phytoplankton Ecology. Structure, Function and Fluctuation. Chapman and Hall, Cambridge. 1: 1-327 p. ISBN 978-94-009-3165-7.
- Hernández Almeida, O.U. & Siqueiros Beltrones, D.A. 2008. Variaciones en la estructura de asociaciones de diatomeas epifitas de macroalgas en una zona subtropical. Hidrobiología. 18(1):51-61 p.
- Hernández Becerril, D.U. 2000. Morfología y taxonomía de algunas especies de diatomeas del género *Coscinodiscus* de las costas del Pacífico mexicano. Rev. Biol. Trop. 48(1): 7-14 p.
- Hernández Becerril, D.U. & Parra Ortiz, D. 2015. Catálogo de especies de fitoplancton marino del Pacífico Mexicano. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. KT006. México D.F 1-69 p.
- Hernández Becerril, D.U. & Salazar Paredes, J. 2012. Biodiversidad del microfitoplancton marino de la zona económica exclusiva limítrofe del Pacífico central mexicano. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Base de datos SNIB-CONABIO proyecto No. HJ005. México, D.F 1-13 p.
- Herrera Hernández, P. 2009. Morfología, taxonomía y ecología de diatomeas planctónicas de las familias Rhizosoleniceae y Probosciceae (Coscinodiscophyceae) en el Pacífico Tropical Mexicano. Tesis de Licenciatura. UMSNH, 89 p.
- Kessler, W.S. 2006. The circulation of the Eastern Tropical Pacific: A review. Program. Oceanography. 69: 181-217 p.
- Lange, C.B., Berger, W.H., Burke, S.K & Casey, R.E., Schimmelman, A., Soutar, A. & Weinheimer, A.L. 1987. El Niño in Santa Barbara Basin: Diatom, Radiolarian and

- Foraminifera responses to the “1983 El Niño” event. *Marine Geology*. 78: 153-160 p.
- Lara Lara, J.R., Arenas Fuentes, V., Bazán Guzmán, C., Díaz Castañeda, V., Escobar Briones, E., García Abad, M de C., Gaxiola Castro, G., Robles Jarero, G., Sosa Ávalos R., Soto González, L.A., Tapia García M., Valdez Holguín J.E. 2008. Los ecosistemas marinos, en *Capital natural de México, Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México. 1: 135-159 p.
- Lluch Cota, S.E., Müller Karger, F.E., Santamaría del Ángel, E.M., Álvarez Borrego, S., & Hernández Vázquez, S. 1997. El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: variación espaciotemporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. *Ciencias Marinas*. 23(3): 329-340 p. <http://dx.doi.org/10.7773/cm.v23i3.809>
- López Fuerte, F.O. & Siqueiros Beltrones, D.A. 2006. Distribución y estructura de comunidades de diatomeas en sedimentos de un sistema de manglar. *Hidrobiológica*. 16 (1): 23-33 p.
- López Fuerte, F.O. 2002. Estructura de las asociaciones de diatomeas epífitas en raíces de *Rhizophora mangle*. En Bahía Magdalena, BCS, México. B.Sc. Thesis, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México, 56 p.
- Magurran, A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. New Jersey. 179 p.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona, España. 1009: 110 p. <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.6.1349b>
- Margalef, R. 2005. *Ecología*. Omega. Barcelona, España. 951 p.
- Meave del Castillo, M.E. 2002. Diatomeas planctónicas del Océano Pacífico de México. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H176. México, D. F. 98 p.
- Meave del Castillo, M.E. 2009. Dinoflagelados y diatomeas del Pacífico Tropical Mexicano. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DJ022. México, D. F. 45 p.

- Medlin, L.K. & Desdevises, Y. 2016. Phylogeny of “araphid” inferred from SSU and LSU rDNA, *RBCLAND PSBA* sequences. *VIE ET MILIEU - LIFE AND ENVIRONMENT*. 66 (2): 129-154 p.
- Moreno Gutiérrez, S.P. 2008. Estudio morfológico y taxonómico de diatomeas planctónicas del género *Pseudonitzschia* Peragallo (Bacillariophyceae) en el Golfo de Tehuantepec, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 61p.
- Moreno Ruiz, J.L., Tapia García, M., González Macías, M.C & Figueroa Torres M.G. 2008. Fitoplancton del río Tehuantepec, Oaxaca, México y algunas relaciones biogeográficas. *Rev. Biol. Trop.* 56(1):27-54 p.
- Moreno Ruiz, J.L., Tapia García, M., Licea, S., Figueroa Torres, M.G., Esquivel, A., Herrera Galindo, J.E., González Fernández, J.M. & González Macías, M.C. 2011. Ecological composition and distribution of the diatoms from the Laguna superior, Oaxaca, Mexico. *Journal of Environmental Biology*. 32 (1): 425-442 p.
- Mohtadi, M., Romero, O. E., & Hebbeln, D. 2004. Changing marine productivity off northern Chile during the past 19 000 years: a multivariable approach. *Journal of Quaternary Science*, 19(4): 347-360 p.
- Nava Fernández, X.A. 2013. Respuesta de los foraminíferos planctónicos a las variaciones oceánicas del periodo 2006-2009 en el noroeste del Golfo de Tehuantepec. Tesis de maestría, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 1-208 p.
- OMS. Organización Mundial de la Salud. 2018. Cambio climático y salud humana, Diversidad biológica  
<https://www.who.int/globalchange/ecosystems/biodiversity/es/> 21/01/19
- Ortega García, S., Trigueros Salmeron, J.A., Lluch Cota, S.E. 2000. El Golfo de Tehuantepec como un centro de actividad biológica y su importancia en las pesquerías. BAC: Centros de actividad biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR, CICIMARIPN, CONACyT, México, 335-356 p.

- Patrick, R. 1948. Factors effecting the distribution of diatoms. Academy of Natural Sciences of Philadelphia. 14 (8): 473-524 p.
- Pielou, E.C. 1975. University of Michigan. Digitized, Feb 23, 2010. 165 p. ISBN, 0471689254, 9780471689256.
- Reyes Hernández, C., & Murad, P. 2005. Estructura hidrográfica del Golfo de Tehuantepec en septiembre de 2004: crucero TEHMAL04. En: oceanografía y meteorología del Golfo de Tehuantepec, GEOS, noviembre. 2016. 1(15)
- Reyes Hernández, C., Ahumada Sempoal, M.A., & Durazo, R. 2016. The Costa Rica coastal current, eddies and wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, southern Mexican Pacific. *Continental Shelf Research*. 1–15 p.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2015.12.012>
- Riley, J.P & Chester, R. 1989. *Introducción a la Química Marina*, AGT, México, 459 p.
- Romero, O. E., Lange, C. B. & Wefer, G. 2002. Interannual variability (1998-1991) of siliceous phytoplankton fluxes off northwest Africa. *Journal of Plankton Research*. 24: 1035-1046 p.
- Romero, O., Boeckel, B., Donner, B., Lavik, G., Fischer, G., & Wefer, G. 2002. Seasonal productivity dynamics in the pelagic central Benguela System inferred from the flux of carbonate and silicate organisms. *Journal of Marine Systems*. 37(4): 259-278 p.
- Romero, O., & Hensen, C. 2002. Oceanographic control of biogenic opal and diatoms in surface sediments of the Southwestern Atlantic. *Marine Geology*. 186 (3-4): 263-280 p.
- Romero, O., & Hebbeln, D. 2003. Biogenic silica and diatom thanatocoenosis in surface sediments below the Peru–Chile Current: controlling mechanisms and relationship with productivity of surface waters. *Marine Micropaleontology*. 48 (1-2): 71-90 p.
- Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G. 1990. *The diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge and New York. 1-98 p. ISBN: 0-521-36318-7.

- Sancetta, C. 1995. Diatoms in the Gulf of California: seasonal flux patterns and the sediment record for the last 15000 years. *Paleoceanography*. 10(1): 67-84 p.
- Schrader, H. J., & Gersonde, R. 1978. Diatoms and silicoflagellates. En: Zachariasse, A., et al., (eds). *Micropaleontological counting methods and techniques-An exercise on an eight meters section of the Lower Pliocene of Capo Rossello, Italy*. Utrecht Micropaleontology Bulletin. 17: 129-176 p.
- Seckbach, J., & Kociolek, P. 2011. *The diatom world*. Springer Science & Business Media. 19(19): 5775 p. DOI 10.1007/978-94-007-1327-7
- Simonsen, R. 1974. *The diatom system: ideas on phylogeny*. Bacillaria. ISBN 978-3-443-20019-0. 66
- Sorensen, T. 1948. *A Method of Establishing Groups of Equal Amplitudes in Plant Sociology Based on Similarity of Species Content and Its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons*. Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Biologiske Skrifter, 5: 1-34 p.
- Strickland, J. D. & Parsons, T. R. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. 2(1): 207 p.
- Tapia García, M., García Abad, M.C., Carranza Edwards, A., & Vazquez Gutiérrez, F. 2007. Environmental characterization of the continental shelf Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geofísica Internacional*. 46(4): 246-260 p.
- Tobón Velázquez, N.I. 2015. *Reconstrucción paleoclimática del Golfo de Tehuantepec determinado por el registro sedimentario de diatomeas durante el Pleistoceno tardío-Holoceno*. Tesis de Licenciatura. Facultad de ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 71 p.
- Tomas, R.C. 1997. *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press, Florida Marine Research Institute. St. Petersburg, Florida. 858 p.
- Trasviña, A. & Barton, E.D. 1997. Los “Nortes” del Golfo de Tehuantepec: La circulación costera inducida por el viento M.F Lavín. *Contribuciones a la*

- Oceanografía Física en México. Monografía Unión Geofísica Mexicana. 3: 25-46 p.
- Tucker, M.E. 2001. Sedimentary Petrology. An Introduction to the origin of sedimentary rocks. Blackwell Sci. Publ, Oxford. 3: 262 p.
- Vásquez Bedoya, L. F., Radi, T., Ruiz Fernández, A.C., De Vernal, A., Machain Castillo, M. L., Kielt, J. F & Hillaire Marcel, C. 2008. Organic walled dinoflagellate cysts and benthic foraminifera in coastal sediments of the last century from the Gulf of Tehuantepec, South Pacific Coast of Mexico. *Marine Micropaleontology*, 68(1): 49-65 p.
- Werner, D. 1977. The biology of diatoms. Bot. Monogr. University of California Press. 13: 200 p.
- Woolrich Arrijoja, A. 2016. Catalogo Diatomológico de la Costa de Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Del Mar. 210 p.
- Romero Centeno, R de L. 2001. Modelo matemático para la caracterización del viento en el Istmo de Tehuantepec. Tesis de Matemática. 96 p.
- Velázquez Muñoz F.A., Martínez J.A., Chavanne C., Durazno R. & Flament P. 2011. Wind-driven coastal circulation in the Gulf of Tehuantepec, México. *Ciencias Marinas*. 37(4) 443-456 p.

## 12. Anexos

Anexo I. Listado de especies presentes en el Golfo de Tehuantepec, campaña oceanográfica TEHUA IV, septiembre 2006, arrastre vertical, profundidad máxima de arrastre: 100m.

ESPECIES	No de la estación de muestreo												
	7	8	9	13	14	15	20	22	23	28	29	30	31
<i>Actinocyclus curvatus</i> Janisch 1874	X				X		X	X	X				
<i>Actinocyclus octonarius</i>	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Actinocyclus tenuissimus</i> Cleve, 1878							X		X				
<i>Actinoptychus minutus</i> Greville 1866										X			
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1843		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Actinoptychus sp.</i>							X						
<i>Actinoptychus splendens</i> (Shadbolt) Ralfs ex Pritchard 1861				X									
<i>Actinoptychus splendens</i> (Shadbolt) Ralfs ex Pritchard 1861										X			
<i>As. elegans</i> Greville 1859				X		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>As. flabellatus</i> (Brébisson) Greville 1859					X					X	X		
<i>As. heptactis</i> (Brébisson) Ralfs in Pritchard 1861					X				X				
<i>As. roundii</i> D. Hernández-Becerril	X							X			X		
<i>Asteromphalus arachne</i> (Brébisson) Ralfs in Pritchard 1861		X		X		X	X	X	X			X	
<i>Asteromphalus sp.</i>					X		X				X		
<i>Azpeitia africana</i> (Janisch ex A. Schmidt) G.Fryxell & T.P.Watkins 1986									X				X
<i>Azpeitia barronii</i> G.Fryxell & T. P.Watkins 1986											X		
<i>Azpeitia neocrenulata</i> (S.L.Van Landingham) G.Fryxell & T.P.Watkins 1986				X	X		X					X	
<i>Azpeitia nodulifera</i> (A.W.F.Schmidt) G. Fryxell & P. T. Sims 1986	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Bacteriastrum delicatulum</i> Cleve 1897						X							
<i>Bacteriastrum furcatum</i> Shadbolt 1854							X			X	X	X	X
<i>Bacteriastrum sp.</i>									X		X	X	
<i>Biddulphia alternans</i> (Bailey) Van Heurck 1885					X	X	X		X	X		X	X
<i>Biddulphia tridens</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1841										X			
<i>Ch. lorenzianus</i> Grunow 1863 ( <i>o</i> ) <i>mannai</i>						X							X



Continuación Anexo I

<i>Ch. protuberans</i> Lauder, 1864.												X
<i>Chaetoceros</i> sp				X								
<i>Cocconeis discrepans</i> A.W.F.Schmidt 1894										X		
<i>Cocconeis scutellum</i> var. minutissima Grunow 1880									X		X	
<i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg 1844			X		X		X	X		X		X
<i>Coscinodiscus decrescens</i> Grunow 1878			X			X	X	X		X	X	X
<i>Coscinodiscus gigas</i> Ehrenberg 1841: 412							X			X	X	X
<i>Coscinodiscus granii</i> Gough 1905	X								X			X
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg 1844?						X	X				X	X
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1840		X			X	X	X	X	X		X	X
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg 1840	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X
<i>Coscinodiscus</i> sp							X	X	X			
<i>Coscinodiscus wailesii</i> Gran & Angst 1931		X					X		X		X	
<i>Cyclotella litoralis</i> Lange & Syvertsen 1989	X		X	X		X		X	X	X	X	X
<i>Diploneis decipiens</i> A.Cleve 1915												X
<i>Diploneis weissiflogii</i>										X	X	X
<i>Ditylum brightwellii</i> (T.West) Grunow in Van Heurck 1885	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
espora de chaetoceros						X				X		X
<i>Fragilariopsis doliolus</i> (Wallich) Medlin & P.A.Sims 1993	X		X	X		X		X	X	X	X	X
<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow ex Van Heurck 1882	X	X			X	X	X		X		X	X
<i>Hemidiscus cuneiformis</i> var. cuneiformis Wallich, 1860	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X
<i>Lyrella</i> sp											X	
<i>Neocalyptrella robusta</i> (Hernandez-Becerril)				X	X	X			X	X	X	X
<i>Nitzschia bicapitata</i> Cleve 1901	X		X	X	X	X		X		X	X	X
<i>Nitzschia</i> sp.		X					X		X			
<i>Odontella mobiliensis</i> (Trieres <i>mobiliensis</i> ) (J.W.Bailey) Grunow 1884												X
<i>Odontella regia</i> (Trieres regia) (M.Schultze) M.P.Ashworth & E.C.Theriot												X
<i>Opephora</i> sp.											X	
<i>Planktoniella sol</i> (C.G.Wallich) Schütt 1892	X		X				X	X	X			
<i>Pleurosigma directum</i> Grunow in Grunow & Cleve 1880			X		X	X					X	
<i>Pleurosigma inflatum</i> Shadbolt										X	X	X

Continuación Anexo I

<i>Pleurosigma sp.</i>					X								
<i>Porosira denticulata</i> simonsen 1974										X			
<i>Rhizosolenia bergonii</i> H.Peragallo 1892			X	X		X		X		X	X	X	X
<i>Rhizosolenia clevei</i> var. <i>communis</i> Sundström 1984					X	X		X					
<i>Rhizosolenia crassispina</i> J.L.B.Schröder 1906: 345					X		X		X	X	X	X	X
<i>Rhizosolenia decipens</i>										X	X		
<i>Rhizosolenia fallax</i>					X			X	X	X			X
<i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightwell 1858										X			
<i>Rhizosolenia pungens</i> Cleve-Euler 1937					X		X	X	X				
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell 1858							X				X		
<i>Rhizosolenia sp.</i>	X		X		X			X	X				
<i>Roperia tessellata</i> (Roper) Grunow ex Pelletan 1889	X		X	X	X	X		X		X	X	X	X
<i>Stellarima stellaris</i> (Roper) G.R.Hasle & P.A.Sims 1986							X		X	X	X	X	X
<i>Surirella fastuosa</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1843	X						X						
<i>Th. nitzschiodes</i> (Grunow) Mereschkowsky 1902	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Thalassiosira aguste-lineata</i> Jousé 1968				X						X			
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i> (A.Schmidt) G.Fryxell & Hasle 1977			X		X		X		X				
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve, 1903	X		X	X		X	X	X		X	X	X	X
<i>Thalassiosira punctifera</i> (Grunow) Fryxell, Simonsen & Hasle in Simonsen 1974				X		X			X				
<i>Thalassiosira sp.</i>			X	X		X	X					X	
<i>Thalassiosira sp.a</i>			X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Thalassiosira sp.b</i>			X	X		X	X		X	X			X
<i>Thalassiosira sp.c</i>						X			X	X			
<i>Thalassiothrix sp</i>		X											X
<i>Trieres sinensis</i>			X						X				

Anexo II. Matriz de Abundancias Relativas del 75%

Especies/Estaciones	E7	E8	E9	E13	E14	E15	E20	E22	E23	E28	E29	E30	E31
<i>Actinocyclus curvatulus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	5.56	0.00	0.00	2.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Actinocyclus octonarius</i>	13.92	6.58	12.10	6.72	0.00	12.79	0.00	0.00	8.41	8.44	0.00	0.00	0.00
<i>Actinoptychus senarius</i>	0.00	0.00	0.00	5.46	0.00	0.00	0.00	11.31	0.00	15.96	12.29	11.62	12.15
<i>Azpeitia africana</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44
<i>Azpeitia neocrenulata</i>	0.00	0.00	0.00	3.78	3.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	0.00
<i>Azpeitia nodulifera</i>	17.72	44.08	0.00	13.03	7.22	5.71	9.30	14.03	28.97	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Bacteriastrum furcatum</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.52	0.00
<i>Coscinodiscus centralis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65	3.17	0.00	4.95	0.00	0.00	0.00
<i>Coscinodiscus decrescens</i>	0.00	0.00	9.68	0.00	0.00	11.43	4.65	5.43	0.00	8.62	0.00	0.00	0.00
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.06	0.00	0.00	0.00	0.00	13.14	0.00	5.01
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	11.11	0.00	13.37	0.00	6.85	0.00	3.39	0.00	0.00
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	8.86	8.55	0.00	7.14	0.00	0.00	8.14	0.00	0.00	6.79	6.99	0.00	0.00
<i>Coscinodiscus wailesii</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cyclotella litoralis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.17	0.00	0.00	9.32	16.79	0.00
<i>Ditylum brightwellii</i>	0.00	21.05	0.00	0.00	15.00	0.00	13.95	4.52	12.15	8.44	0.00	10.65	7.91
<i>Fragilariopsis doliolus</i>	17.72	0.00	23.39	11.34	0.00	0.00	0.00	15.38	0.00	0.00	0.00	4.68	9.45
<i>Hemiaulus hauckii</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	6.23	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	0.00	0.00	8.06	7.98	0.00	11.97	0.00	0.00	0.00	3.49	0.00	0.00	0.00
<i>Nitzschia bicapitata</i>	5.06	0.00	0.00	0.00	0.00	3.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nitzschia sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65	0.00	3.43	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.69	3.39	11.95	8.87
<i>Rhizosolenia crassispina</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.38
<i>Rhizosolenia decipens</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.51	0.00	0.00
<i>Rhizosolenia fallax</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.63
<i>Rhizosolenia pungens</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	3.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Roperia tessellata</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	5.56	0.00	4.07	0.00	3.43	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Stellarima stellaris</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85	6.57	0.00	5.01
<i>Th. Nitzschiodes</i>	6.33	0.00	0.00	0.00	0.00	12.52	0.00	7.69	0.00	0.00	9.96	10.33	8.49
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	14.44	0.00	9.30	0.00	6.23	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	7.59	0.00	4.84	8.82	0.00	0.00	0.00	4.52	0.00	6.61	5.72	3.71	0.00
<i>Thalassiosira sp.</i>	0.00	0.00	16.94	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Thalassiosira sp.a</i>	0.00	0.00	0.00	7.98	0.00	6.26	0.00	5.43	0.00	5.14	0.00	0.00	0.00

Anexo III. Distribución geo-espacial de la distribución de especies en el GT.

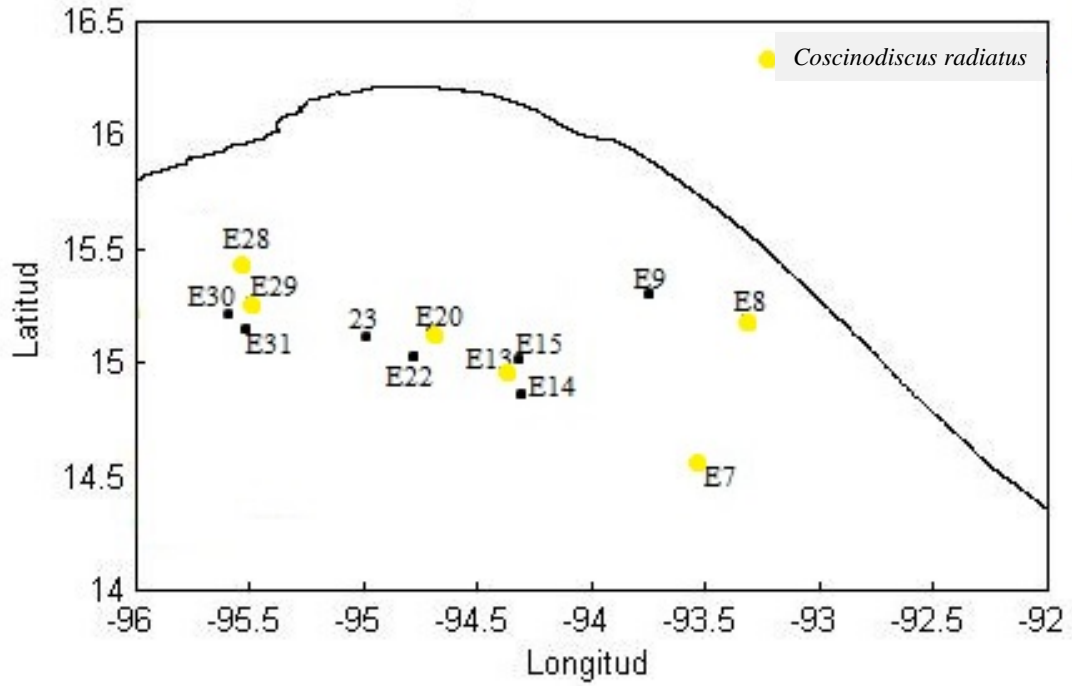


Fig. 16 Distribución espacial de *Coscinodiscus radiatus*

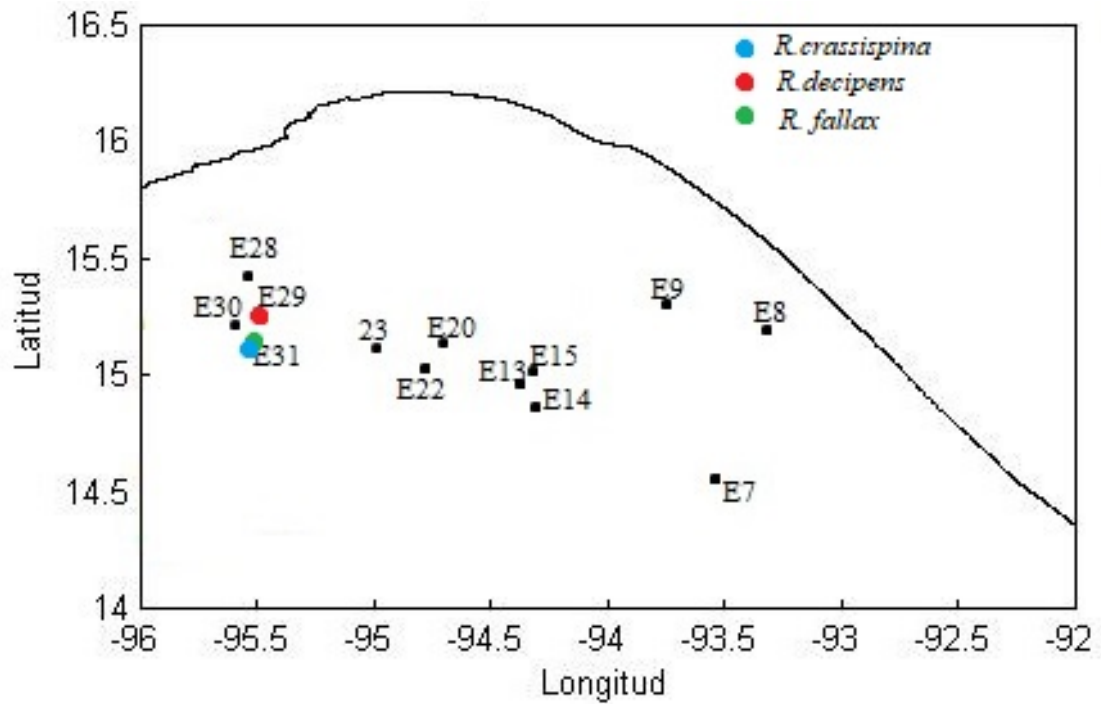


Fig. 17 Distribución espacial de *R. crassispina*, *R. decipens* y *R. fallax*

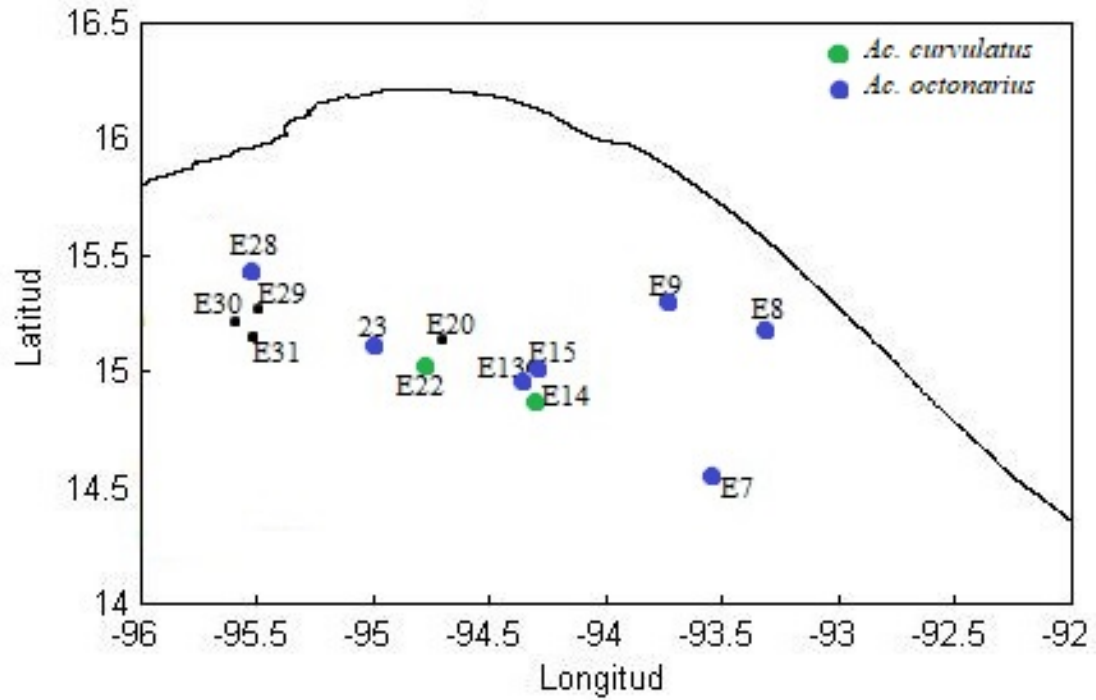


Fig. 18 Distribución espacial de *Ac. curvulatus* y *Ac. octonarius*

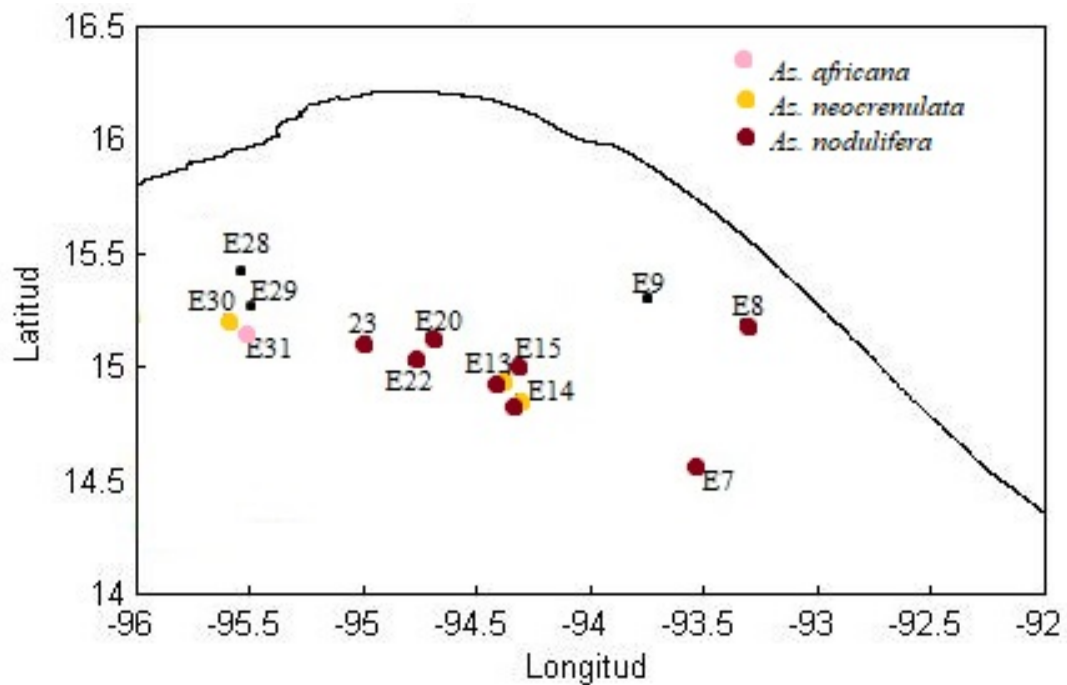


Fig. 19 Distribución espacial de *Az. africana*, *Az. neocrenulata* y *Az. nodulifera*

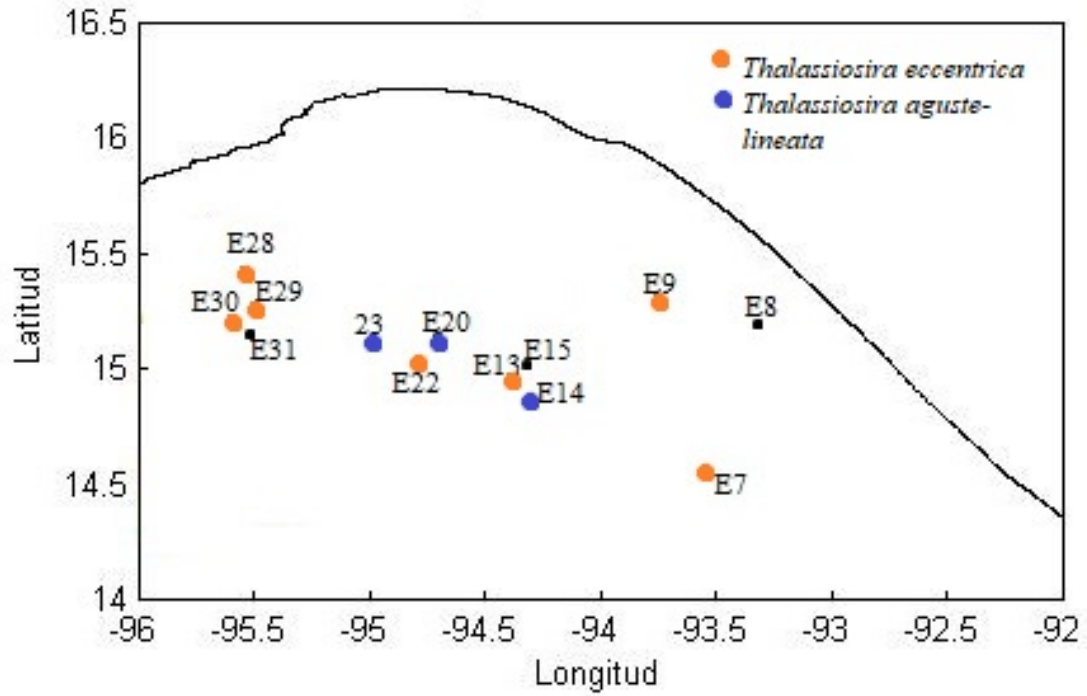


Fig. 20 Distribución espacial de *T. eccentrica* y *T. aguste-lineata*

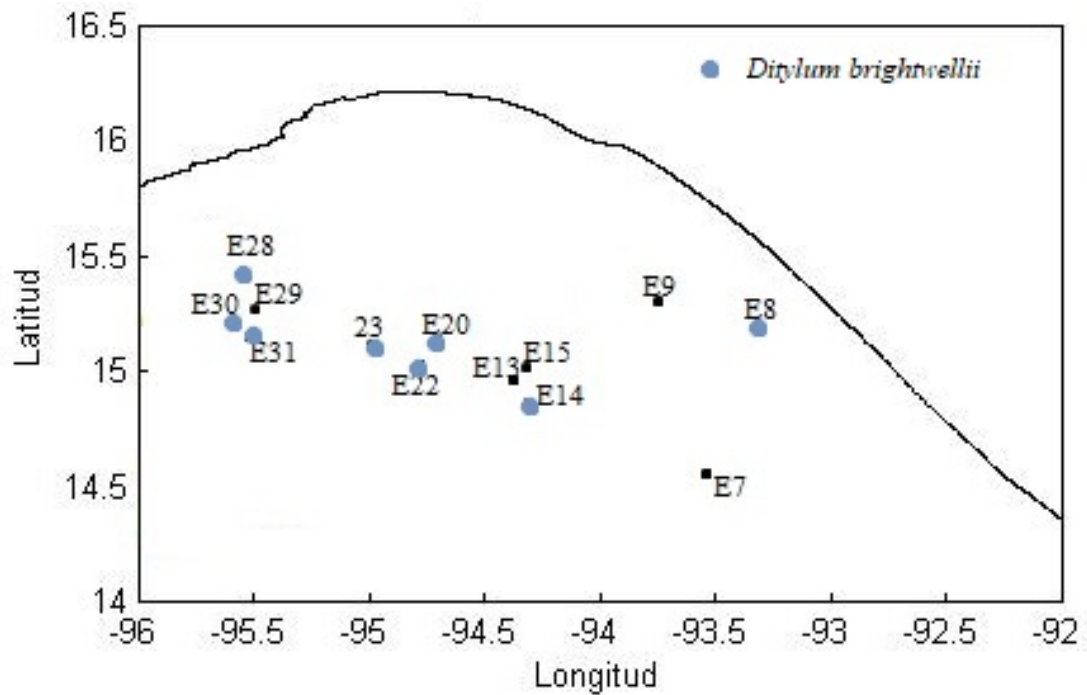


Fig. 21 Distribución espacial de *Ditylum brightwellii*

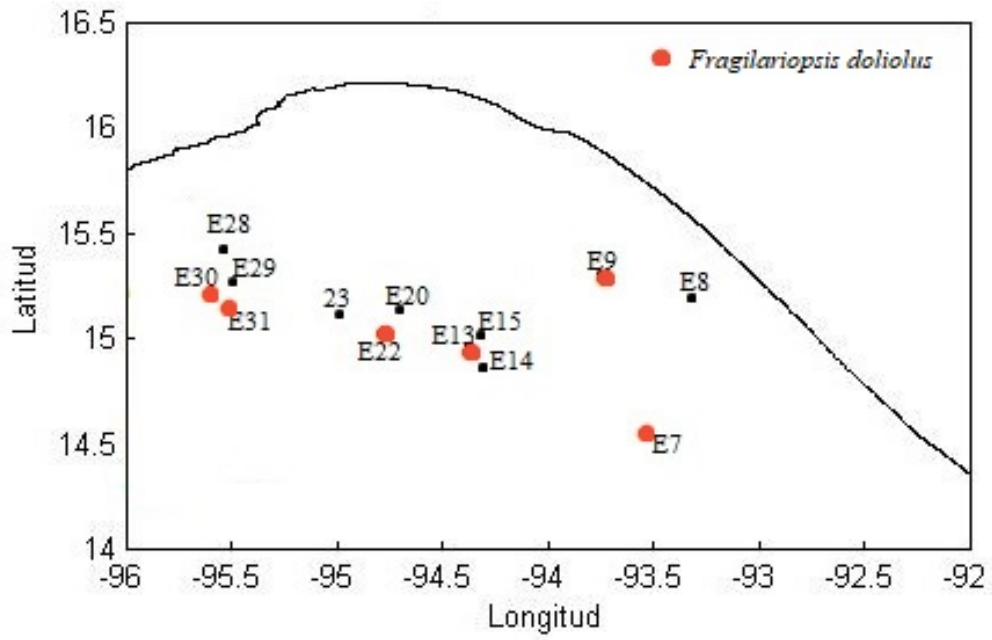


Fig. 22 Distribución espacial de *Fragilariopsis doliolus*