

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**CARRERA DE BIOLOGÍA**

**Estudio morfológico y taxonómico de diatomeas  
planctónicas del género *Pseudonitzschia* Peragallo  
(Bacillariophyceae) en el Golfo de Tehuantepec, México.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**BIÓLOGA**

**PRESENTA**

**SARA PATRICIA MORENO GUTIÉRREZ**

**Director de Tesis: Dr. David Uriel Hernández Becerril.**

**Asesor: Biol. Angélica Elaine González Schaff.**

**México D. F., Noviembre de 2008.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA:

Con mucha gratitud y amor dedico mi trabajo de tesis a una mujer admirable de gran impacto y corazón generoso que me hizo espacio por nueve meses dentro de su ser para darme un espacio a parte sin dejar de estar junto a mí cerca y a distancia. A quien confió en mí desde que recuerdo y supo apreciarme desde mi interior como ser, a quien más allá de hacer su papel tan especial, fue aún más a fondo hasta transformarse en mi gran amiga. Hoy desde lo intangible y eterno me siente y me espera. Por ser muestra de la fortaleza cuando fuerzas ya no hay, que con verla en medio de las adversidades siempre me inspiró que todo es posible, de manera que ni el desánimo te detiene por que se puede transforma en ánimo y nuevo aliento con empuje para continuar: A Sarita Gutiérrez Sánchez.

A mi papá que ha sabido enfrentar y vencerse así mismo y ha adquirido sabiduría para seguir marcando una ruta de vida para vivir mejor, a mi papá Fernando Laurentino Moreno Nocedal.

A mis hermanos, cada uno muy especial: Lauro Arturo, Jorge, Roberto, Francisco Javier, y Héctor Hugo y a mi querida y talentosa hermana: Yesy.

A cada uno de mis sobrinos y sobrinas que me han dado mucho desde pequeños hasta hoy: Luis, Jorge, Andrea, Roberto, Mathew, Charly, Abraham, Christopher, Brian, Yunnuen, Gema, Celene, Marco Polito y Joseph.

A personas que con ahínco realizan su trabajo comprometidos con su gente, poniendo a su servicio el conocimiento, paciencia, recursos y el entendimiento, a los colaboradores del INP: Sofía Barón, Norma Juárez y Casimiro Ramírez, a los colaboradores del CRIP de Salina Cruz, Oax.

## AGRADECIMIENTOS:

Reconozco en primer lugar a Dios cuyas obras son formidables, por llevarme a cumplir este sueño.

A Sofí Barón por su cálida amistad, por compartirme el conocimiento del fitoplancton marino e invitarme al curso.

Al Dr. David Uriel Hernández Becerril, quien me compartió la oportunidad de aprender y conocer más a fondo sobre el cautivante fitoplancton junto con su paciente dirección, confianza, amistad, amabilidad y su apoyo en todos los recursos para desarrollarla técnica y académicamente. A su apreciable familia que nos recibió con ánimo y aprecio en su hogar, siempre tan cálido.

Al Capitán de altura: Pascual Barajas, a la experimentada tripulación a bordo del Buque El Puma; al Jefe de campaña, Hidrobiólogo Gabriel González en la colecta del Crucero Oceanográfico Tehua IV 2006 y a la Dra. Ma. Luisa Machain Castillo por extender la invitación para participar en dicho crucero.

A la Biol. Yolanda Hornelas Orozco que con gran pericia al Microscopio Electrónico de Barrido en el ICMYL, hizo posible la captura de imágenes especiales sobre *Pseudonitzschia*.

A la Dra. Araceli Patrón Soberano, a la Biol. Rosa Ma. Picasso Hernández y al Médico Rodolfo Paredes Díaz, por todos los apoyos técnicos y materiales para la realización de la Microscopía Electrónica de Transmisión y tips fotográficos, en el IFC.

A la Biól. Angélica González Schaff por sus observaciones y paciencia para continuar; al ánimo de profesores de la FES Zaragoza con quienes aprendí y conviví durante mi formación.

A mis amigas(os) que me animaron a retomar y realizar el sueño de este trabajo: A Araceli Martínez Escamilla, Ana Añorbe, Blanca, Yabeth Gutiérrez, Angy Vértiz, Norma Juárez, Casimiro Ramírez, Omar Gutiérrez, Hugo Venegas, Toño Torres, a Octavio Fernández, Francisco Villalpando, y Marco Paredes, por su inspiración; a Norma de la Cruz, por tu alojamiento especial; a Vladimir Garrido por su asesoría en la terminación del esquema, y Azucena Hernández, a ambos por su amistad.

A mis compañeros de Laboratorio, Sergio Escobar, Karina Esqueda y Mónica Rodríguez, por su compañía, puntos de vista, retroalimentación y días de compartir el refrigerio.

## PENSAMIENTOS:

Las dificultades son excelentes oportunidades de reconocernos y de crear soluciones que con ánimo podemos ejecutar y ayudar o ser parte de las soluciones. La satisfacción cuando llega nos hace volar y nos nutre cada vez que la recordamos. Vienen otras circunstancias y otros tiempos con sus propias complejidades pero están vigentes la actitud de enfrentar y de volver a crear para resolver. La perseverancia es una gran herramienta para lograr lo que uno quiere alcanzar. Caminar con la fe y la acción, van creando una visión que da fuerza para caminar más lejos y hacer el bien a muchos.

# ÍNDICE

<b>RESÚMEN</b> .....	i
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1) JUSTIFICAIÓN.....	2
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	2
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
3.1) CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS DIATOMEAS.....	4
3.2) EL GÉNERO <i>Pseudonitzschia</i> Peragallo.....	6
3.2.1) Caracteres morfológicos con valor taxonómico del género.....	6
3.2.2) Esquema básico de una valva de <i>Pseudonitzschia</i> .....	7
3.2.3) Caracteres que diferencian a las especies.....	8
3.2.4) Concepto de especie críptica.....	8
<b>4. OBJETIVO</b> .....	10
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS PARTICULARES.....	10
<b>5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	10
5.1) TEMPERATURA.....	12
5.2) CLIMA.....	12
5.3) SURGENCIA EÓLICA.....	13
5.4) BATIMETRÍA.....	14
<b>6. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	15
6.1) TRABAJO DE CAMPO.....	15
6.2) TRABAJO DE LABORATORIO.....	15
6.2.1) Selección de muestras.....	15
6.2.2) Limpieza de diatomeas.....	15
6.2.3) Montaje permanente en Naphrax.....	16
6.2.4) Observaciones en Microscopía de Luz (ML).....	16
6.2.5) Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).....	16
6.2.6) Microscopía Electrónica de Transferencia (MET).....	16
6.3) TRABAJO DE GABINETE.....	17
6.4) DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS ACTIVIDADES.....	18
<b>7. RESULTADOS</b> .....	19
7.1) MUESTRAS ANALIZADAS.....	19
7.2) CARACTERES MORFOLÓGICOS Y TAXONÓMICOS.....	20
7.3) MORFOMETRÍA DE LAS ESPECIES DETERMINADAS.....	20
7.4) DISTRIBUCIÓN.....	22
7.5) LISTADO DE ESPECIES REGISTRADAS EN ESTE ESTUDIO.....	25
7.6) DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES REGISTRADAS.....	25
1.- <i>Pseudonitzschia delicatissima</i> .....	25
2.- <i>P. dolorosa</i> .....	26
3.- <i>P. fraudulenta</i> .....	27

4.- <i>P. heimii</i> .....	28
5.- <i>P. inflatula</i> .....	28
6.- <i>P. lineola</i> .....	29
7.- <i>P. pseudodelicatissima</i> .....	30
8.- <i>P. pungens</i> .....	30
9.- <i>P. roundii</i> .....	31
10.- <i>P. subfraudulenta</i> .....	32
7.7) FIGURAS DE LAS ESPECIES REGISTRADAS.....	34
<b>8. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	47
8.1) DIVERSIDAD DE LAS ESPECIES.....	47
8.2) FLORA EN REGIONES VECINAS.....	49
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	50
<b>10. LITERATURA CITADA</b> .....	52
<b>11. ANEXOS</b> .....	56
ANEXO 1: TABLAS DE COORDENADAS.....	56
ANEXO 2: TERMINOLOGÍA UTILIZADA.....	58
ANEXO 3: RECOMENDACIONES.....	60
ANEXO 4: FOTOS DE LA COLECTA.....	61

**ÍNDICE DE FIGURAS DE LAS ESPECIES REGISTRADAS EN ESTE ESTUDIO.**

<b>Fig. 7.-</b> <i>Pseudonitzschia delicatissima</i> .....	34
<b>Fig. 8.-</b> <i>P. dolorosa</i> .....	35
<b>Fig. 9.-</b> <i>P. fraudulenta</i> .....	36
<b>Fig. 10.-</b> <i>P. heimii</i> .....	37
<b>Fig. 11.-</b> <i>P. inflatula</i> .....	38
<b>Fig. 12.-</b> <i>P. lineola</i> .....	39
<b>Fig. 13.-</b> <i>P. pseudodelicatissima</i> .....	40
<b>Fig. 14.-</b> <i>P. pungens</i> .....	41
<b>Fig. 15.-</b> <i>P. pungens</i> .....	42
<b>Fig. 16.-</b> <i>P. pungens</i> .....	43
<b>Fig. 17.-</b> <i>P. roundii</i> .....	44
<b>Fig. 18.-</b> <i>P. subfraudulenta</i> .....	45
<b>Fig. 19.-</b> <i>P. subfraudulenta</i> .....	46

**ÍNDICE DE TABLAS Y OTRAS FIGURAS**

<b>Tabla 1.</b> Especies de <i>Pseudonitzschia</i> reportadas como productoras de ácido domóico.....	3
<b>Tabla 2.</b> Carácteres morfológicos de las 10 especies determinadas de <i>Pseudonitzschia</i> en el área de estudio.....	20
<b>Tabla 3.</b> Tabla morfométrica de las especies determinadas en el Golfo de Tehuantepec.....	21
<b>Tabla 4.</b> Registro de estaciones y campañas oceanográficas donde se encontraron las especies de <i>Pseudonitzschia</i> .....	22
<b>Fig. 1.-</b> Esquema básico de una valva de <i>Pseudonitzschia</i> .....	7
<b>Fig. 2.-</b> Ubicación del Golfo de Tehuantepec.....	11
<b>Fig. 3.-</b> Batimetría del Golfo de Tehuantepec.....	14
<b>Fig. 4.-</b> Mapa de distribución de estaciones de PACMEX III y TEHUA IV.....	23
<b>Fig. 5.-</b> Mapa de dos zonas oceánicas, ECAC IV y TEHUA 2003.....	24
<b>Fig. 6.-</b> Mapa de distribución de estaciones que presentaron a las especies.....	24

## RESÚMEN

Se realizó un estudio morfológico y taxonómico de diatomeas planctónicas del género *Pseudonitzschia* Peragallo, en el Golfo de Tehuantepec, México; con el fin de conocer con precisión a las especies presentes en el área de estudio. Dentro del fitoplancton marino éste género es cosmopolita, sin embargo se han registrado especies que son potencialmente tóxicas por la producción de ácido domoico, que ha causado envenenamientos en diferentes niveles tróficos, afectando a la actividad pesquera, a los ecosistemas marinos y a la salud humana. Otro problema considerado, fue el de la confusión al determinar las especies de este género. Se analizaron 58 muestras fijadas, pertenecientes a los cruceros oceanográficos PACMEX III 2000, ECAC IV 2001, Tehua 2003 y Tehua IV 2006. Mediante el empleo de la Microscopía de Luz, Microscopía Electrónica de Barrido y la Microscopía Electrónica de Transmisión, se examinaron las muestras en función de la morfología de las valvas. Especialmente las Microscopías Electrónicas (ME) fueron muy útiles para conocer la ultraestructura de las valvas y en la descripción de los taxones; sin embargo algunas especies no fueron sencillas de resolver por estas técnicas. Se determinaron 10 especies: *Pseudonitzschia delicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*, *P. subfraudulenta*, *P. dolorosa*, *P. heimií*, *P. inflatula*, *P. lineola*, y *P. roundii*. Las 5 primeras especies mencionadas se han reportado como potencialmente tóxicas en la literatura, por lo que se observaron rigurosamente para su identificación precisa. *P. pungens*, comúnmente se halló en muestras de PACMEX III 2000 y Tehua IV 2006 en abril y septiembre respectivamente. A lo largo del Pacífico Mexicano se han encontrado algunas de estas especies, sin embargo en este estudio se identificó a 1/3 del total de las especies que componen al género sólo en el Golfo de Tehuantepec, lo cual indica que presenta una alta riqueza de especies en relación a regiones vecinas. Las especies *P. dolorosa* y *P. heimií* son dos nuevos registros para la flora mexicana y para esta zona de estudio. Es posible que se conozca más sobre la composición del género en ésta área.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los organismos microscópicos que están a la deriva de las corrientes oceánicas forman el plancton, uno de sus componentes corresponde al conjunto heterogéneo de microalgas denominado fitoplancton (Boney, 1975; Bold y Winne 1978 y Hernández-Becerril, 2003), las cuales realizan la fotosíntesis a partir de la luz solar y la presencia de nutrientes en la zona eufótica; estos autótrofos conforman al primer eslabón de la cadena alimenticia dentro del medio marino (Groves, 1989 y Hernández-Becerril, 2003). Por su tamaño, se clasifica en picoplancton con menos de 2  $\mu\text{m}$ , nanoplancton de 2-20  $\mu\text{m}$  y microplancton de 20-200  $\mu\text{m}$ , (Hasle y Syvertsen, 1997). Los grupos taxonómicos que lo conforman son principalmente diatomeas (Bacillariophyceae) y dinoflagelados tecados y atecados (Dinophyceae) que son dos de los grupos más conocidos y estudiados (Hasle y Syvertsen, 1997; Steidinger y Tangen, 1996, Bravo-Sierra, 1998 y Hernández-Becerril, 2003). Otros grupos son Prymnesiophyceae (coccolitofóridos), Dictyochophyceae (silicoflagelados), Raphidophyceae, Prasinophyceae, Euglenophyceae, Chlorophyceae y Cyanophyceae los cuales presentan distintos niveles de organización celular, diversos pigmentos fotosintéticos y distintas formas de vida (Boney, 1975 y Zamudio-Resendiz, 2000).

En general, las diatomeas están distribuidas, tanto en habitats de agua blanda como en todos los mares del mundo ya sean aguas frías, cálidas o tibias y ricas en nutrientes, especialmente en la zona eufótica o de pastoreo en la superficie del mar donde logra penetrar la luz solar. Participan de manera muy importante en la asimilación del  $\text{CO}_2$  atmosférico para la captación del carbono mediante la fotosíntesis y en el ciclo biogeoquímico del silicio. Dentro de la comunidad fitoplanctónica su número y biomasa son dominantes, por lo que son responsables del 40 % de la productividad primaria marina (Falciatore y Bowler, 2002).

Las especies marinas son litorales o pelágicas. Las especies litorales son de origen cercano a la costa y su reproducción es eficiente bajo estas condiciones. Las pelágicas viven cerca de la superficie del océano durante, toda, una parte o al final de su vida. Algunas especies de este tipo son capaces de vivir y reproducirse enteramente en mar abierto denominadas como especies oceánicas o planctónicas. En este caso *Pseudonitzschia*, se refiere a un género planctónico.



## 1.1) JUSTIFICACIÓN:

Esta área de investigación tiene una importancia vital pues permite crear medidas de prevención que ayuden a desarrollar proyectos de regulación y de consumo en pesquerías. En México debido a su gran diversidad de especies en general, es importante conocer más sobre la composición florísticas; especialmente en el Golfo de Tehuantepec donde se han realizado pocos estudios de la flora fitoplanctónica a nivel local (Meave del Castillo y Hernández-Becerril, 1998).

Es necesario realizar estudios intensivos al respecto y conocer más sobre la presencia de especies de las diatomeas planctónicas del género *Pseudonitzshia*, tomando en cuenta que algunos taxones corresponden a especies potencialmente tóxicas, productoras del ácido domóico. Su morfología no es sencilla de resolver, por lo que es importante identificarlas con precisión mediante el empleo de Microscopías Electrónicas de Barrido y de Transmisión que permitan conocer caracteres morfológicos y taxonómicos y literatura actualizada, (Kaczmarska, *et al.*, 2005). Este conocimiento preciso ayudará a identificar sus especies en monitoreos realizados en el Golfo de Tehuntepec y realizar programas preventivos ante los posibles daños que producen a los ecosistemas, la pesca y salud humana.

## 2. ANTECEDENTES

Se ha detectado que algunas especies de *Pseudonitzschia* (*P.*) producen el Ácido Domóico (AD), una toxina peligrosa y mortal que causa el envenenamiento amnésico por consumo de mariscos (Amnesic Shellfish Poisoning, sus siglas en inglés ASP) y en caso extremo la muerte en peces, aves y mamíferos marinos, así como en humanos como sucedió en Canadá en 1987 (Kaczmarska *et al.*, 2005). En observaciones de campo y de laboratorio realizados en Alaska, se han registrado ciertos eventos donde se han implicado a diferentes especies de *Pseudonitzschia* que coinciden con la detección del AD (Tabla 1).

En 1991, en la Costa Oeste de USA, se registró la muerte de pelícanos que se alimentaron de anchovetas cuyo contenido estomacal reveló la presencia de *P. australis* junto con concentraciones de AD. Considerando este peligroso riesgo y posibles

problemas en costas similares alrededor del mundo, se tornó esencial el conocimiento de las especies de este género, su presencia, su morfología, sus condiciones de crecimiento y principalmente la producción de toxinas por especies como *P. australis*, y *P. pungens* f. *multiseriata*, de las que se han hecho estudios de campo y de laboratorio.

Especies	Localización	Referencias
<i>P. australis</i> Frenguelli (= <i>N. pseudoseriata</i> )	Bahía Monterrey, U.S.A.	Back <i>et al.</i> (1992); Garrison <i>et al.</i> (1992)
<i>P. delicatissima</i> (Cleve) Heiden in Heiden & Kolbe (= <i>N. actydropbila</i> )	Isla Príncipe Eduardo, Canadá	Smith <i>et al.</i> (1991)
<i>P. pseudodelicatissima</i> (Hasle) Hasle (= <i>N. delicatula</i> )	Bahía de Fundy, Canadá	Martin <i>et al.</i> (1990); Haya <i>et al.</i> (1991).
<i>P. pungens</i> f. <i>multiseriata</i> (Hasle). Hasle ( <i>N. pungens</i> f. <i>multiseriata</i> )	Isla Príncipe Eduardo, Canadá; Bahía Galveston, U.S.A	Bird <i>et al.</i> (1988); Fryxell <i>et al.</i> (1991a).

**Tabla 1.** Especies de *Pseudonitzschia* que se han reportado como productoras de AD (tomada de Villac *et al.* 1993).

En la región del Pacífico Mexicano (PM), se han registrado a las siguientes especies del género *Pseudonitzschia*, en el Golfo de California a *P. delicatissima*, *P. pungens* var *atlantica* y a *P. seriata* (Moreno *et al.*, 1996). Hernández-Becerril (1998), registró a *P. americana*, *P. delicatissima*, *P. pseudodelicatissima*, *P. fraudulenta* y *P. pungens* desde el G. de California hasta el G. de Tehuantepec. En este último, se ha reportado especialmente a *P. pungens* (Meave del Castillo y Hernández-Becerril 1998) y en 2006 se reportaron dos nuevos registros: *P. roundii* y *P. inflatula* (Hernández-Becerril y Díaz-Almeyda, 2006).

Se han reportado especies tóxicas de las cuales 5 de ellas se consideran en el presente estudio: *Pseudonitzschia delicatissima*, Bates *et al.* (1998), mencionaron que en la Isla Príncipe Eduardo, Canadá; se registró como productora de ácido domóico (AD) junto con otras especies del mismo género; en condiciones de cultivos aislados, sus clones produjeron 5 femtogramos de AD por célula. Skov *et al.* (1999), mencionaron que no se ha implicado a esta especie en algún evento tóxico, sin embargo Fryxell y Hasle 2003 reportaron que la prueba de detección del ácido domóico, fue positiva. Por otro lado, Lundholm *et al.* 2006, realizaron cultivos seleccionados de esta especie procedentes de

Puerto Shelter, Hong Kong, Aveiro, Portugal, Dinamarca, e Italia en los cuales no detectaron la producción del AD. Hernández-Becerril *et al* (2007a), la reportaron como especie potencialmente tóxica.

*P. fraudulenta*, Hasle (1965) la reportó como tóxica en aguas de Nueva Zelanda y Australia. En trabajos de Lundholm *et al.* (1994); Rhodes *et al.* (1998) y Fryxell y Hasle (2003), reportaron como positiva la prueba del AD.

*P. pseudodelicatissima*, Fryxell y Hasle (2003) reportaron como positiva la prueba del ácido domóico especialmente en el área del norte del Atlántico, Golfo de México, Puerto Rico y California, durante el verano. Lundholm *et al.* (2003), reportaron que no se detectó ácido domoico en una muestra originaria de Gafahna, Portugal.

*P. pungens*, Skov *et al.* (1999), cultivaron células provenientes de aguas de Washington y California las cuales produjeron AD. Fryxell y Hasle (2003), mencionaron que la prueba del ácido domóico fue positiva en aguas costeras templadas. Baugh *et al.* (2006), detectaron 1.8 femtogramos de AD/célula como toxicidad media en cultivo, provenientes de Washington, en el NW de E. U.

*P. subfraudulenta*, Hernández-Becerril *et al.* (2007b), la reportaron como especie potencialmente tóxica junto con las cuatro especies anteriores.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1) CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS DIATOMEAS

Dentro de la división Heterokontophyta se encuentra la clase Bacillariophyceae donde están ordenadas las diatomeas que se caracterizan principalmente por la habilidad de formar una pared externa mediante complejos patrones de sílice. Las diatomeas, también llamadas algas pardo-doradas son microorganismos eucariontes, unicelulares, pigmentados y fotosintéticos, aunque algunas pueden ser heterótrofas en la oscuridad, si tienen un abastecimiento de carbono (Round *et al.*, 1990).

Algunas son unicelulares y otras se organizan formando cadenas o están embebidas en un mucílago. Están formadas por un exoesqueleto de sílice o frústula a manera de caja de Petri, cuyas valvas o tapas se traslapan y se únen por bandas de sílice. La valva de arriba de mayor tamaño, unida a las bandas forman la epiteca, mientras que la valva de abajo con menor tamaño y unida a las bandas, forman la hipoteca (Round *et al.*, 1990; Hoek *et al.*, 1995 y Falciatore y Bowler 2002). El aspecto de las bandas es similar a un cinturón llamado cíngulo, visto en conjunto por la vista cingular, su anchura define la altura del eje transapical.

La forma de la valva puede ser circular, ovalada, espigada, tipo bote, triangulada o poliédrica. En muchas especies son comunes las protrusiones y en otras las espinas. Sus ornamentaciones son muy vistosas constituídas por areolas y poros. Presentan uno o dos cloroplastos alargados o muchos pequeños de color amarillo café cuando las células viven. Los cloroplastos presentan lamelas y tres tilacoides junto con las clorofilas a, c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub> y fucoxantina. Las diatomeas almacenan crisolaminarina y aceite como material de reserva (Hoek *et al.*, 1995 y Throndsen *et al.*, 2007).

Preferentemente se reproducen de manera asexual por división binaria, después de que cada valva forma una nueva hipoteca, se realiza la separación de las células. En la mayoría de casos hay una reducción de tamaño en una de las células hijas en cada división. La restitución de su tamaño normal se obtiene mediante la reproducción sexual (Round *et al.*, 1990).

Tradicionalmente se ordenó a las diatomeas en función de la simetría de su pared y se les clasificó como Céntricas, es decir diatomeas con simetría radial y como Pennales con simetría bilateral de forma alargada, algunas con un rafe consistente en una fisura que atraviesa a la pared valvar y permite la secreción de una masa mucilaginosa útil en el desplazamiento de la célula o cadena de células sobre un sustrato. Se ha estimado que presentan 250 géneros con 100,000 especies (Hasle y Tomas, 1997); respecto a su riqueza de especies Mann y Droop, 1996 (mencionados por Hernández-Becerril, 2003) estimaron una diversidad de 200,000 especies en Bacillariophyceae.

Medlin y Kaczmarska (2004), propusieron la siguiente sistemática: Eukariota, División Heterokontophyta, Clase Bacillariophyceae que se subdivide en los ordenes: Bidulfiales, Céntricas y Bacillariales o Penales (diatomeas penadas). Dentro del orden Penales se encuentra a la familia Bacillariaceae (se caracteriza por tener un canal del rafe). A esta familia pertenece el género *Pseudonitzschia* (Thronsen *et al*, 2007).

### 3.2) EL GÉNERO *Pseudonitzschia* Peragallo

Como una breve reseña histórica, el género *Pseudonitzschia* fue propuesto por Peragallo desde 1897 a 1908 en Diatomées Marines de France por M. M. H. *et* M. Peragallo, más tarde, los diatomólogos lo ubicaron dentro del *Nitzschia* Hassal, 1845. Mediante sus observaciones Hasle, lo volvió a reconocer como género en 1994 (Hasle 1965 y Almandoz *et al*, 2007). Esta semblanza se considera al buscar las descripciones iniciales de sus taxones, sus primeros nombres y cómo han sido enmendadas, en algunos casos.

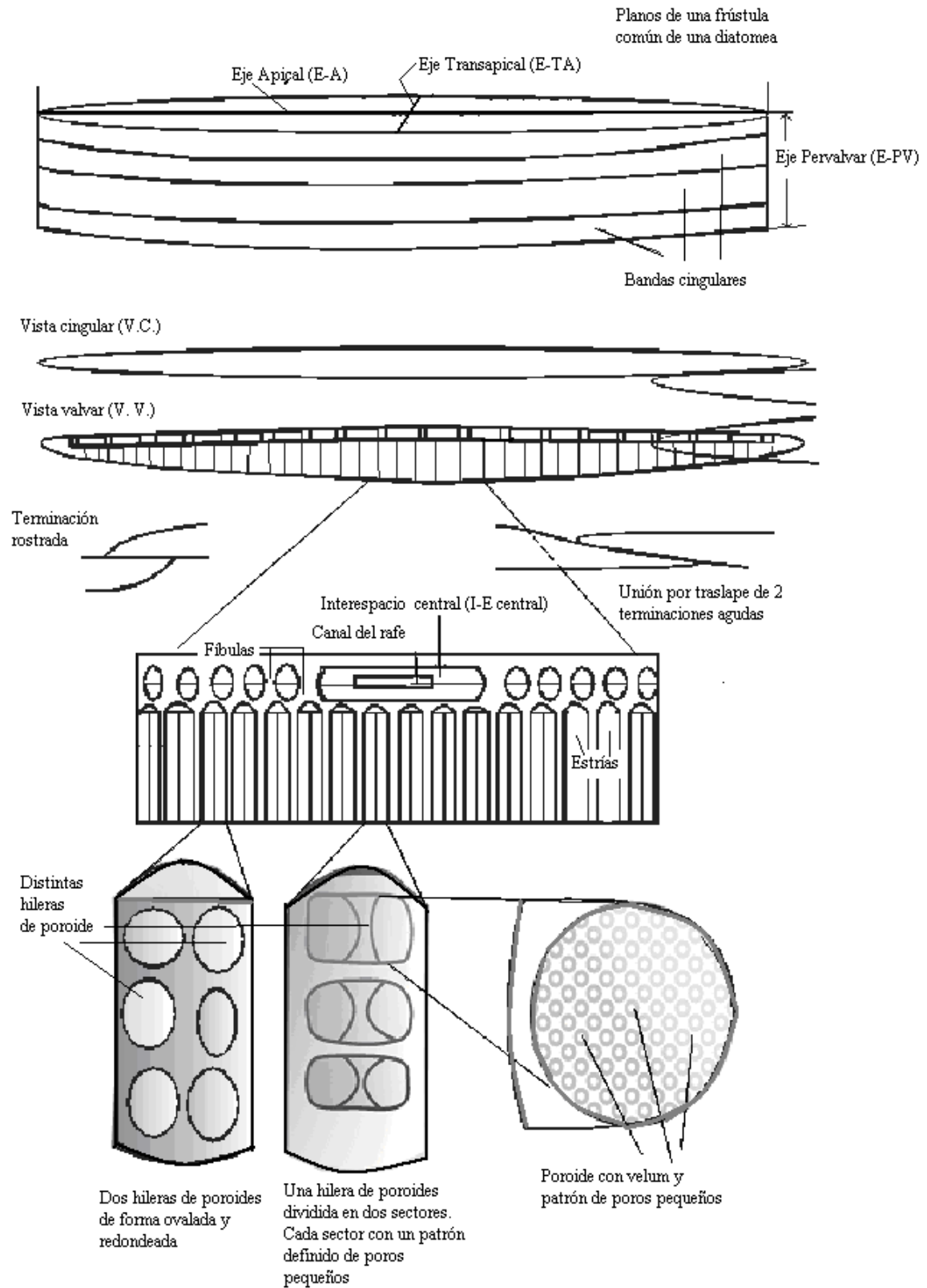
Peragallo, describió este género como formas pelágicas con valvas fusiformes (o alargadas) y agudas, asociadas en largos filamentos unidos en sus terminaciones por pequeños fragmentos de las células, es decir, formando cadenas traslapadas y escalonadas; tiene un sistema de rafe extremadamente excéntrico y no se eleva por arriba del nivel general de la valva. En la cara valvar presentan ornamentaciones como estrías, interestrías y fíbulas; mediante Microscopía Electrónica (ME) se distinguen estas estructuras así como hileras de poroides dentro de las estrías (Hasle, 1994). Mediante ésta microscopía, en algunas especies se han observado poros pequeños dentro de los poroides, algunos separados por sectores de sílice más fino (Kaczmarska

*et al.*, 2005), ver Fig. 1. Su distribución dentro del plancton marino es uniforme en todas partes: en áreas polares, templadas, subtropicales, y tropicales (Hasle, 1965; Hernández-Becerril y Díaz-Almeyda, 2006), por lo que es uno de los géneros más comunes de diatomeas fitoplanctónicas marinas.

### 3.2.1) CARACTERES MORFOLÓGICOS CON VALOR TAXONÓMICO:

Hasle y Syvertsen 1977, consideraron los siguientes caracteres morfológicos con valor taxonómico: 1) Células marcadamente alargadas, rectangulares, o fusiformes en la vista cingular. 2) Células unidas en cadenas escalonadas por el traslape de las terminaciones de la valva cuyo traslape es una fracción del eje apical. 3) Presentan rafe totalmente excéntrico, unido al borde. 4) Rafe no levantado por arriba del nivel general de la valva. 5) Mayor número de estrías que de fíbulas en la cara valvar. 6) Interespacio central más largo en muchas especies. 7) Cara valvar ligeramente curva o aplanada, no ondulada. 8) Valva estrecha, de lanceolada a fusiforme y lineal con terminaciones redondeadas o puntiagudas. 9) Eje transapical heteropolar en algunas especies. 10) Estrías poco visibles en ML. 11) En material vivo, se observan dos cloroplastos de forma laminar, a lo largo del cingulo, en uno o ambos lados del plano transapical medio. 12) No se conocen auxosporas de latencia. Revisar continuamente el esquema básico de una valva de *Pseudonitzschia* (Fig. 1) para conocer cada carácter, junto con la consulta del Anexo 2 que incluye la terminología correspondiente.

### 3.2.2) ESQUEMA BÁSICO DE UNA VALVA DE *Pseudonitzschia*



**Fig. 1.-** Esquema básico de una valva de *Pseudonitzschia*, mostrando cada una de sus estructuras  
Modificado de Lundholm *et al.*, 2003 y Kaczmariska *et al.*, 2005.

3.2.3) CARACTERÍSTICAS QUE DIFERENCIAN A LAS ESPECIES 1) Contorno de la valva. 2) Anchura (Eje transapical) de la valva y longitud del eje apical. 3) Polaridad del eje transapical. 4) Densidad lineal de interesarías vs. fíbulas, 5) Tamaño del interespacio central. 6) Forma de la terminación valvar en vista valvar y cingular y 7) La longitud del traslape de las terminaciones de las valvas dispuestas en cadena (Hasley Syvertsen 1997).

### 3.3) CONCEPTO DE ESPECIE CRÍPTICA

El estudio de las diatomeas ha implicado un continuo flujo de planteamientos desde sus conceptos básicos y su terminología (Anónimo, 1975 y Ross *et al.*, 1979), ver Anexo 2. Desde el establecimiento como Género *Pseudonitzschia*, también se han definido los conceptos propios del mismo (Hasle y Syvertsen, 1997) y el aporte de conocimientos mediante las ME, han generado más información para comprenderlo y continuar su estudio. Hasle (1965) presentó dos complejos de *Pseudonitzschia*, el complejo *Seriata* con igual o mayor a 3  $\mu\text{m}$  de ancho de la valva, sin la presencia del interespacio central y con una relación entre el número de fíbulas y las estrías; y al complejo *Delicatissima* con menos de 3  $\mu\text{m}$  de ancho, donde está presente o no un interespacio central y los poroides son cuadrados o circulares. Cada complejo con once especies (Hasle y Syvertsen, 1997).

El estudio posterior de complejos de especies como *P. pseudodelicatissima/cuspidata* analizando sus bases moleculares, permitió reconocer a dos especies más, a *P. caliantha* y *P. caciantha*, que observadas en ME mostraron poroides con poros pequeños en su interior con arreglos de distribución en forma de pétalos de flor. Las especies tan parecidas se llegaron a enmascarar con las descritas en el pasado con la consecuente confusión de su identidad. Actualmente se enfrenta esta situación considerando que se trata de un estado de especies crípticas.

Especie críptica (oculta), hace referencia a las especies similares morfológicamente, pero distintas genética y fisiológicamente; reconocibles por análisis de secuencias moleculares y posteriormente con la detección de caracteres morfológicos (si los hay) que se pueden apreciar únicamente en Microscopía Electrónica (en el caso de las diatomeas) o diferenciarse en su comportamiento durante condiciones de cultivo (Mann,



1999). Se continúa identificando a nuevas especies de este género, y en este trabajo se mantuvo a la expectativa de encontrar alguna.

Los análisis de secuencias moleculares están permitiendo conocer más especies crípticas, utilizando las subunidades de DNA ribosomal SSU rDNA y LSU rDNA para conocer su posición filogenética y taxonomía de grupo. También se han empleado los espaciadores de transcripción interna (ITS)1, 5.8S e ITS2 del encodado nuclear rDNA. El análisis de estos espaciadores permitieron identificar a las especies *P. pseudodelicatissima*, *P. cuspidata*, *P. calliantha* y *P. caciontha* (las dos últimas fueron especies nuevas) del complejo *P. pseudodelicatissima/cuspidata*. Otras especies nuevas descritas a partir de estos fueron *P. decipiens* y *P. dolorosa*. A partir de esta diferenciación, se reconoció a *P. calliantha* como especie tóxica, en condiciones de cultivo. Mediante los análisis moleculares se han tratado de conocer las variaciones inter e intraespecíficas, en cultivos identificados dentro del complejo *Pseudonitzschia delicatissima* (Lundholm *et al.*, 2003 y Lundholm *et al.*, 2006).

#### **4. OBJETIVOS**

##### **OBJETIVO GENERAL:**

Conocer la diversidad con base en el estudio morfológico y taxonómico de las diatomeas planctónicas del género *Pseudonitzschia* Peragallo (Bacillariophyceae) en el Golfo de Tehuantepec.

##### **OBJETIVOS PARTICULARES:**

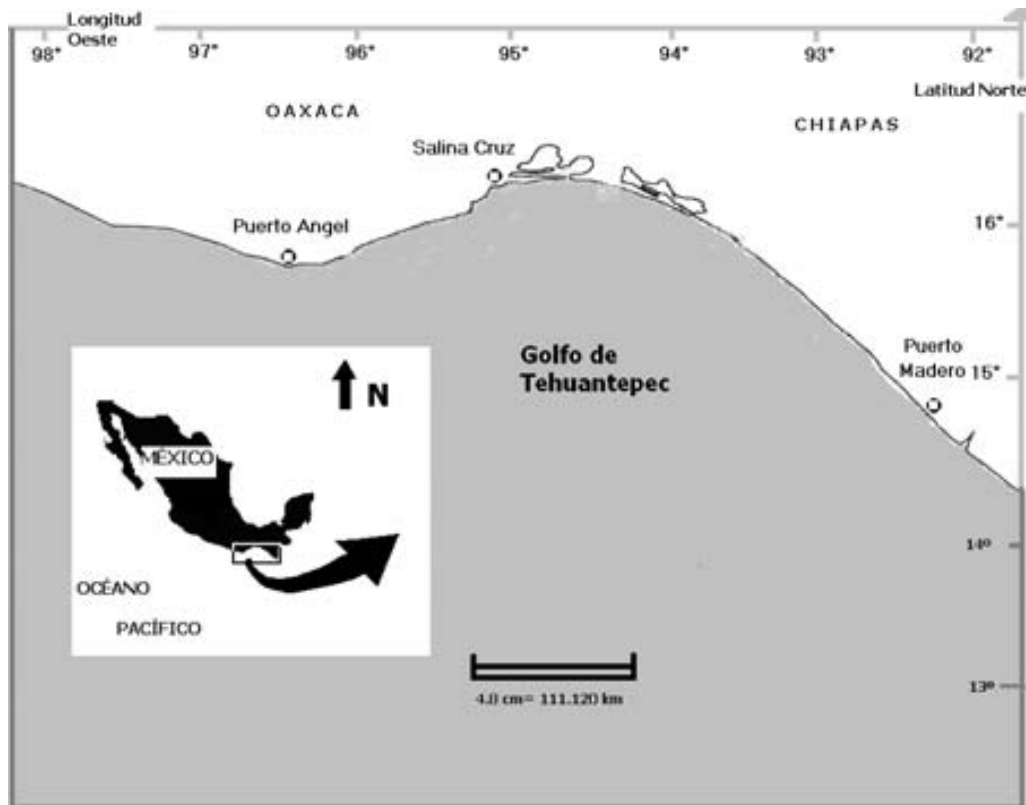
- 1) Identificar y describir la ultraestructura de su morfología mediante Microscopías Electrónicas de Barrido y de Transmisión, de las especies del género *Pseudonitzschia* halladas en ésta área de estudio.
  
- 2) Conocer la distribución espacio-temporal de estas especies en el área de estudio.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de Tehuantepec (GT) se ubica al Suroeste de México entre los 15°-16° Latitud N y los 93°-96° Longitud W, forma parte del litoral del Pacífico Mexicano (P. M.) al sur del Istmo de Tehuantepec, entre Puerto Ángel, Oaxaca y la barra del río Suchiate en Chiapas. La zona de estudio se delimitó entre los 92.00°- 98.00° Long W y entre los 11.50°- 15.50° Lat N (Fig.2), un área que se extiende desde la porción cercana a la plataforma continental con tendencia a la porción oceánica. En ésta área, están ubicadas las estaciones de muestreo de las cuatro campañas oceanográficas analizadas (Fig. 4 y Fig. 5).

Desde las planicies norteamericanas hacia el Golfo de México (GM), se desarrollan centros de alta presión (anticiclones polares) con migración hacia el sur y oeste que son interrumpidos en su curso por la elevación montañosa de la sierra Madre Oriental a alturas de 2000 m. En el Istmo de Tehuantepec, una porción estrecha de 40 Km de longitud es atravesada por los vientos fríos del norte hacia una atmósfera más caliente en el Océano Pacífico formando una diferencia de presión entre el Golfo de Tehuantepec y el Golfo de México, dichos vientos son los denominados tehuanos o tehuntepecanos o nortes. Estos vientos duran de 2 a 5 días con una frecuencia de 10 a 15 días a una velocidad de 10-15 m/s y máximo unos 26 m/s, llegan a impactar en el océano a un área de 500 Km al sur con casi 200 Km de ancho (Lara-Lara *et al.*, 1998).

El efecto de los vientos se refleja en la acumulación de agua en la superficie, en la parte occidental del golfo, se hunde la termoclina permitiendo la formación de giros anticiclónicos con 300 Km de diámetro, mientras que en el lado oriente no se generan esos ciclos, la termoclina se hunde de 15-100 m del centro al oeste del Golfo de Tehuantepec y se vuelve a levantar a los 60m (Lara-Lara *et al.*, 1998). Con estos movimientos del agua se forma la surgencia de agua fría del fondo (rica en nutrientes) hacia la superficie, mientras que el agua superficial caliente con menor concentración de nutrimentos, va hacia los lados y al fondo. Este enriquecimiento de nutrimentos en el agua ha favorecido entre otros eventos a la proliferación del amplio espectro de fitoplancton (Monreal-Gómez y Salas de León, 1998).



**Fig. 2.** Ubicación del Golfo de Tehuantepec (zona sombreada) al suroeste de la República Mexicana, tiene una posición estratégica para México por representar una conexión entre el Golfo de México y la cuenca del Pacífico a través del Istmo de Tehuantepec.

### 5.1) TEMPERATURA:

Normalmente, la temperatura promedio anual en la superficie del mar es de 25-30° C, durante todo el año en esta región. Se forma un estrato superficial más o menos homogéneo con una profundidad de 30-70 m, de aquí que la termoclina permanente sea somera. La tapa de la termoclina en promedio anual mide 50 m, en verano 70 m y en la superficie en todo el Golfo de Tehuantepec (Moulin Ruiz, 1979).

### 5.2.) CLIMA:

Su clima es de tipo cálido subhúmedo (Aw'') el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvia de verano y presencia de canícula e isoterma (Monreal-Gómez y Salas De León, 1998). En Salina Cruz, Oax., el mes de mayo es el más cálido con una

temperatura media de 28° C y enero es el mes más frío, con una temperatura media de 24.4° C. Las lluvias son abundantes entre mayo y noviembre y el resto del año es la temporada de sequías. Los vientos dominantes son los del NW, que tienden a ser paralelos con la línea de costa y los vientos fuertes se presentan durante los meses fríos de noviembre a febrero (Moulin Ruiz, 1979).

Como característica climática en esta región se presenta la variabilidad de los vientos a lo largo del año. En verano el movimiento hacia el norte de huracanes y tormentas tropicales genera pulsos de viento que se propagan a lo largo de la costa. En invierno intensos vientos perpendiculares a la costa soplan a través de pasos de montaña del sur de México y América Central, los ejemplos más documentados son los nortes que soplan del Golfo de Tehuantepec (Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998).

### 5.3) SURGENCIA EÓLICA:

El agua superficial que es arrastrada por efecto de los vientos tehuanos, es suplida por el agua de la subsuperficie (de hasta 100m de profundidad) que es más fría y por las masas de agua superficial lateral. El agua subsuperficial que sube genera la mezcla de la capa superficial cuya temperatura es 10° C más fría durante el proceso de compensación vertical. Este fenómeno llamado surgencia eólica se reconoce por la drástica variación de la temperatura en la superficie de hasta 10° C.

Su efecto es muy importante tomando en cuenta que la zona fótica está de los 0 a 100 m de profundidad y en ella se desarrolla la fotosíntesis del fitoplancton que impacta a otros niveles tróficos dentro de la comunidad biológica (Gallegos-García y Barberán Falcón, 1998).

En términos de importancia pesquera, el Golfo de Tehuantepec tiene un valor muy alto, gracias al sustento recibido por el fitoplancton (Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998). A nivel local, las corrientes que lo afectan, son las que derivan de los vientos Tehuanos, tomando en cuenta que el Pacífico Tropical Mexicano carece de vientos

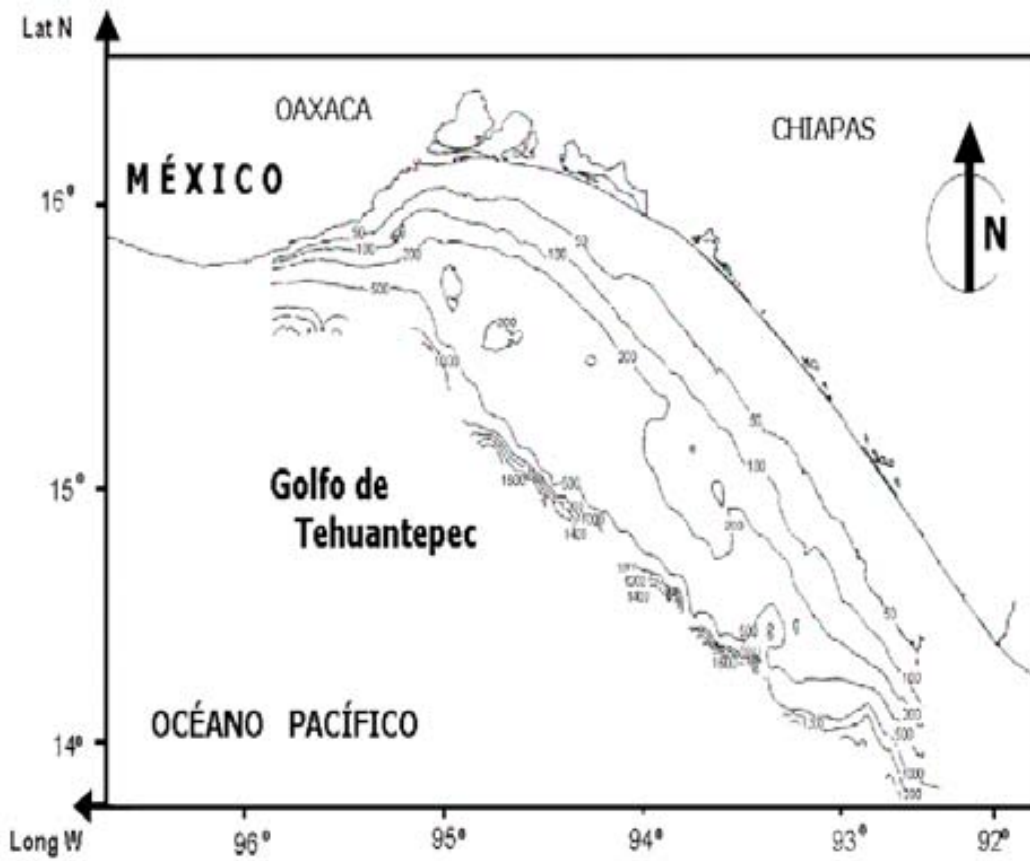
constantes a lo largo de la costa como los que promueven surgencias costeras en latitudes medias. Sin embargo también tienen cierta influencia otras corrientes como la corriente de California que proviene del norte del país (en aguas superficiales con 20° C y salinidades de 34.6%); la Corriente Norecuatorial (también superficial), que viene del sur y de la Convergencia Intertropical. El flujo de gran escala más importante es la Contracorriente Ecuatorial presente en forma estacional junto con la Corriente de California (Lefèvre-Ballevdier, 2003 y Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998) y afectan sólo a las capas superficiales del océano.

Debajo de estas capas de agua se encuentra la capa mínima de oxígeno. Las masas de agua profunda se forman fuera de la región mexicana y penetran en el área por flujo horizontal y mezcla a gran escala (Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998).

#### 5.4) BATIMETRÍA:

La línea batimétrica que corresponde a 100 metros, pasa frente a Puerto Ángel, Oax. a una distancia de 12 millas de la costa, atraviesa el Golfo de Tehuantepec con ondulaciones hasta llegar a unas 47 millas mar adentro al sureste de la desembocadura del Río Suchiate en Chiapas (Moulin Ruiz, 1979).

Hacia la parte oceánica se presentan líneas batimétricas con profundidades mayores de 3000 a 4000 m de profundidad con un fondo marino accidentado. Hacia la línea de costa, se indican profundidades de 4000 a 600 m en una trayectoria sinuosa al atravesar la trinchera mesoamericana, disminuyendo la profundidad hacia la plataforma continental con 2000, 1000, 500, 200 y 100 m, de acuerdo con la Carta Batimétrica del Golfo de Tehuantepec CB-008, 1983 (Fig. 3).



**Fig. 3.-** La batimetría del Golfo de Tehuantepec es muy variante, la plataforma continental es muy angosta semejando a un escalón. Las primeras curvas de nivel corresponden a los 100 y 200 m, después se presentan profundidades mayores de 1000m tan solo en este segmento gráfico, sin embargo hay profundidades mayores de 4000 y 5000 metros hacia la zona oceánica donde pasa la trinchera mesoamericana, muy sinuosa.

## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1) TRABAJO DE CAMPO

Se utilizaron muestras de material ya obtenido con red de 64  $\mu\text{m}$  de malla, mediante arrastre vertical a 100m de profundidad, con winche a una velocidad de arrastre de 33-36 m/s (ver ilustraciones en el Anexo 4). Las muestras se fijaron con formol al 4%, (respecto a una muestra de agua marina) en frascos de plástico NALGEN con tapa de rosca de 250mL y conservaron en un lugar oscuro, fresco y seco hasta su análisis (Hasle, 1978; Ferrario *et al.*, 1995; Zamudio-Resendiz, 2000). Se contó con material de 4 diferentes campañas oceanográficas: PACMEX III 2000 (entre los 92.30°- 94.70° Lon W y los 14.30°-15.50° Lat N); ECAC IV 2001 (entre los 96.00° a 98.00° Lon W y los 11.59°-14.00° Lat. N); Tehua 2003, (entre los 14.45°-15.48° Lon W y los 93.04°-93.30° Lat N) Tehua 2006 (entre los 93.45° a 95.14° long W y los 14.34° - 15.50° Lat N). Ver en el Anexo 1.

### 6.2) TRABAJO DE LABORATORIO:

6.2.1) Selección de muestras: Se observaron al microscopio óptico (Anexo 4) las muestras de los diferentes cruceros y se seleccionó a las que presentaron ejemplares del género *Pseudonitzschia*.

6.2.2) Limpieza de diatomeas: Se colocó una alícuota de muestra (0.50-1 ml de acuerdo con la densidad de la muestra) dentro de un tubo de centrifuga de vidrio con 10 ml aproximadamente de agua destilada (recientemente hervida, fría y filtrada con Millipore de 0.45  $\mu\text{m}$ ). Se enjuagó mediante centrifugación a 3,500 r.p.m. durante 15 minutos y se extrajo el sobrenadante (se realizaron 4 o 6 enjuagues). Se oxidaron las frústulas mediante la adición de  $\text{KMnO}_4$  (solución saturada de permanganato de potasio) en proporción de 1:1, durante 24hr. Se agregó HCl (ácido clorhídrico) concentrado en una proporción de 1:1 bajo una campana de extracción y se calentó sobre la flama tenue de un mechero de alcohol (se consideraron las debidas precauciones de manejo de sustancias corrosivas). El proceso de limpieza terminó con 4 o 6 enjuagues con agua



destilada (Hasle, 1978; Ferrario *et al.*, 1995) previamente tratada. En cada muestra se verificó al microscopio que las diatomeas estuvieran libres de materia orgánica en forma de partículas, para realizar las preparaciones permanentes en Naphrax y microscopías electrónicas.

6.2.3) Montaje permanente en Naphrax: Se colocó 1 gota del material diatomológico limpio sobre un cubre objetos cuadrado pequeño y se observó al microscopio la presencia de ejemplares del género *Pseudonitzschia*. Una vez constatada la presencia de estos, se secó a temperatura ambiente dentro de una caja de Petri como protección del polvo. En baño maría se derritió el medio de montaje Naphrax del cual se colocó una gota mediante una varilla de vidrio (hecha con un tubo capilar o una pipeta Pasteur), sobre un porta-objetos totalmente limpio y previamente caliente. En su centro se colocó la gota de Naphrax y encima se colocó el cubre-objetos con material previamente seco en contacto con el medio. Por pocos segundos se acomodaron ambas áreas de contacto y se sacaron las burbujas con la presión de una goma plana de lápiz, sobre la superficie del cubre objetos. Se secaron a temperatura ambiente. Se eliminó la rebaba del entorno del cubre objetos con una navaja, se limpió con papel secante y un poco de alcohol y se etiquetaron.

6.2.4) Observaciones en Microscopía de Luz (ML): Las preparaciones permanentes, se observaron en contraste de fases a 100X con aceite de inmersión (Hasle, 1978; Ferrario *et al.*, 1995) con ayuda de un microscopio Axiolab de Carl Zeiss, en ese aumento se tomaron múltiples medidas con una reglilla en micras y se capturó a las imágenes de los ejemplares mediante fotografía digital, con un microscopio óptico Olympus BX40 con cámara digital Hitachi KP-D50 color digital.

6.2.5) Microscopía Electrónica de Barrido (MEB): El material diatomológico previamente limpio se colocó y extendió sobre un cubre-objetos redondo totalmente limpio. Una vez seca la muestra, se metalizó con oro y se observó en el microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM-6360LV), cuyas imágenes digitales de distintos detalles de importancia taxonómica de la frústula se guardaron e imprimieron (Hasle, 1978; Ferrario *et al.*, 1995) para su posterior análisis.

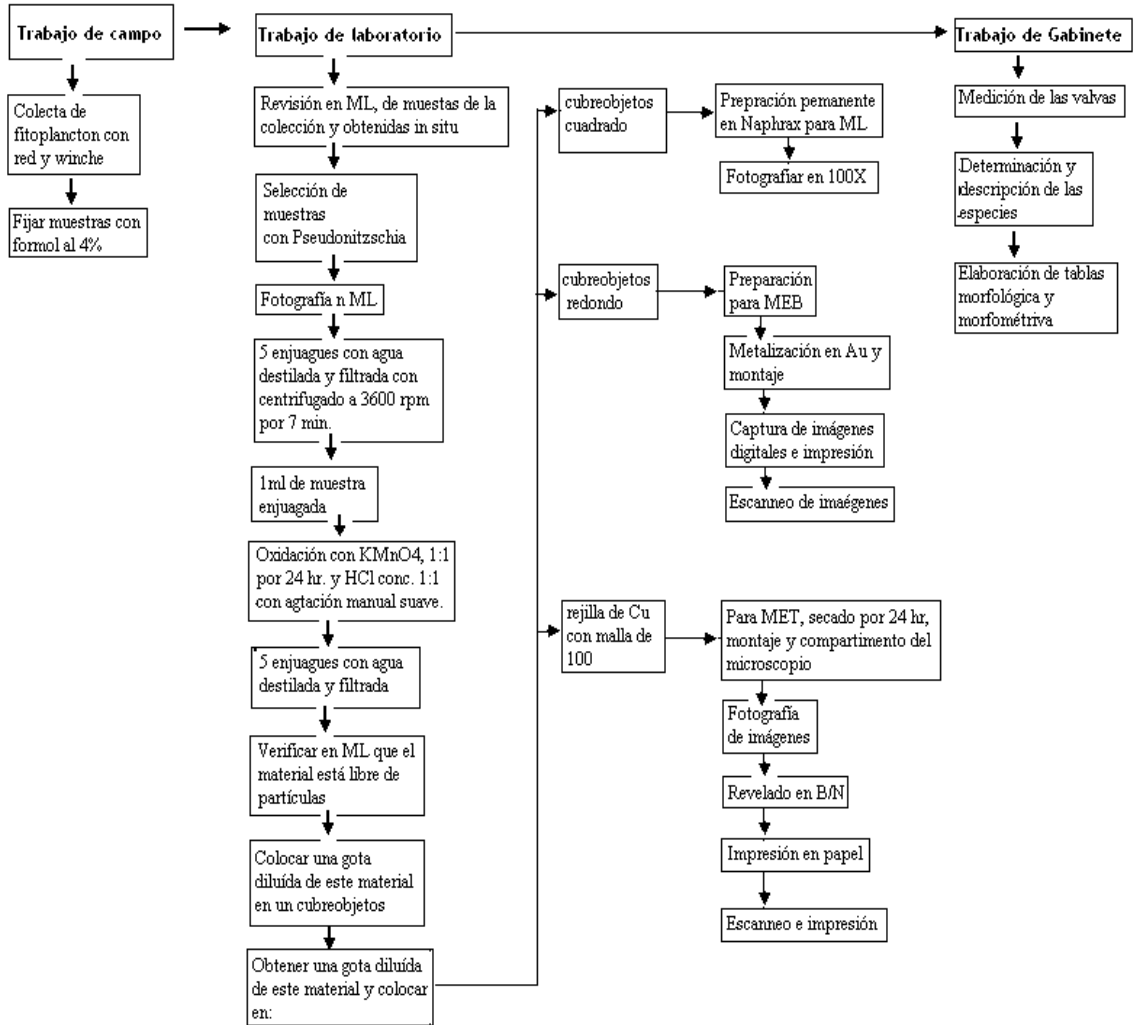
6.2.6) Microscopía Electrónica de Transmisión (MET): Sobre una rejilla de Cu o Ni, con una malla de 100 cuadros y cubierta de formvar, se colocó una gota pequeña de muestra previamente tratada. Se secó a temperatura ambiente con protección contra el polvo. Se colocó la rejilla con material en el compartimento de observación de un Microscopio Electrónico de Transmisión (JEOL LTD JEM1200 EXII). Se tomaron fotografías en blanco y negro de las estructuras de la frústula hasta la detección de la presencia de poroides ó sectores a 70-90 KV. Se revelaron los negativos en blanco y negro en cuarto oscuro.

### 6.3) TRABAJO DE GABINETE:

En el estudio morfológico, se utilizó la terminología precisa para diatomeas, correspondiente a la estructura de la frústula de *Pseudonitzschia*, permitiendo la comprensión de la bibliografía especializada para la determinación y posterior descripción de estas (Anónimo, 1975; Ross et al., 1979 y Hasle y Syvertsen, 1997). El esquema de una valva de *Pseudonitzschia* fue de gran ayuda (Figura 3). Se midieron los ejemplares fotografiados partiendo de las escalas de comparación para calcular sus tallas en las distintas técnicas de microscopía. Se elaboró una tabla morfológica de cada carácter taxonómico por valva junto con información de su distribución, su posible carácter tóxico y bibliografía de consulta.

Se identificó a cada uno de los ejemplares pertenecientes al género *Pseudonitzschia* consultando bibliografía especializada. Las descripciones de los ejemplares hallados se ilustraron con sus respectivas fotografías en LM, MEB ó MET que permitieron reconocer más precisamente a cada especie. Se realizó un análisis de su distribución (ver Tabla 5 y Anexo 1) en base a su aparición en la porción oceánica y las halladas sobre la Trinchera Mesoamericana hacia la plataforma continental.

6.4) DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN ESTE ESTUDIO.



Actualmente, mediante la microscopía electrónica se han incluido otros caracteres más finos como: el número de hileras de poroides en una estría, número de poroides en 1  $\mu\text{m}$ ; la presencia de sectores que son divisiones de sílice dentro del poroide que incluyen a pequeños poros en cada sector. Algunas especies pueden incluir una cobertura muy fina de sílice sobre los poroides denominada velum (Lundholm *et al.*, 2003; Kaczmarka *et al.*, 2005 y Lundholm *et al.*, 2006). Otro carácter tomado en cuenta, fue la presencia de bandas cingulares y sus ornamentaciones.

## 7) RESULTADOS

### 7.1) MUESTRAS ANALIZADAS:

Se analizaron muestras fijadas de fitoplancton, obtenidas con red por arrastre vertical a 100 m de profundidad correspondientes a 4 campañas oceanográficas. De estas, 29 pertenecieron al crucero PAMEX III 2000, 4 muestras de ECAC IV 2001 y 9 muestras del crucero Tehua 2003, pertenecientes a la colección (del Laboratorio de Diversidad y Ecología de Fitoplancton Marino del ICMYL, UNAM) y 16 muestras obtenidas directamente en campo dentro de la campaña oceanográfica Tehua IV 2006. Fueron 58 muestras en total, provenientes del Golfo de Tehuantepec, México. En algunas muestras del crucero PACMEX III 2000, se presentaron varias especies de *Pseudonitzschia*. De las especies planctónicas identificadas *P. delicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens* y *P. subfraudulenta* se han registrado como potencialmente tóxicas en México.

Sobresalieron las especies *P. dolorosa* y *P. heimií* por ser dos registros nuevos para el Pacífico Mexicano, especialmente en las estaciones E-22 de PACMEX III 2000 en el caso de la primera y la segunda fue hallada en la estación E-28 de Tehua IV 2006 (ver Tabla 4 y Anexo 1). En el área de estudio, se confirmó la presencia de *P. roundii*, en el Golfo de Tehuantepec, en las estaciones E-22 y E-58 de PACMEX III. Estos taxones, junto con *P. inflatula* y *P. lineola*, ( E-22 y E-28 de PACMEX III) no fueron comunes en las muestras estudiadas (ver Tabla 4 y Anexo 1). En la literatura no se les ha reportado como tóxicas. Las especies con antecedentes bibliográficos relacionados con toxicidad, fueron *P. delicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens* y *P. subfraudulenta*.

### 7.2) CARACTERES MORFOLÓGICOS CONSIDERADOS EN LA IDENTIFICACIÓN:

Los caracteres morfológicos utilizados para la identificación de las especies fueron los considerados por Hasle y Syvertsen 1997, como la organización celular en células solitarias o en cadena, la forma escalonada de la cadena (se indicarán más adelante en la

descripción de las especies). La forma general de la valva en vista valvar (V.V.) y/ó en vista cingular (V. C.); la forma de sus bordes, forma de sus ápices y terminaciones de la valva (Consultar la Fig. 1 y ver la Tabla 3 con aspectos morfológicos).

Taxones	Forma valvar	Márgenes	Ápices	Terminación	Unión
<i>P. delicatissima</i>	V.C. forma lineal poco lanceolada en centro	Lineales tenuemente curvos	Estrechos tenuemente y lineales	Cortadas y redondeadas, en V.V. bordes casi paralelos	1/10 ó 10%
<i>P. dolorosa</i>	Lanceolada poco asimétrica en E-TA	Poco curvos, casi lineales	Casi rostrados	Redonda y corta	ND
<i>P. fraudulenta</i>	Fusiforme y simétrica	Curvos	Agudos	Redondeada y corta	20%
<i>P. heimii</i>	Lanceolada	Curvos, uno más que el otro	Estrechos, poco agudos, uno sigmoide	Redondeadas tenuemente	ND
<i>P. inflatula</i>	Centro inflado, resto lineal y delgado.	Lineales y angostos, excepto en el centro	Agudos y largos	Pequeña y redondeada	ND
<i>P. lineola</i>	Lineal poco lanceolada	Casi lineales	Agudos	Redondeada y poco alargada	ND
<i>P. pseudodelicatissima</i>	V.C. casi lineal poco lanceolada en el centro	Casi lineales	Tenuemente estrechos	Aguda, puntas poco redondeadas	10%
<i>P. pungens</i>	Lineal, estrecha, poco lanceolada y simétrica.	Paralelos en mayoría de valva.	Poco estrechos	Poco Redondeados	1/3
<i>P. roundii</i>	Lanceolada asimétrica a sigmoidal	Uno convexo y otro poco curvo	Agudos a sigmoides	Redondeada	1/5
<i>P. subfraudulenta</i>	Lanceolada a lineal en el centro	Paralelos en parte media del E-A	Poco rostrados	Redondeada	1/5

**Tabla 2.-** Caracteres morfológicos de las 10 especies determinadas de *Pseudonitzschia* en el área de estudio.

### 7.3) MORFOMETRÍA DE LAS ESPECIES DETERMINADAS

Mediante el empleo de microscopías electrónicas se midieron sus tallas y se registraron en una tabla morfométrica (Tabla 3 y consultar la Fig.1); los caracteres considerados fueron: las magnitudes del Eje Transapical (E-TA) para ubicar a la especie dentro de los complejos *seriata* por ser igual o más ancha que 3 y al complejo *delicatula* (por tener menosde 3  $\mu\text{m}$  de ancho). Otra talla importante es la del Eje Apical (E-A) junto con otros caracteres muy importantes como el número de fíbulas y de estrías en 10  $\mu\text{m}$ ; el número de hileras de poroides (HP), el número de poroides en 1  $\mu\text{m}$  y la forma del mismo. Se revisaron otros caracteres más finos como la presencia de sectores o velum dentro de los poroides (donde los ejemplares lo exhibieron) como en *P.*

*pseudodelicatissima*. De manera práctica ambas tablas fueron de gran ayuda para ubicar las formas y medidas de los segmentos de las valvas o las valvas completas, junto con la comparación de ilustraciones de la literatura expresada en las descripciones de las especies.

Taxones	Complejo	I-E central	E-TA (µm)	E-A (µm)	Fíb/ 10 µm	Est/ 10 µm	HP y P/1µm	Forma poroide
<i>P. delicatissima</i>	D	P	2	59	20	37	2 y 8-10P	Casi redondo y pequeño
<i>P. dolorosa</i>	D	P	2.2-2.4	69.44	15y16 MLCF	26 y 27	1 y 2H, 4P	Circular con diámetro de 1/3 el ancho de la estría.
<i>P. fraudulenta</i>	S	P	3.8-5.3	70-86	13-15	24-26	2H y 6P	Pequeño circular a triangular
<i>P. heimií</i>	S	P	4	69.19	16	22	2H y 8P	Redondos diminutos y paralelos
<i>P. inflatula</i>	D	P	3.15	80	18 MLCF	30 MLCF	1H y 5P	Cuadrado de esquinas redondeadas
<i>P. lineola</i>	D	ND	ND	ND	16, 17	25.26	1H y 4P	Redondo elíptico
<i>P. pseudodelicatissima</i>	D	P	2.6	65	15	26	1 H y 5P	Cuadrados de esquinas redondeadas
<i>P. pungens</i>	S	A	2.4-2.7	104.4-133.3	12 a 15 MLCF	12 a 13 MLCF	2H y 3P	Ovalados grandes a casi cuadrados
<i>P. roundii</i>	S	P	6.3	53	16-18	31 y 32	1H y 4P	Rectangulares a cuadrados
<i>P. subfraudulenta</i>	S	P	3.25-4.09	65.5-67	16-20	24-26	2H y 8P	Redondo, pequeño unido al borde de la estría.

**Tabla 3.-**Tabla morfométrica de las especies identificadas en el Golfo de Tehuantepec. Nota: Complejo D: Delicatissima ó S: Seriata; P: Presenta; I-E central: Interespacio central; E-TA: Eje Transapical; E-A: Eje Apical; Fíb: Fíbulas; Est: Estrías; HP: Hilera de poroides; P: Poroides; y MLCF: visto en Microscopía de Luz con contraste de fases.

#### 7.4) DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES

Los muestreos de fitoplancton se obtuvieron con red por arrastre vertical a los 100m de profundidad, en puntos localizados lejos de la línea de costa, donde las profundidades crecen desde las 200 a más de 1600 metros. El área de muestreo del crucero ECAC IV 2001, se desarrolló en un área totalmente oceánica en el mes de septiembre sobre profundidades de 3,500 a 4,000m. Su composición consistió principalmente en

copépodos de distintos estadios, dinoflagelados diversos y algunas diatomeas centrales. Bajo el área de Tehua 2003, se ubicó una variación de profundidades (pertenecientes a la Trinchera Mesoameicana); en las muestras se presentaron copépodos, dinoflagelados y diatomeas centrales a mediados de junio de ese año (ver Figura 5).

Las especies de *Pseudonitzschia* identificadas fueron halladas en muestras de los cruceros PACMEX III, 2000 y Tehua IV, 2006. Especialmente en la estación E-22 de PACMEX III, se identificaron a *P. delicatissima*, *P. dolorosa*, *P. heimii*, *P. lineola*, *P. pungens* y *P. roundii*. En la estación E-28 se identificó a *P. delicatissima*, *P. fraudulentula*, *P. inflatula* y *P. pungens*. En la estación E-58, se detectaron algunas cadenas de *P. roundii* y en la estación E-30 a *P. fraudulentula*. Ver la Tabla 5, que registra su presencia y el Anexo 1 que contiene las coordenadas de las estaciones mencionadas, cuyas coordenadas están en el Anexo 1.

<b>Taxon</b>	<b>Distribución</b>
<i>P. delicatissima</i>	PACMEX III 2000, estación E 22, E- 28 y Tehua IV 2006, estación E-13
<i>P. dolorosa</i>	PACMEX III 2000, estación E-22 y Tehua IV 2006 estación E-28.
<i>P. fraudulentula</i>	PACMEX III 2000, estación E -28, E-30 y Tehua IV 2006, estación E-28
<i>P. heimii</i>	PACMEX III 2000, estación E-22
<i>P. inflatula</i>	PACMEX III 2000, estación E-28
<i>P. lineola</i>	PACMEX III 2000, estación E-22
<i>P. pseudodelicatissima</i>	PACMEX III 2000, estación E-22 y Tehua IV 2006, estación E-13
<i>P. pungens</i>	PACMEX III 2000, estación E-22, E-28 y Tehua IV 2006, estación E-28
<i>P. roundii</i>	PACMEX III 2000, estación E-22 y E-58
<i>P. subfraudulenta</i>	PACMEX III 2000, estación E-22

**Tabla 4.-** Registro de las estaciones y campañas oceanográficas correspondientes en que se encontraron diferentes especies de *Pseudonitzschia* en el área de estudio.

En el siguiente mapa (Fig. 4), se ilustra la intersección de las áreas de estudio de los cruceros oceanográficos de PACMEX III, las estaciones E-22, E-28, E-30 y E-58 presentaron a diferentes especies de *Pseudonitzschia*; en esa misma extensión se incluyeron los puntos de las estaciones E-4 y E-22 de Tehua IV y hacia el NW de esta última, las estaciones E-28, E-29, E-30 y E-31 también presentaron especies del género.



En la Fig. 5 se ilustra la posición de las áreas de estudio correspondientes a ECAC IV, 2001 y Tehua 2003, donde no hubo una presencia importante del género salvo 1 o dos valvas. Tratando de interceptar a las áreas de colecta en diferentes años, la Fig. 6 permite ver la acercada posición de las áreas de PACMEX III 2000 (área oscura y moteada con estaciones indicadas en número y letra) y Tehua IV 2006 (área blanca con estaciones marcadas dentro de un rectángulo) a la plataforma continental sobre profundidades que variaron desde los 200m hasta los 1,500 m aproximadamente.

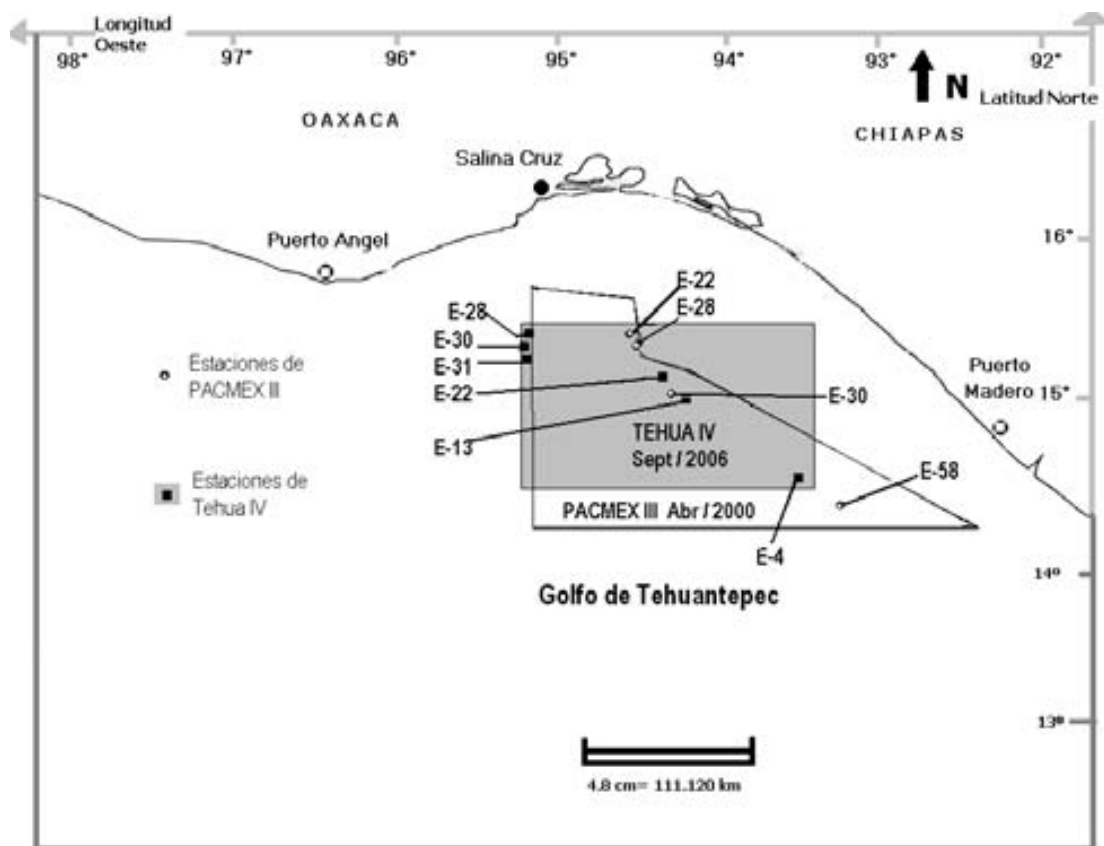
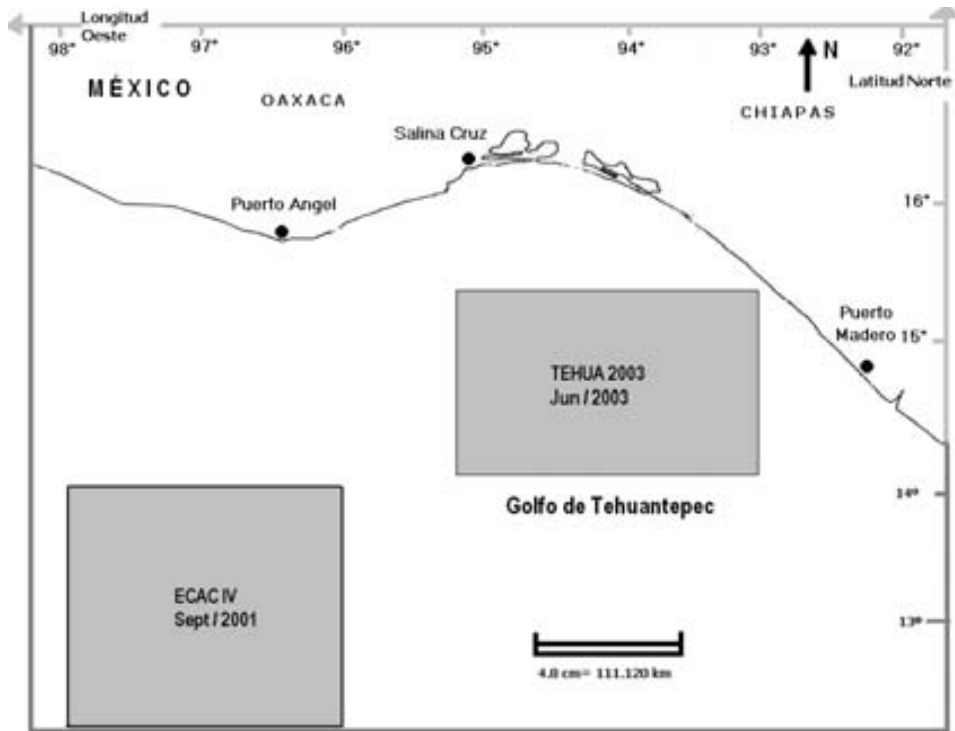
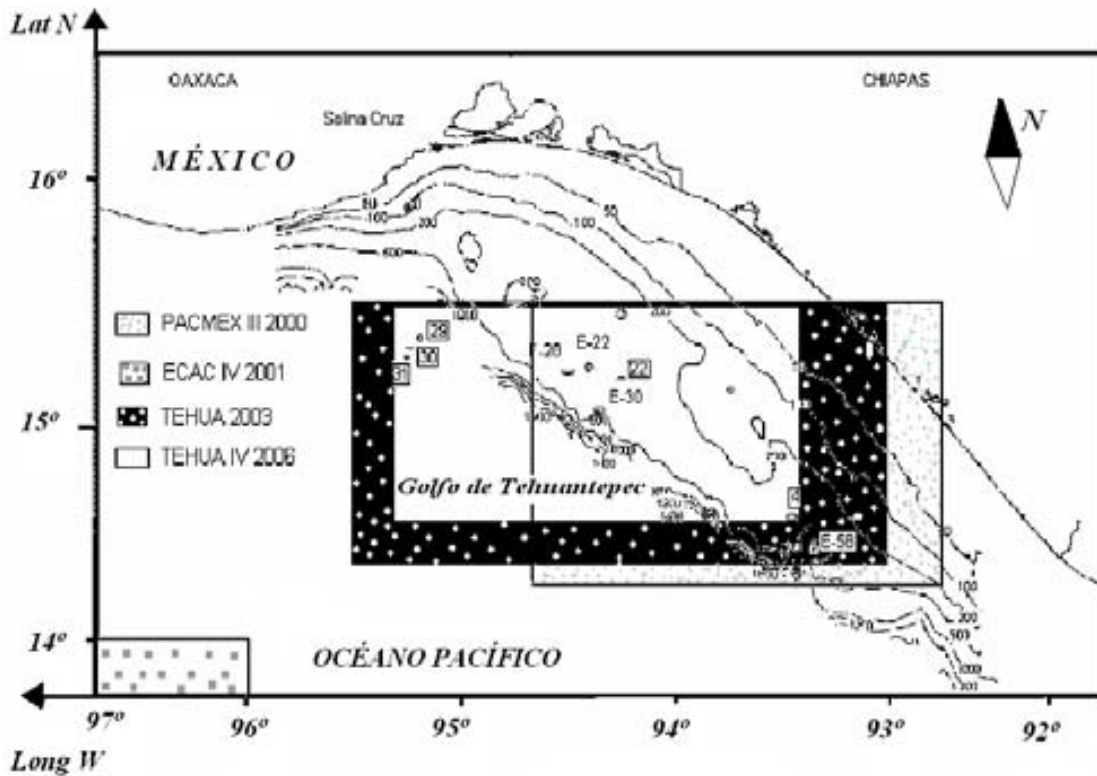


Fig. 4.- Mapa de distribución de las estaciones de dos cruceros oceanográficos (PACMEX III y TEHUA IV), donde se encontraron valvas de *Pseudonitzschia* en la porción oceánica del Golfo de Tehuantepec, México.



**Fig. 5.-** Mapa de dos zonas oceánicas que no presentaron frústulas de *Pseudonitzschia* correspondientes a los cruceros ECAC IV y TEHUA 2003, en el Golfo de Tehuantepec, México.



**Fig. 6.-** Mapa de distribución de las estaciones donde se encontraron valvas de *Pseudonitzschia* en el Golfo de Tehuantepec. Las estaciones de PACMEX III 2000 y de Tehua IV 2006 (regiones oscuramente moteada y la blanca respectivamente), presentaron estaciones muy cercanas y parecidas; distribuidas casi en paralelo con la plataforma continental. Ambas áreas estuvieron sobre las profundidades menores de los 200 a los 1,500m de la Trinchera Mesoamericana.

En relación a estas dos áreas, el área más lejana a la plataforma continental y de aguas profundas fue la del muestreo de ECAC IV 2001. El área de Tehua 2003, casi está empalmada con la intersección de las dos áreas de PACMEX III y Tehua IV.

#### 7.5) LISTADO DE ESPECIES

A continuación se enlistan las especies de *Pseudonitzschia* determinadas en el Golfo de Tehuantepec a través de este estudio:

- 1.- *Pseudonitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden *in* Heiden *et* Kolbe.
- 2.- *Pseudonitzschia dolorosa* Lundholm *et* Moestrup
- 3.- *Pseudonitzschia fraudulenta* (Cleve) Hasle
- 4.- *Pseudonitzschia heimii* (Manguin)
- 5.- *Pseudonitzschia inflatula* (Hasle) Hasle
- 6.- *Pseudonitzschia lineola* (Cleve) Cleve
- 7.- *Pseudonitzschia pseudodelicatissima* (Hasle ) Hasle
- 8.- *Pseudonitzschia pungens* (Grunow ex Cleve ) Hasle
- 9.- *Pseudonitzschia roundii* Hernández-Becerril *in* Hernández-Becerril *et* Díaz-Almeyda
- 10.- *Pseudonitzschia subfraudulenta* (Hasle) Hasle

#### 7.6) DESCRIPCION DE ESPECIES DEL GÉNERO *Pseudonitzschia*:

1.- *Pseudonitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden *in* Heiden *et* Kolbe. Fig. 7 (A y B).

Basiónimo: *Nitzschia delicatissima* Cleve.

Sinónimo: *Nitzschia actidrophila* Hasle.

Referencias: Hasle 1965, p. 35, Lám. 2, Fig. 10; Lám. 15, Figs. 19-23 y Lám. 16, Figs. 3-7 y Kaczmarska *et al.* 2005, p. 8, Fig. 14-23.

Se observó en ML que forman colonias en forma de cadenas escalonadas, mediante la unión de sus terminaciones valvares en una proporción de 1/10 ó del 10% del total de su longitud celular. En vista cingular su forma fue lineal muy poco lanceolada, un poco

mas ancha en el centro de la valva; hacia sus ápices fue estrecha con terminaciones algo cortadas y poco redondeados en las puntas. Presentó dos cloroplastos extendidos desde el centro de la valva hacia los ápices (Fig. 7 A). Mediante la MET, se reconoció un fragmento de la valva de esta especie cuyo Eje Transapical midió 2.25  $\mu\text{m}$  (dentro del complejo *delicatissima*), su E-A no fue definido por estar incompleta la valva. Presentó un I-E central rectangular alargado con un pseudonódulo central y un fino canal del rafe. Se contó con 23 fíbulas gruesas y 32 estrías casi rectas en 10  $\mu\text{m}$ , sus poroides estuvieron ordenados en dos hileras con distribución irregular (unos más juntos que otros), con una posición casi alternada. Su tamaño fue pequeño, casi de  $\frac{1}{4}$  del ancho de la estría, su forma fue poco redondeada con un velum muy fino recubriéndolos. En 1  $\mu\text{m}$ , se presentaron de 8 a 10 poroides (Fig. 7 B).

#### Distribución:

Estación E-13 del Crucero Tehua IV 2006 (6/Sept/06), ver coordenadas en la tabla 2 del Anexo1 (en lo sucesivo para las posteriores especies, revisar la misma tabla). Especie común; ocasionalmente es una diatomea predominante en la región del norte del Atlántico y puede ser cosmopolita (Hasle y Syvertsen, 1997).

#### 2.- *Pseudonitzschia dolorosa* Lundholm et Moestrup. Fig. 8 (A-F).

Referencia: Lundholm et al., 2006, p. 470, Figs. 2, A-I, Tabla 4.

En ML no fue identificada. Mediante MEB y MET, se observó una valva en cada caso. En vista valvar presentó una forma lanceolada con tendencia lineal (Fig. 8 A y D) con ápices que lentamente se hacen estrechos y terminan en puntas redondeadas (Fig. 8 C y F), uno es un poco más angosto que el otro y algo asimétrico en el eje apical. El eje transapical midió 2.25-2.5  $\mu\text{m}$ , y el eje apical midió 48-69  $\mu\text{m}$  (Fig. 8 A y D). En la porción central presentó un rafe excéntrico, un pseudonódulo central dentro del interespacio central (Fig. 8 B y F), con 18-19 fíbulas bien silicificadas y 29 y 34 estrías rectas en 10  $\mu\text{m}$ . Cada estría fue más ancha que una interestría. Presentó 1 y 2 hileras de poroides circulares pequeños (con  $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$  del ancho de la estría) unidos a los márgenes de la estría. Algunas de estas, fueron más angostas con una hilera de poroides y otras con apariencia de empezar la separación de los poroides (Fig. 8 E y F). Presentó 8 poroides en 1  $\mu\text{m}$  (Fig. 8 B y E).

#### Distribución:

Se encontró en la estación E-22 (10/Abr/2000) del Crucero PACMEX III 2000. Se registró por primera vez en la Boca del Río Aveiro, Portugal; Golfo de Nápoles y Bocca Picola, Italia; al sur de las costas del sur de Irlanda, Bahía Monterey, California, y el Pasaja Drake del sur de Sur América (Lundholm *et al.*, 2006).

3.- *Pseudonitzschia fraudulenta* (Cleve) Hasle. Fig. 9 (A-I).

Basiónimo: *Nitzschia fraudulenta* Cleve

Sinónimo: *Pseudonitzschia seriata* var. *fraudulenta* (Cleve) H. Peragallo in H. y M. Peragallo.

Referencias: Hasle 1965, p. 15-18. Lám. 1, Figs. 2 y 3, Lám. 4, Figs. 8-10, Lám. 6, Figs. 5-10; Lám. 8, Figs. 1-3. Hasle y Syvertsen 1997, p. 313, Lám. 70, Tabla 74. Kaczmarska *et al.*, 2005; p. 8, Figs.24-29.

En ML se observaron células en cadena escalonada con 2 células con 1/6 de unión respecto a su E-A. En vista valvar, la forma fue fusiforme y simétrica con forma bien definida, sus bordes fueron curvos con terminaciones agudas y puntas redondeadas. En MEB y MET se obtuvieron las siguientes determinaciones (Fig. 9 A-I), en su forma general, los bordes fueron curvos con terminaciones agudas y puntas redondeadas (Fig. 9 C, D, E, H e I). Al centro de la valva se encontró el interespacio central (Fig. 9 A, B y G) alargado; en posición ligeramente excéntrica se observó un pseudonódulo central y el muy delgado canal del rafe. Su E-TA midió 3.8-5.3  $\mu\text{m}$  (Fig. 9 A), y su E-A de 70-86  $\mu\text{m}$ . Presentó 13-15 fíbulas gruesas muy silicificadas y 24-26 estrías casi rectas, ambos en 10  $\mu\text{m}$  (Fig. 9 B y G). Comparativamente, cada estría tubo una anchura doble al de las interestrías, las cuales tuvieron un aspecto de inflamamiento (Fig. 9 B, C y D). Presentaron 2 hileras de pequeños poroides de forma circular a triangular, unidos al borde de la estría y dispuestos de manera alternada (Fig. 9 B y G); en 1  $\mu\text{m}$  se contaron 6 poroides. En la Fig. 9 A, se observó un segmento de 2 bandas cingulares, con una hilera de poroides de forma alargada (un poco más largos que el espacio entre cada fíbula en la valva), de estas se contó con 1 poroide en 1  $\mu\text{m}$ .

Distribución:

Se encontró en la estación E-28 (8/Sept./06) del Crucero Tehua IV 2006; se ha reportado como cosmopolita (Hasle y Syvertsen, 1997).

#### 4.- *Pseudonitzschia heimii* (Manguin) Fig. 10 (A-E).

Mediante MEB se observó que en vista valvar (Fig. 10 A) la forma fue lanceolada con ápices estrechos poco agudos con terminaciones tenuemente redondeadas (Fig. 10 D y E). Uno de los ápices se observó ligeramente sigmoide antes de concluir las terminaciones contrastando con la tendencia de su borde. Uno de los márgenes fue curvo y el otro casi recto (Fig. 10 A y E). Presentó un interespacio central corto mostrando el fino canal del rafe y un pequeño pseudonódulo central.

Su eje apical midió 69.19  $\mu\text{m}$ , su eje transapical fue de 4  $\mu\text{m}$ ; en 10  $\mu\text{m}$  presentó 16 fíbulas y 22 estrías. Sus estrías fueron casi tan anchas como las interestrías (Fig. 10 B). Presentó 2 hileras de poroides y 8 poroides en 1  $\mu\text{m}$  (Fig. 10 C). Los poroides fueron diminutos y redondos con distribución paralela, unidos a los bordes de las estrías.

#### Distribución:

Se encontró en la estación E-22 (10/Abr./2000) de PACMEX III 2000. Se ha reportado como cosmopolita, y particularmente abundante en el subantártico (Hasle y Syvertsen, 1997).

#### 5.- *Pseudonitzschia inflatula* (Hasle ) Hasle. Fig. 11 (A-D).

Basiónimo: *Nitzschia inflatula* Hasle.

Referencias: Hasle 1965, p.33; Lám. 13, Figs. 7-10; Lám. 15, Figs. 1-8.

Priisholm et al., 2002, P. 67, Figs. 48-51, Tabla 1.

Hernández-Becerril y Díaz-Almeyda, 2006, p. 298, Figs. 16-18.

En ML Se distinguió una valva con forma casi lineal a excepción del centro con apariencia inflada y sus ápices agudos, en ML con contraste de fases se observó la presencia de sus fíbulas y estrías con cierta complejidad para contar, su E- A fue de 80  $\mu\text{m}$ , su E-TA fue de 3.15  $\mu\text{m}$  en la porción inflada del centro y en los extremos estrechos sus terminaciones fueron agudas. Presentó 18 fíbulas gruesas muy bien definidas y 30 estrías en 10  $\mu\text{m}$ . En ML (100X) con material previamente tratado se observaron muy definidas las valvas (Fig. 11 A).

Mediante MEB, una valva fragmentada tuvo un E-TA de 3  $\mu\text{m}$  y su E-A no fue posible determinar. En 10  $\mu\text{m}$  presentó 20 fíbulas bien silicificadas y definidas y 35 estrías menos silicificadas poco claras (Fig. 11 B y C). Presentó una hilera de poroides cuadrados con esquinas poco redondeadas (Fig.11 C). En uno de sus extremos se observó que los poroides no son del todo cuadrados sino que tienen la apariencia de una doble hilera de poroides (Fig. 11 D).

Distribución:

Se encontró en la estación E- 28 (11/Abr/2000) del Crucero PACMEX III 2000. Se ha reportado en el Golfo de Tehuantepec y como especie planctónica posiblemente cosmopolita (Hernández-Becerril y Diaz-Almeyda, 2006) y Hasle y Syvertsen, (1997) la refieren como cosmopolita.

6.- *Pseudonitzschia lineola* (Cleve) Hasle. Fig. 12 (A-C).

Basiónimo: *Nitzschia lineola* Cleve

Sinónimo: *Nitzschia barkleyi* Hustedt.

Referencias: Hasle 1965, p. 29, Lám. 2, Figs. 4 y 5, Lám. 12, Figs. 15-21; Lám. 13, figs. 11-14; Lám. 14, figs. 1-3.

Simonsen 1974, Lám. 39, Figs 4-6.

Hasle y Syvertsen 1997, p.317, Lám. 71, Tabla 15

Hernández-Becerril, 1998, p.80, Figs. 12-16.

En la literatura se ha citado que forma cadenas escalonadas. Mediante MET se observó un segmento de la valva con un E-TA de 2.81  $\mu\text{m}$  (Fig. 12 A). Presentó 14 fíbulas robustas y 24 estrías bien definidas (casi tan anchas como los interestrías) en 10  $\mu\text{m}$ . Presentó una hilera de poroides circulares bien definidos; sus estrías fueron casi rectas (Fig. 12 A y C). En 1  $\mu\text{m}$ , se contó con 4 poroides, la forma de estos fue de circular a rectangular con esquinas redondeadas. En su interior se observó una división que formó a dos sectores (Fig. 12 B). El ápice observado tuvo una terminación aguda con punta redondeada y alargada, por donde se proyectó el canal del rafe.

Distribución: Se encontró en la estación E-22 (10/Abr/2000) de PACMEX III, 2000. Se ha reportado como cosmopolita (Hasle y Syvertsen, 1997).

7.- *Pseudonitzschia pseudodelicatissima* (Hasle) Hasle. Fig. 13 (A y B).

Basiónimo: *Nitzschia pseudodelicatisima* Hasle

Sinónimo: *Nitzschia delicatula* Hasle non *Nitzschia delicatissima* Skovortzow (vide Hasle & Mendiola, 1967, p. 115).

En ML (40X) se encontró una cadena escalonada con 3 células unidas. En vista cingular, presentó una forma lineal ligeramente lanceolada con un E-A de 75 µm, sus terminaciones fueron agudas y muy poco redondeadas. En la cadena, su proporción de unión fue del 10% (Fig. 13 A). En MET, se observó un segmento de la valva en V. V. mostrando estrías rectas y anchas, formadas por una hilera de poroides rectangulares con esquinas redondeadas los cuales presentaron una división formando 2 ó 3 sectores, cubiertos por una tenue capa de velum. Se contaron 5 poroides en 1 µm. Su E-TA fue de 1.14 µm, aproximadamente. Sus fíbulas fueron delgadas (respecto a las estrías) con aspecto definido (Fig. 1 B).

Distribución: Se encontró en la estación E-22 (10/Abr./2000) de PACMEX III, 2000 y la estación E-13 (6/Sept./2006) de Tehua IV 2006. Hasle y Syvertsen (1997), la reportaron como componente predominante en plancton del Atlántico norte en ocasiones y puede ser cosmopolita.

8.- *Pseudonitzschia pungens* (Grunow) Hasle. Fig. 14 (A-D), Fig. 15 (A-D), Fig. 16 (A-C).

Sinónimo: *Nitzschia pungens* var. *atlantica* Cleve

Referencias. Hasle 1965, p.12; Lám. 1, Figs. 4 y 5; Lám. 5, Figs. 7-9; lám 6, Fig. 3, Lám. 7, Figs. 1-8.

Horner 2002, p. 106,

Fryxell y Hasle 2003,

Kaczmarska *et al.*, 2005, p. 16; Figs. 48-52

En ML se observaron varias células formando cadenas escalonadas con 2, 3 o más células (Fig. 14 A-D), la mayoría de las veces se reconocieron en vista cingular con una forma casi lineal y estrecha muy poco lanceolada y simétrica, sus bordes fueron paralelos en la mayor parte de la valva, sus ápices fueron estrechos con terminaciones rostradas (Fig. 14 C-D). En MEB la forma fue lineal con ápices agudos que terminaron



en pequeñas puntas redondeadas (Fig. 15 A). Su Eje apical fue de 104-133  $\mu\text{m}$  y una proporción de unión de la cadena de 1/3 de su E-A. En preparaciones en fresco se observaron también los dos cloroplastos dispuestos hacia los extremos de la valva (Fig. 14 A y D). Se observaron fíbulas robustas con una densidad de 12-15 fíbulas y de 12-13 estrías en 10  $\mu\text{m}$  (Fig. 14 B). Mediante MEB la densidad fibular fue de 14 fíbulas, igualmente de estrías. Esta especie no presenta un interespacio central. Se apreciaron 2 hileras de poroides dentro de las estrías, aunque también se detectó una estría con una sola hilera de poroides (Fig. 15 B). En 1  $\mu\text{m}$  se contó con 3 poroides, los cuales fueron grandes con forma ovalada irregular en el centro de la valva (Fig. 15 B). Se observaron sus ápices casi lineales, con puntas agudas, redondeadas. Hacia los extremos de la valva, los poroides fueron más pequeños y casi redondeados (Fig. 15 C y D). También se observaron bandas de sílice con una hilera de poroides elípticos y alargados (2 en 1  $\mu\text{m}$ ) y valvocopulas unidas a las valvas (Fig. 16 A y B). En MET, en un segmento de la valva se observaron principalmente las fíbulas muy silicificadas correspondiente en número con el número de las estrías en proporción 1:1, bajo las fíbulas se apreció un segmento del canal del rafe muy delgado. Otros caracteres marcados fueron las estrías rectas, los poroides internos de forma ovalada e irregular cubiertos tenuemente por velum y un fragmento de valvocopula en la parte superior (Fig. 16 C).

#### Distribución:

Se encontraron en las estaciones E-22 (10/Abr./2000), E-28 (11/Abr./2000) y en la estación E-28 (8/Sept/2006) del crucero Tehua IV 2006. Se ha repostado como cosmopolita (Hasle y Syvertsen, 1997).

9.- *Pseudonitzschia roundii* Hernández-Becerril in Hernández-Becerril et Díaz-Almeyda. Fig. 117 (A-F).

Referencias: Hernández-Becerril y Díaz-Almeyda 2006, p.299, Figs. 19-27.

En ML se observaron cadenas escalonadas con 2 a 4 células unidas por el traslape de sus ápices con una proporción de 1/5 respecto al E-A (Fig. 17 A y B). Su forma en V. C. fue lanceolada sigmoide en los dos extremos y puntas redondeadas, totalmente asimétrica (Fig. 17 A). En V. V. fue lanceolada con un margen casi recto y el otro convexo, de apariencia sigmoide y asimétrica (Fig. 17 A y C). La frústula fue poco silicificada por lo que pocos caracteres fueron visibles en ML. En MEB, el E-A midió

53  $\mu\text{m}$  y su E-TA fue de 6.3  $\mu\text{m}$ . Presentó un largo interespacio central, de forma rectangular con un pseudonódulo en su centro y canal del rafe (Fig. 17 C). Presentó de 16-18 fíbulas y de 31-32 estrías, en 10  $\mu\text{m}$ . En cada una de ellas se presentó 1 hilera de poroides largos de forma casi cuadrada a rectangular con esquinas redondeadas, divididos en 2-4 sectores. En 1  $\mu\text{m}$  se contaron 4 poroides, en su interior se observaron 4 poros muy pequeños replegados a las esquinas del poroide (Fig. 17 D). Sus extremos valvares terminaron en puntas redondeadas. En el centro de estas puntas se observó el extremo terminal del canal del rafe excéntrico

#### Distribución:

Se encontró en la estación E-22 (10/Abr./2000), estación E-58 (13/Abr./20000) de PACMEX III, 2000. En el Golfo de Tehuantepec a los 15° 49.65'N, 93°45.28'W (Hernández-Becerril y Díaz-Almeyda, 2006).

10.- *Pseudonitzschia subfraudulenta* (Hasle) Hasle. Fig. 18 (A-E) y Fig. 19 (A-D).

Basiónimo: *Nitzschia subfraudulenta*.

Referencias: Hasle 1965, p. 18, Lám. 8, Fig. 6 y 7; Lám. 9 y Figs. 1-8.

Hasle 1996. p. 313, Lám 70.

Simonsen 1974, p.55; Lámina 39, Figs. 7 y 8.

En Tomas (Ed.), 1997. Hallegraef *et al*, 2005, p. 490, Fig. 14, D-G, Tabla 17.5.

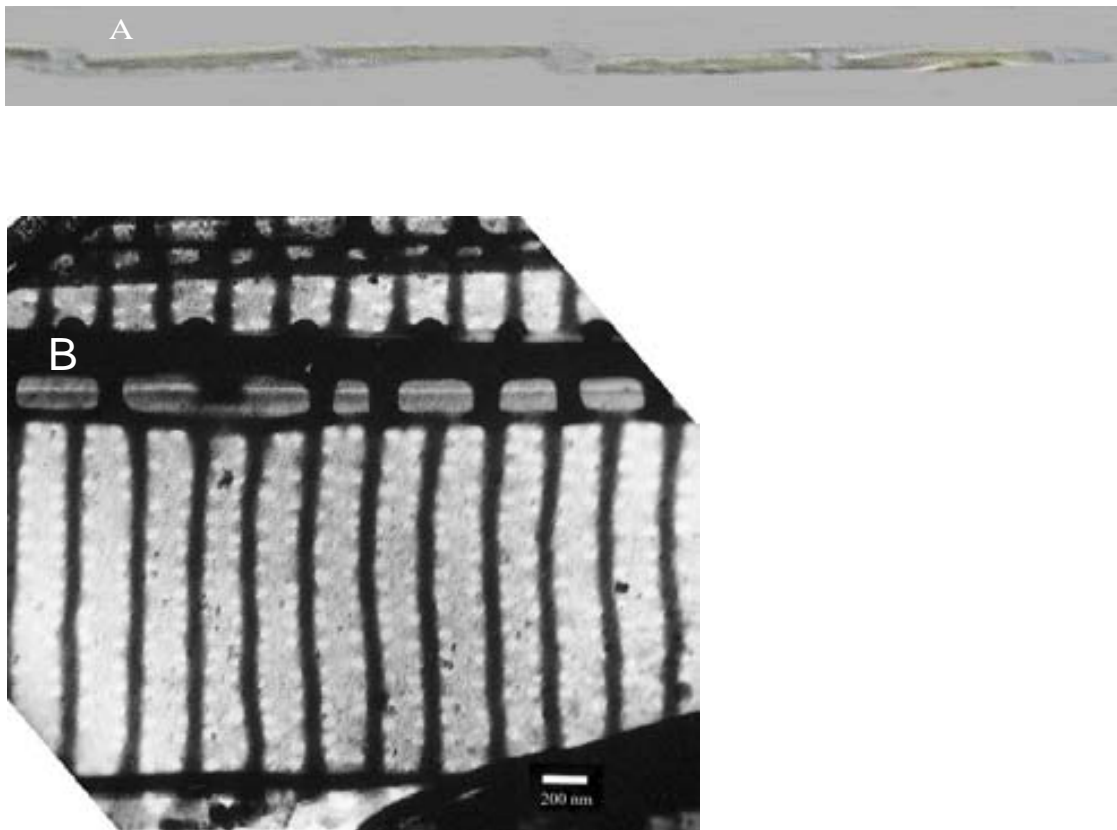
En ML se observaron cadenas escalonadas de 2 y 4 células unidas por sus ápices en una proporción de 1/5 de su E-A. Su forma fue lanceolada con márgenes paralelos especialmente en el centro y terminaciones agudas, no se observaron fíbulas ni estrías (Fig. 16 A). Sus ápices estrechos, terminaron en puntas redondeadas (Fig. 18 D y Fig. 19 C). Su valva fue un poco asimétrica respecto al eje apical (Fig. 186 A y B y Fig. 19 C). En MEB, se midió su E-A con 71.11  $\mu\text{m}$  (Fig. 19 A) y su E-TA de 4.25  $\mu\text{m}$ . Presentó 14 fíbulas gruesas y 24 estrías casi rectas en 10  $\mu\text{m}$  (Fig. 19 B). Las estrías se formaron por 2 hileras de poroides, muy pequeños y redondos casi pegados al borde la estría (Fig. 19 C y D). En 1  $\mu\text{m}$  presentó a 6 de ellos (Fig. 19 D). En MEB y MET, se observó la presencia de un I-E central ovalado alargado (Fig. 18 E y Fig. 19 B) con un pseudonódulo en su interior y la presencia del fino canal del rafe (Fig. 18 C, E y Fig. 17 D) proyectado un poco más de la fíbula externa de cada terminación (Fig. 16 D y Fig. 19 C). También se observó un segmento de banda cingular (en MEB) con una anchura de

500 nm y presentó dos hileras de poroides alargados; de estos, 7 se contaron en 1  $\mu\text{m}$  (Fig.18 C y D).

Distribución:

Se encontró en la estación E-22 (10/Abr./2000) de PACMEX III, 2000. Se ha reportado en regiones de aguas cálidas a templadas (Hasle y Syvertsen, 1997).

## 7.7) FIGURAS DE LAS ESPECIES REGISTRADAS



**Fig. 7 (A y B) *Pseudonitzschia delicatissima*:** A) Cadena escalonada, en fresco en ML (a 40X). En vista cingular presentó una forma muy tenuemente lanceolada en el centro y hacia los extremos poco agudos, se observaron las terminaciones cortadas y redondeadas en las uniones. La proporción de unión de la cadena correspondió a un 1/11 ó 9% respecto a la magnitud del Eje Apical. Dos cloroplastos ampliamente distribuidos del centro a los extremos de la valva son característicos en material vivo. B) Segmento obtenido en MET que mostró el interespacio central alargado con un pseudonódulo interno en posición central, rodeados por fíbulas gruesas; sus estrías un poco ondulantes a lo largo del Eje Apical conteniendo poroides irregularmente distribuídos (unos más juntos que otros) y posición casi alternada y tamaño de casi  $\frac{1}{4}$  del ancho de la estría.

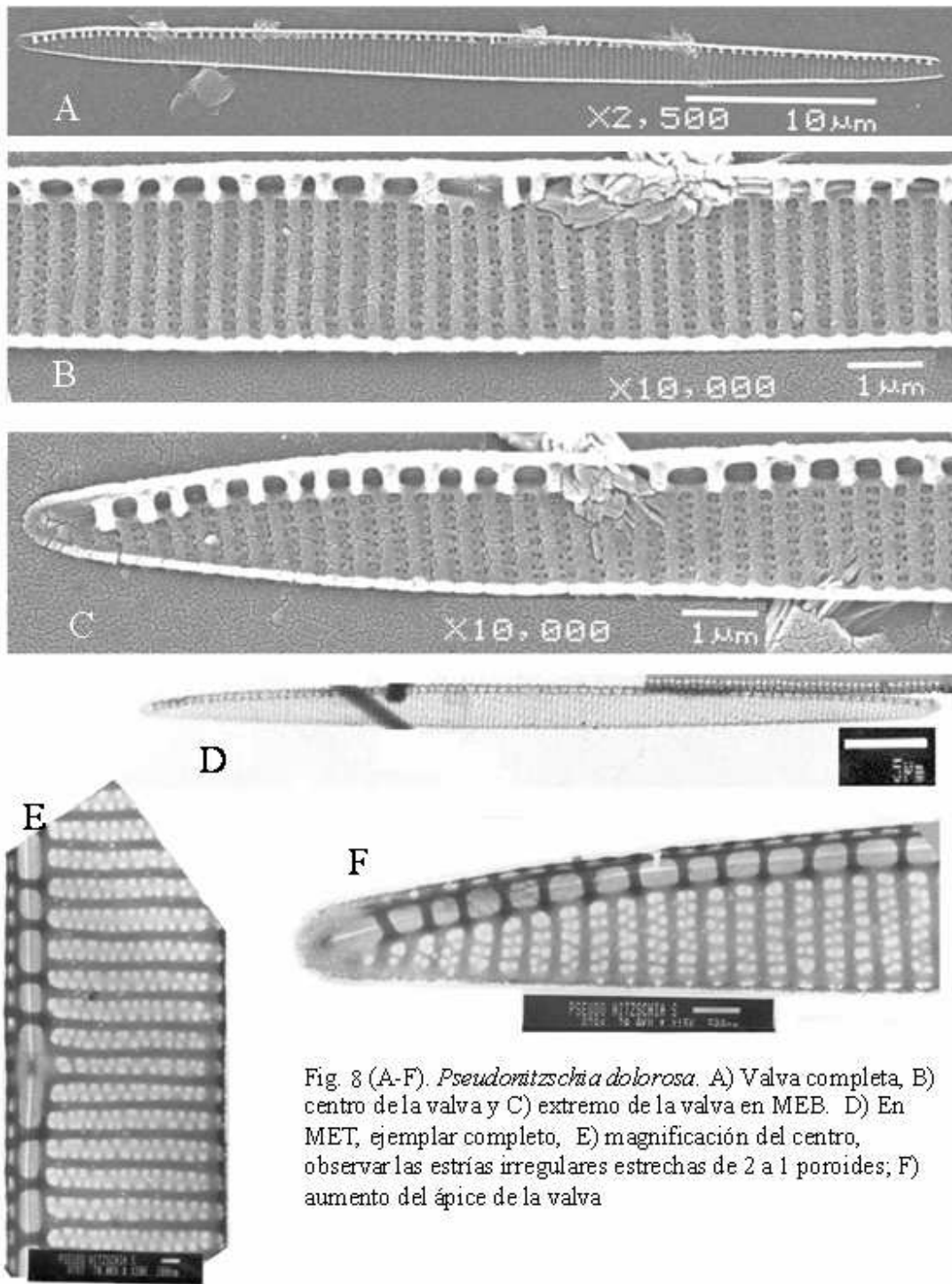
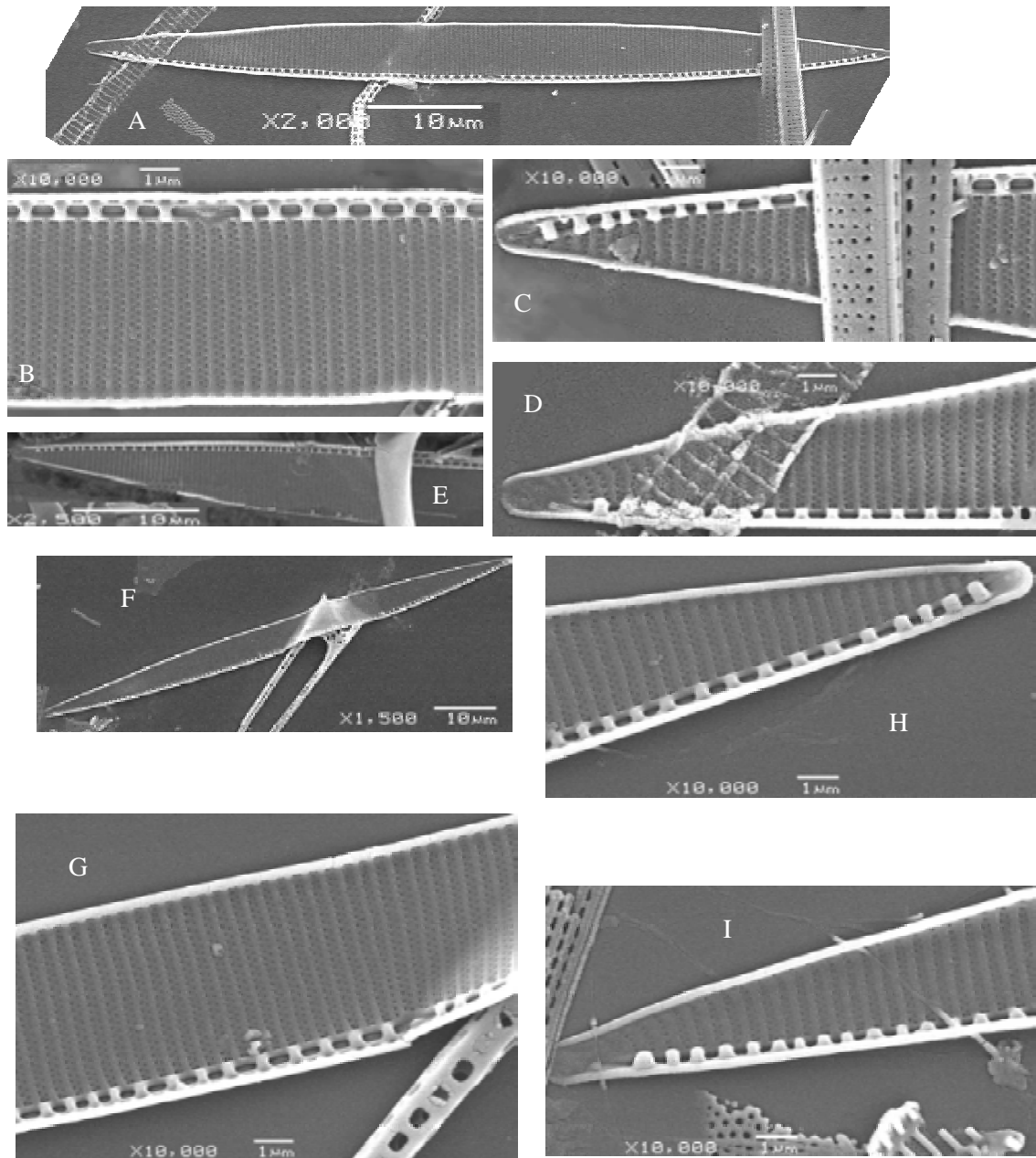
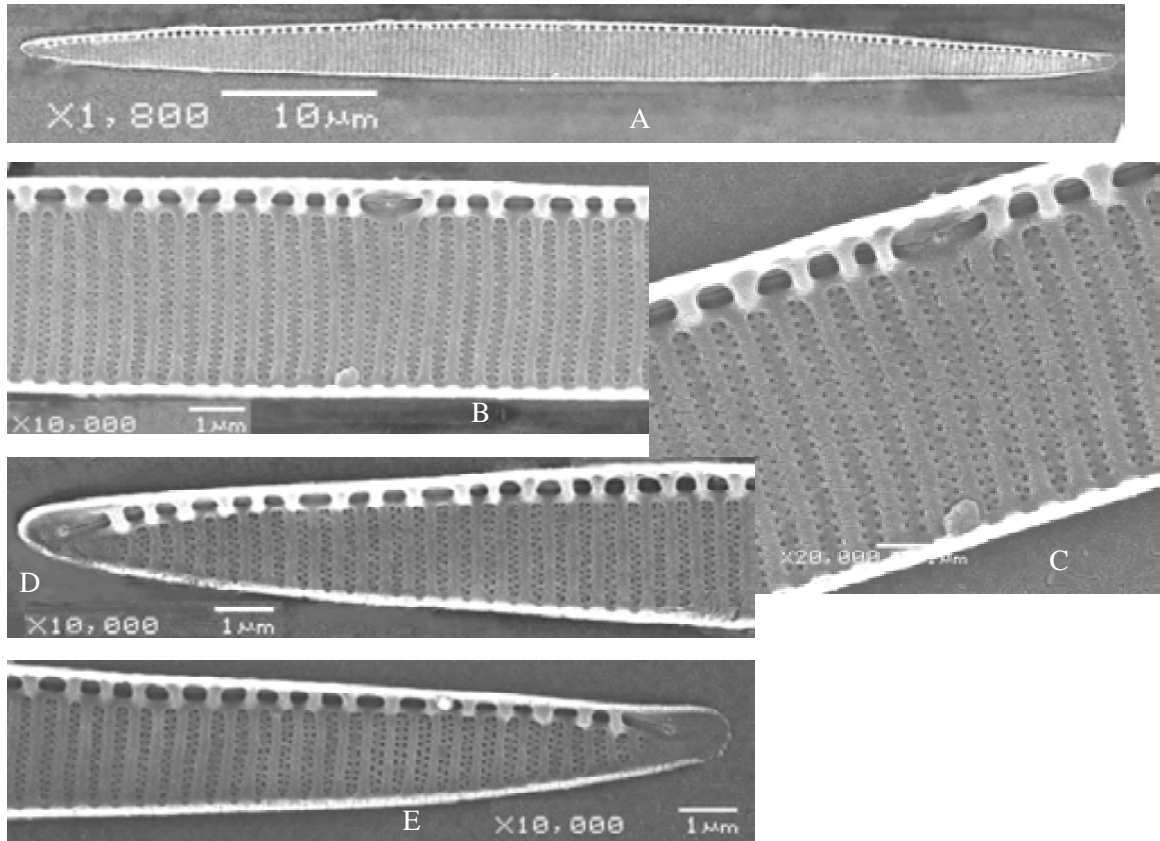


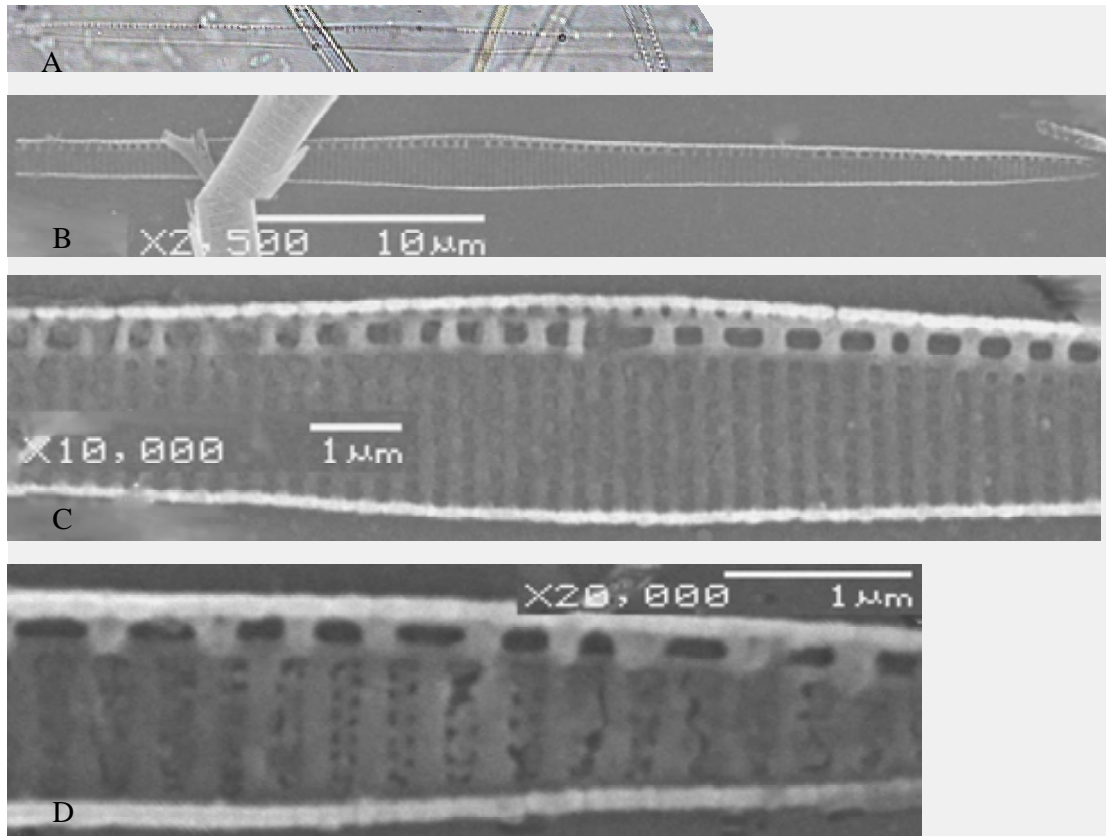
Fig. 8 (A-F). *Pseudonitzschia dolorosa*. A) Valva completa, B) centro de la valva y C) extremo de la valva en MEB. D) En MET, ejemplar completo, E) magnificación del centro, observar las estrias irregulares estrechas de 2 a 1 poroides; F) aumento del ápice de la valva



**Fig. 9 (A-I).**- *Pseudonitzschia fraudulenta*: En MEB, A) Se observó 1 valva completa envista valvar. con la forma lanceolada de bordes curvos y terminaciones agudas. B) Una magnificación del centro mostrando su interespaciocentral con pseudonódulo interno y canal del rafe, fíbulas gruesas, estrías rectas y poroides bien definidos con disposición alternada. C y D) Las dos terminaciones agudas de la valva y los extremos del canal del rafe. E) Un segmento de otra valva con una terminación característica. F-I), otra valva observada en MEB. F) y G) Se observó la flexibilidad de esta valva a pesar de su estructura de sílice, en G debajo del I-E central una de las estrías es casi de 1hilera de poroides. H e I) Fueron muy definidas las terminaciones anchas y agudas de la valva.

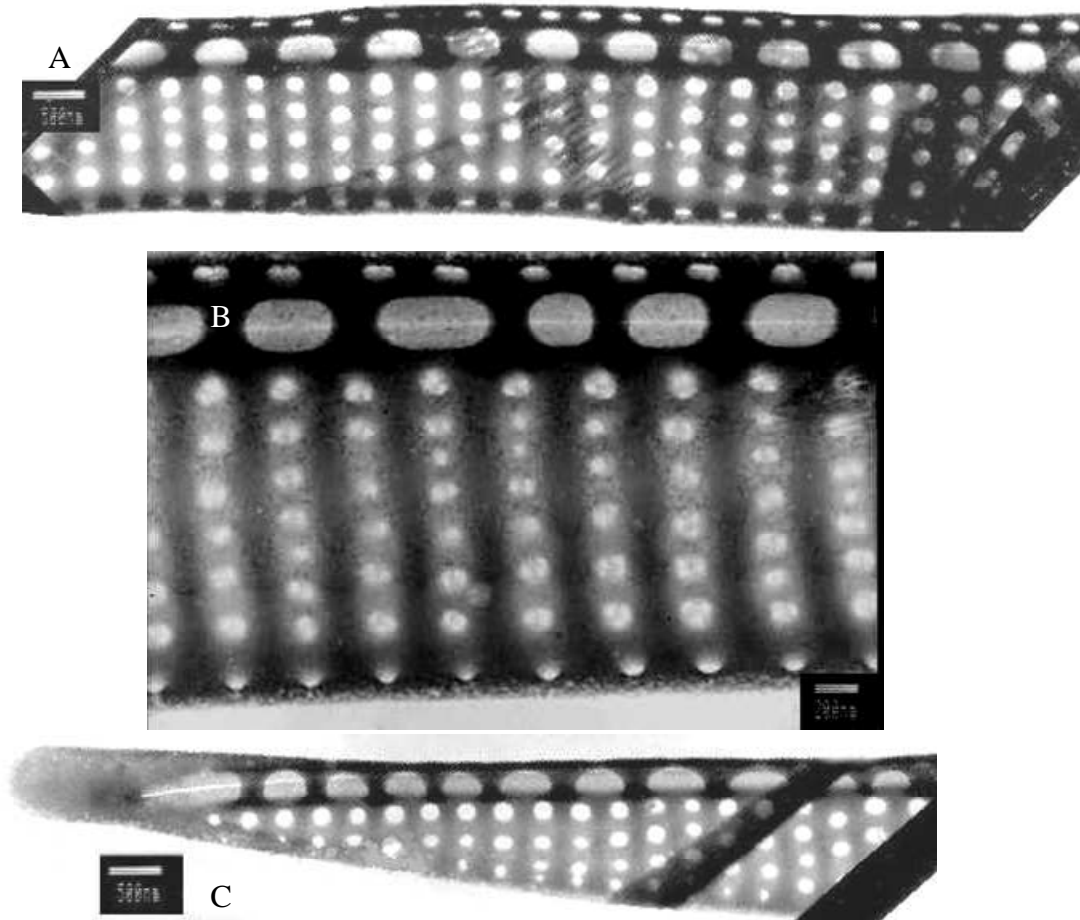


**Fig. 10 (A-E) *Pseudonitzschia heimi*:** A) Mostró la forma general de la valva y en el centro un pequeño interespacio central, rodeado de fíbulas robustas. B) Con una porción del centro de la valva, estrías e interestrías casi con la misma anchura, formadas de poroides muy pequeños pegados a los lados de las estrías. C) Ampliación del mismo centro, en el I-E central se observa un céntrico pseudonódulo donde se une el fino canal de rafe. Los poroides son muy pequeños. D y E) Terminaciones de la misma valva; en E), la terminación es ligeramente sigmoide respecto a la otra, que otorga un carácter de heteropolaridad en el eje apical.

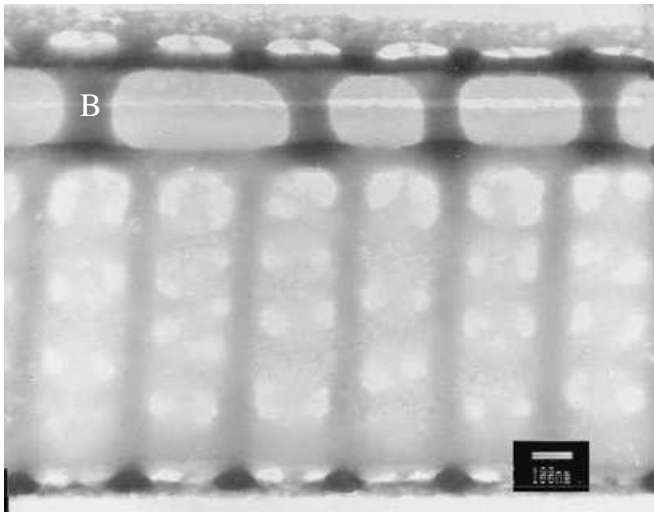


**Fig. 11 (A-D) *Pseudonitzschia inflatula*:** A) Corresponde a un fragmento de valva hallada en una preparación permanente en Naphrax (100X), principalmente la porción central es inflada respecto al resto de la valva estrecha. Difícilmente se aprecia el interespacio central y las fíbulas en ML. Su terminación es aguda y redondeada. B) Mediante la MEB, se distinguen el I-E central, las fíbulas definidas y tenuemente las estrías. C) El centro magnificado con la inflación central, un pequeño I-E central más claro, las fíbulas son muy claras y las estrías tenuemente visibles formadas por poroides cuadrados. D) Segmento de la terminación de la valva donde se aprecian las estrías regularmente lineales formadas por poroides cuadrados con tabicación o sectorización de sílice que se aprecia como dos hileras de poroides.

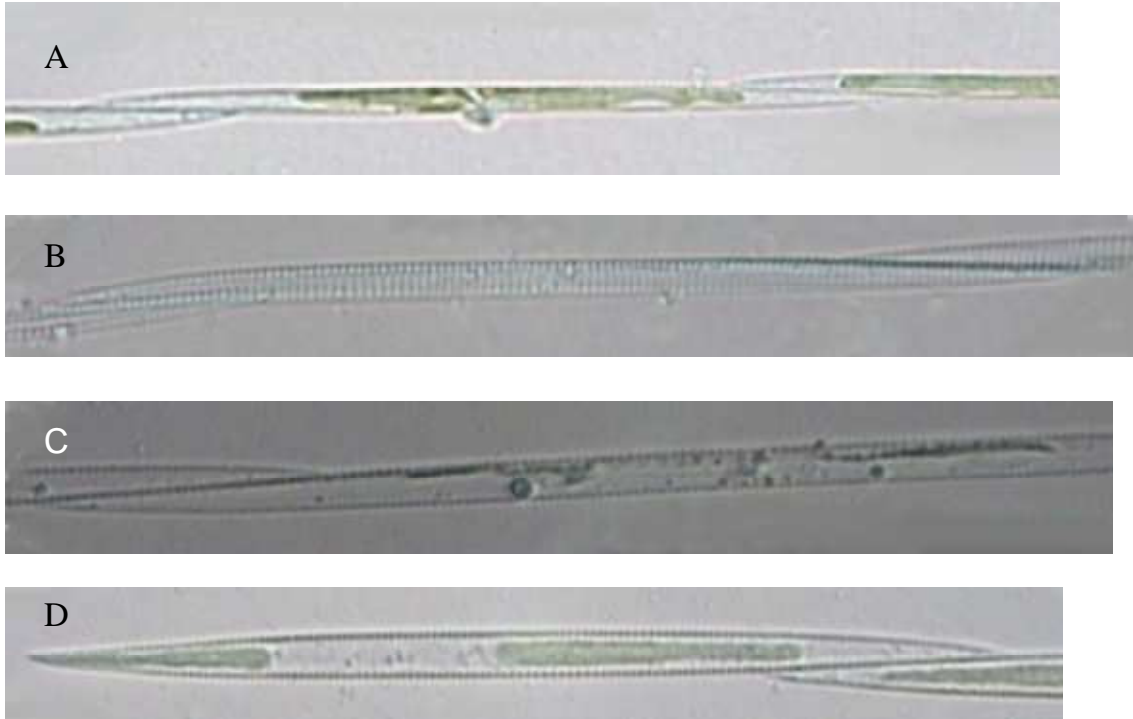




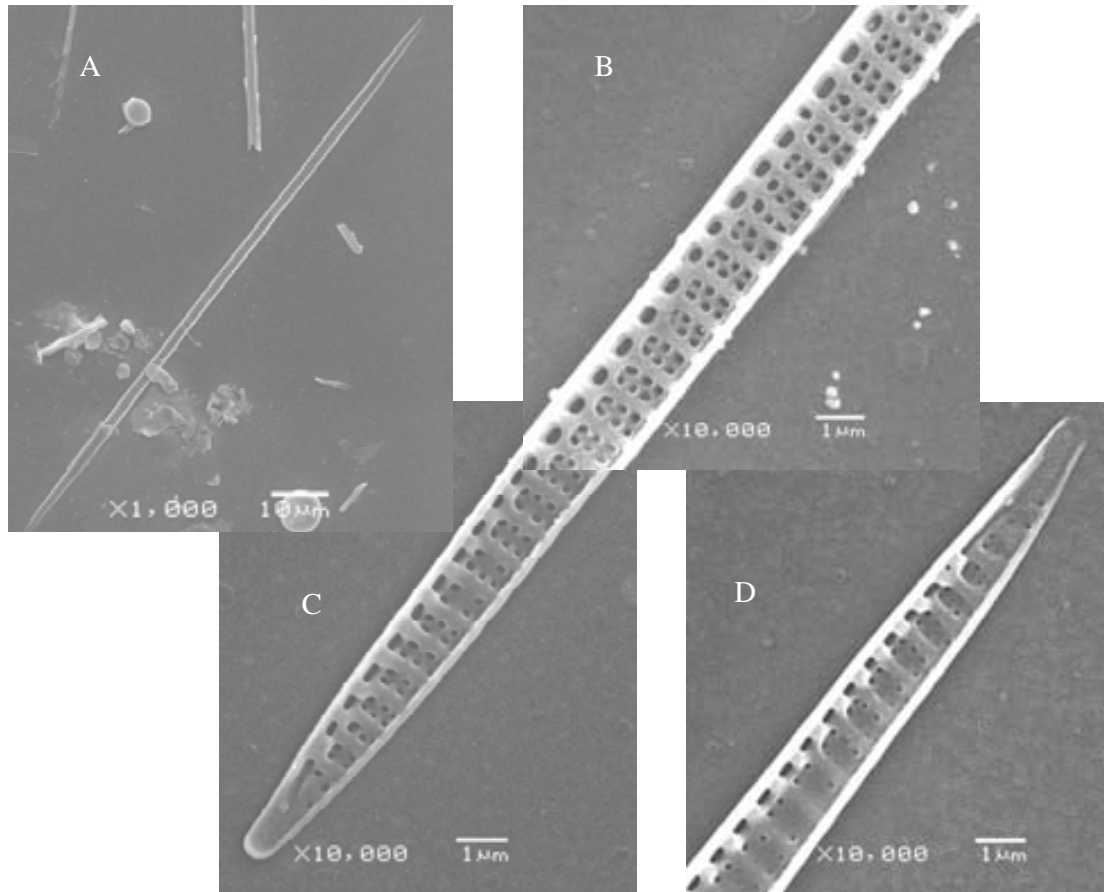
**Fig. 12 (A-C) *Pseudonitzschia lineola*:** En MET, A) un segmento de la valva, muestra parte de su valva estrecha con hileras de poroides, redondos y grandes. B) Magnificación de un segmento de la valva donde se observan las fíbulas gruesas casi tan anchas como las estrías e interestrías y cada poroide en su centro tiene una división silíceá con dos o tres sectores. C) La terminación de la valva fue aguda con una terminación redondeada poco prolongada y pequeña con el extremo terminal del canal del rafe.



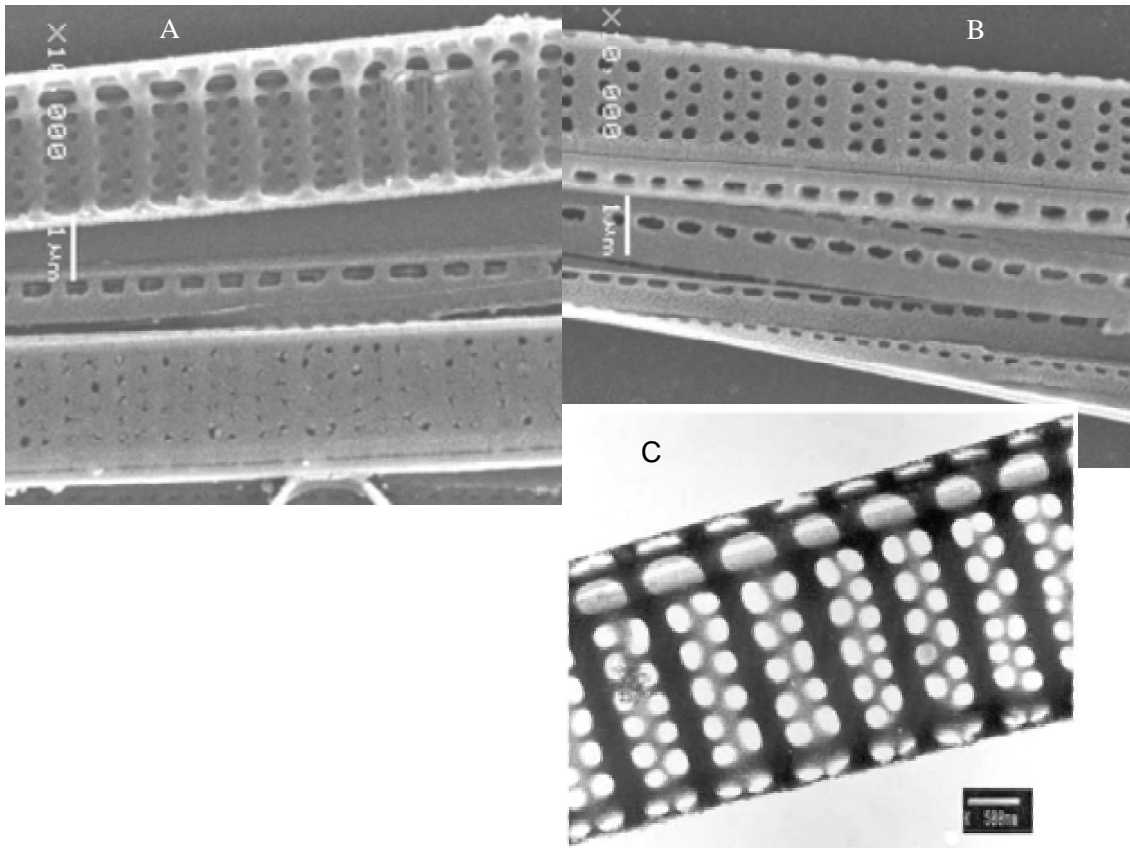
**Fig. 13 (A y B)** *Pseudonitzschia pseudodelicatissima*: A) Mediante la ML se observó en fresco (40X), una cadena escalonada con 3 células muy delgadas con puntas agudas y ligeramente alargadas en la unión (pequeño carácter que la distingue de *P. delicatissima* en vista cingular). B) Fragmento de una valva observada en MET, con un E-TA de 1.14  $\mu\text{m}$ ; presenta una hilera de poroides casi rectangulares con esquinas redondeadas cubiertos por himenio de aspecto nebuloso en cara valvar, en cada poroide se observaron dos o tres sectores. En 1  $\mu\text{m}$  se contó con 5 poros.



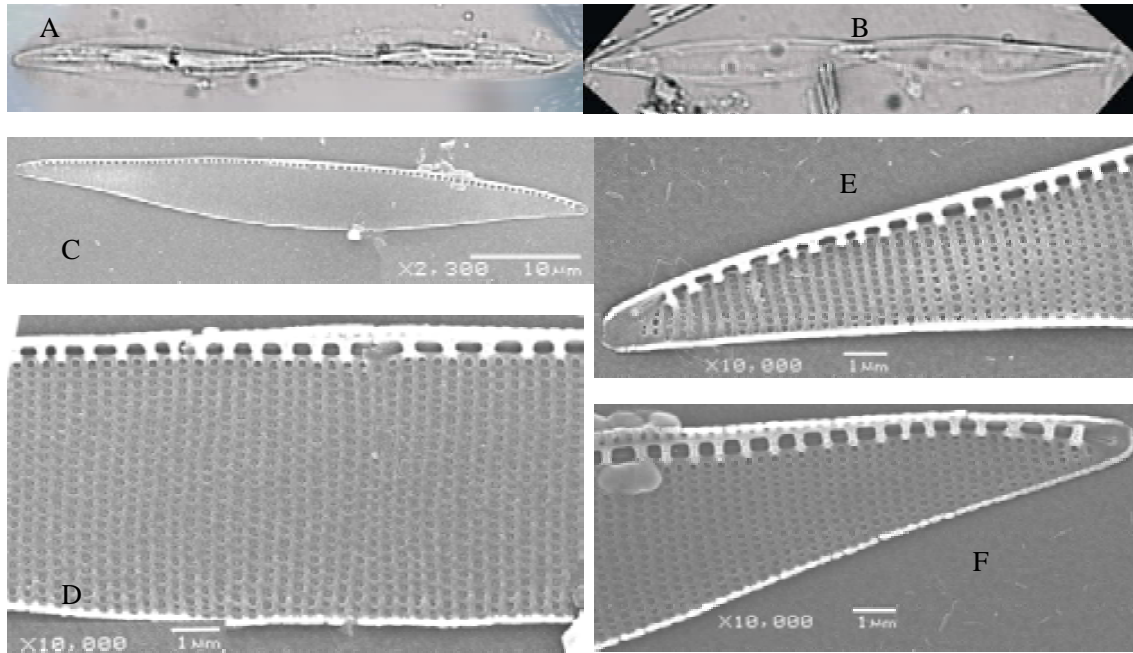
**Fig. 14 (A-D) *Pseudonitzschia pungens*:** Observaciones en fresco de valvas en vista cingular por ML (40X), resaltando la forma lanceolada alargada con ápices agudos que se unen formando una cadena escalonada típica del género. A y D) La presencia de dos cloroplastos ampliamente distribuidos en la valva. B y C) Las valvas vacías permitieron observar las estrías y las fíbulas en el mismo número y grosor, carentes de interespacio central. A-D) Se apreció la porción de unión entre las células, propia de la especie y la tendencia escalonada de la cadena.



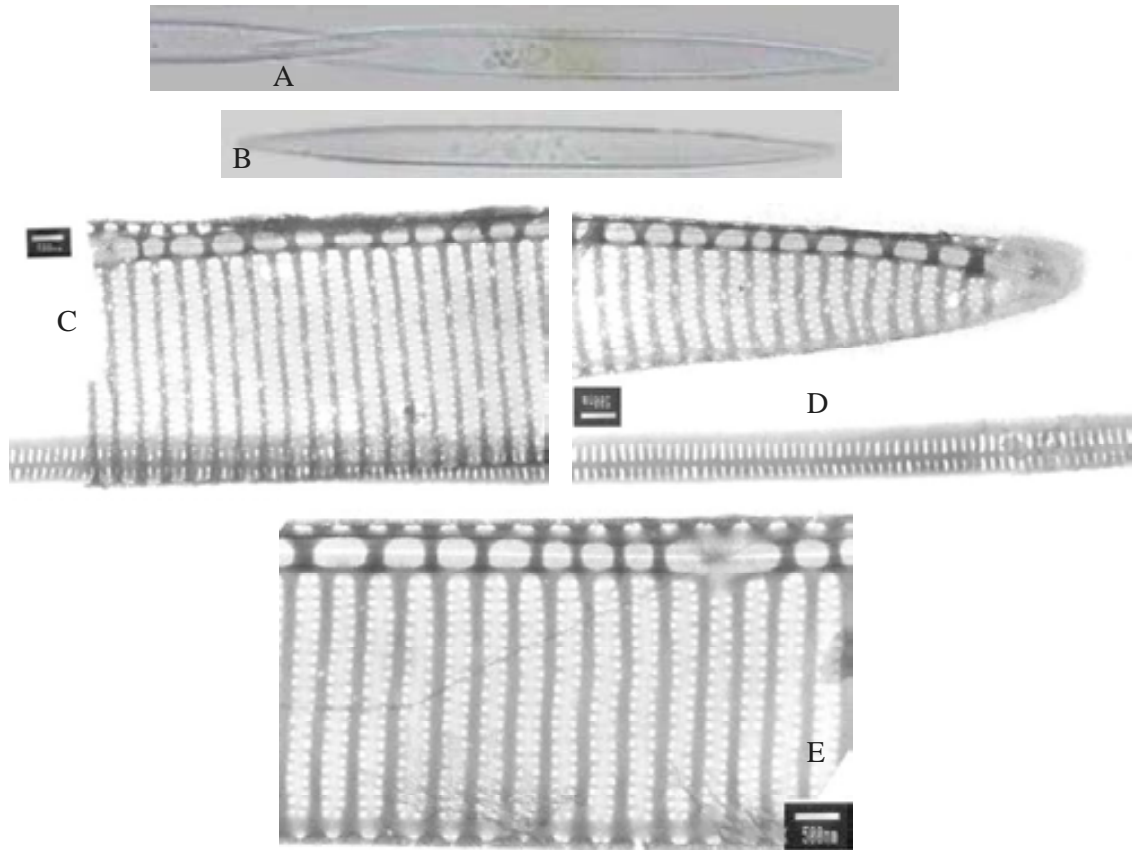
**Fig. 15 (A-D) *Pseudonitzschia pungens*:** Por medio de MEB, A) una valva, con forma lineal en vista valvar de extremos agudos. B) El centro magnificado, con ausencia del interespacio central. Las fibulas gruesas muy silicificadas alternadas con las estrías que contienen a 2 hileras de poroides, excepto una HP al centro. Comúnmente se conoce que esta especie tiene dos hileras de poroides, en este caso no es claro si esa variante se debe a un desarrollo incompleto o alguna mutación. C y D) Se apreciaron las terminaciones agudas de la misma valva con ápices redondeados y pequeños.



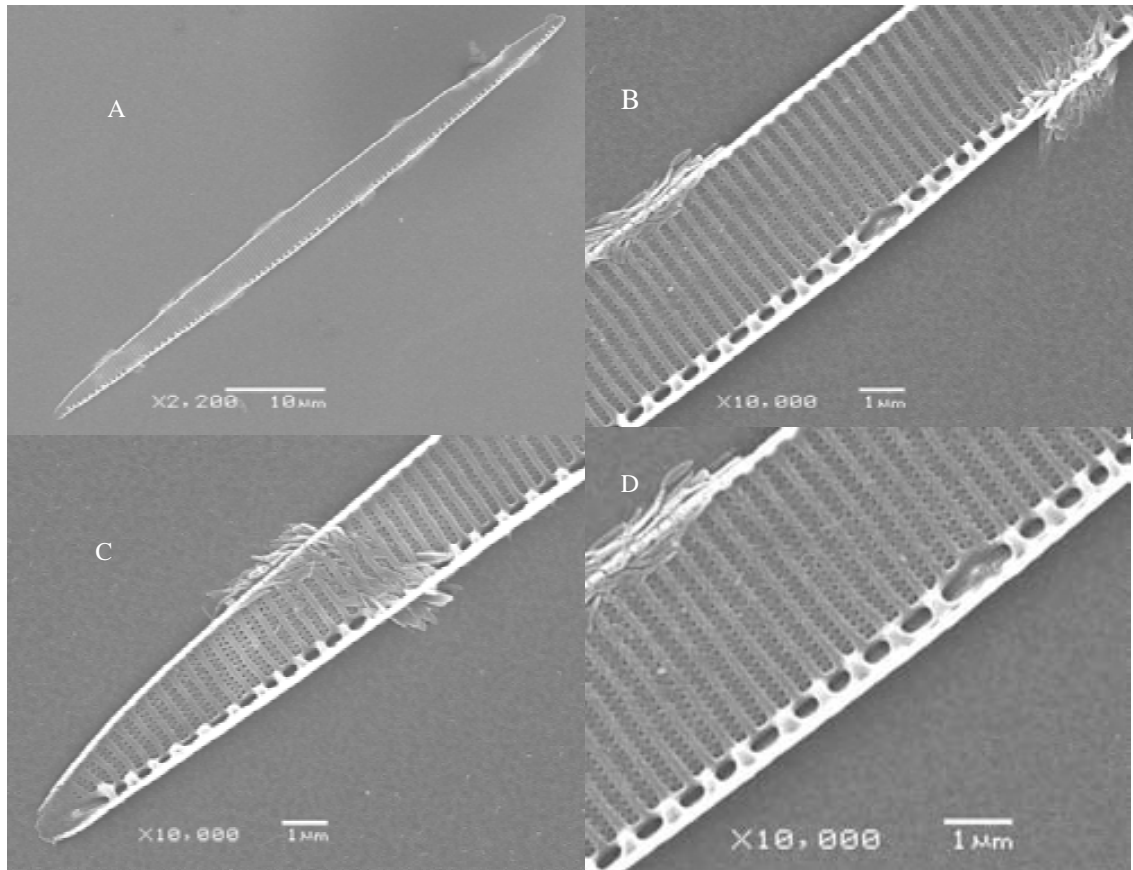
**Fig. 16 (A-C) *Pseudonitzschia pungens*:** MEB A) se observaron las bandas silíceas arriba una valva y otra abajo, en medio de ambas una valvocopula. B) una valva arriba seguida de una valvocopula y dos bandas hacia abajo. MET C) se observaron los poroides grandes y ovalados, cubiertos tenuemente por velum. Se apreció el fino canal del rafe bajo las gruesas fíbulas. En el borde superior se apreció una valvocopula. Delgada.



**Fig. 17 (A-F) *Pseudonitzschia roundii*:** A y B) Fueron dos observaciones en agua, mediante ML (40X). A) En vista cingular, una cadena con dos células, de forma sigmoide en las terminaciones de las valvas. B) En vista valvar, se apreció un centro valvar muy ancho y asimétrico, el Eje apical y la porción de unión de las dos células. Las cuatro figuras de abajo mediante MEB, C) una valva completa con el E-TA marcadamente más ancho y los ápices más atenuados y redondeados. Abajo, D) una ampliación del centro, presentó un corto interespacio central y un pseudonódulo en su interior, junto con un fino canal del rafe. También se apreciaron las robustas fíbulas, derivando en tres estrías cada una y sus poroides cuadrados con esquinas suavemente redondeadas. De lado derecho, E y F) se observaron los ápices de la valva con sus terminaciones anchas y ápices redondeados relativamente, ligeramente sigmoides y los extremos del canal del rafe.



**Fig. 18 (A-E)** *Pseudonitzschia subfraudulenta*: A y B) dos preparaciones en agua observadas por ML (40X), se apreció la forma casi lanceolada de la valva, excepto por los bordes paralelos en la porción central que concluyeron en la valva atenuándose marcadamente con ápices agudos. En A) una cadena sencilla mostró la porción de unión de las dos células. MET, C) mostró el I-E central alargado y elíptico de una valva con un pseudonódulo ligeramente excéntrico y el paso del canal del rafe. Las fíbulas definidas bien silicificadas y las estrías rectas bien definidas. Presentó dos hileras de poroides diminutos pegados a los lados de las estrías con distribución paralela. También se apreció una banda cingular con dos hileras de poroides alargados. D) Se observó la terminación de la valva con un ápice agudo redondeado y muy corto, en el que se extendió el canal del rafe. También se observó la continuación de la valva singular con poroides alargados. E) El centro magnificado de otra valva de la misma especie, con un interespacio central completo.



**Fig. 19 (A-C) *Pseudonitzschia subfraudulenta*:** MEB A) se observó el contorno de una valva en vista valvar, de forma casi lanceolada con dos márgenes paralelos en la porción central principalmente; sus ápices fueron agudos con terminaciones redondeadas. B) Se reconoció la presencia del interespacio central con un pseudonódulo interior; sus fíbulas gruesas y estrías casi rectas formadas de poroides muy pequeños. C) En el ápice con terminación redondeada, se distinguió un margen ligeramente curvo respecto al otro, y dos hileras de poroides en las estrías, claramente visibles. D) Una magnificación del centro donde se observó mejor la presencia del fino canal del rafe y se determinó del número de poroides en 1  $\mu\text{m}$ .



## 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 8.1) DIVERSIDAD DE LAS ESPECIES:

Como se ha mencionado antes, se registraron 10 especies planctónicas del género *Pseudonitzschia* en el área de estudio del Golfo de Tehuantepec, de las cuales *P. dolorosa* y *P. heimií* fueron dos registros nuevos para la flora del Pacífico mexicano y especialmente para la flora local del Golfo de Tehuantepec. Su identificación y descripción fueron posibles gracias a la utilización de la Microscopía Electrónica de Barrido y de Transmisión exclusivamente, por presentar mayor resolución de detalles de las valvas y el desarrollo de mediciones con cierta dificultad en el caso de la *P. dolorosa*.

En el Pacífico mexicano previamente se han reconocido a 10 especies del género, son *Pseudonitzschia delicatissima*, *P. pseudodelicatissima* y *P. subfraudulenta* en el Golfo de California (Hasle, 1965; p. 18); *Pseudonitzschia americana*, *P. australis*, *P. fraudulenta*, *P. lineola*, *P. pungens* y recientemente a *Pseudonitzschia roundii* y *P. inflatula* (Hernández-Becerril y Díaz-Almeyda, 2006).

En el actual trabajo se identificaron a 8 de éstas 10 especies, es decir el 80% de la riqueza del Pacífico Mexicano, se identificó sólo para el área del Golfo de Tehuantepec; esto representa una considerable riqueza de especies y más alta en relación a las citas mencionadas. Si el género se compone de cerca de 24 especies confirmadas en el mundo (Hasle y Syvertsen, 1997) tan solo en esta área de estudio, se identificó al 41.67% del total de especies del género, en términos conservadores.

Este género recibió mayor seguimiento, desde que la biota marina y humana fueron afectadas por la presencia del Acido Domoico que produjeron algunos de sus miembros (Villac *et al*, 1993 y Kaczmarska *et al.*, 2005). En la identificación de sus miembros en muestras de los monitoreos efectuados, hubo confusiones debido a las limitaciones implícitas en la Microscopía de Luz. Es posible que en los antecedentes de identificación, las confusiones se hayan dado y transmitido, dando por hecho la presencia de ciertas especies (Hernández-Becerril y Díaz-Almeyda, 2006). Gracias a los estudios mediante las Microscopías Electrónicas, se ha contribuido enormemente en

la precisión de las identificaciones; sin embargo también se han presentado ciertas limitaciones donde la participación de los estudios moleculares es otra alternativa con mayor precisión en la identificación y otro aporte de más conocimientos (Lundholm *et al.*, 2003 y Lundholm *et al.*, 2006).

La identificación de estas especies generalmente inicia con una revisión rutinaria mediante ML, sin embargo su resolución no es suficiente para observar caracteres más finos como las fíbulas, las estrías y poroides divididos o no, los sectores y/o velum, por lo que es necesario someter a observación en Microscopía Electrónica de Barrido y de Transmisión a estas células (Hasle, 1965 y Rivera, 1985).

Uno de los problemas más graves a los que se ha enfrentado el taxónomo en la identificación de las especies de *Pseudontzschia* ha sido la confusión de las mismas al dar por hecho que ciertos caracteres morfológicos son suficientes al revisarlos en Microscopía de Luz o incluso en Microscopías Electrónicas, donde la complicación no es menor, como en este trabajo se manifestó. Una alternativa muy valiosa e importante que apoya a los análisis morfológicos ha sido la de desarrollar los análisis de secuencias moleculares, a través de ellos se obtiene información clara y precisa de cada especie. De acuerdo con antecedentes bibliográficos, es otra manera de identificar a cada especie sin lugar a dudas (Lundholm *et al.*, 2003 y Lundholm *et al.* 2006).

Algunas de las complicaciones enfrentadas al identificar a las especies, fueron:

1.- *P. pseudodelicatissima* en este caso, se analizó una valva en una muestra de agua en fresco mediante ML, la información visual obtenida no fue suficiente. Mediante la MEB, se encontró un fragmento asociado a esta especie, sin embargo, la falta de definición de los poroides y poros obstruidos por partículas muy finas impidieron tener una opinión suficiente para identificarla como ejemplar de esta especie. En la práctica nuevamente se realizó el proceso de limpieza muy meticulosamente con objeto de reconocer el tipo de poroides, en este caso no fueron suficientes las medidas de las tallas.

2.- *P. dolorosa*, en ML no fue accesible su identificación en medio de la variedad natural de diatomeas de este género. Los caracteres morfológicos expuestos mediante la MET, aún no fueron tan claros para asociar al ejemplar con la especie, algunos

caracteres están dentro de los intervalos morfométricos y alguno cae antes o después del intervalo. Uno de los rasgos propios de esta especie fue la presencia de una y dos Hileras de Poroides, intercaladas o en una estría. Tomando en cuenta a la mayoría de caracteres, se incluyó en esta determinación.

3.- *P. heimii*, no es distinguible en Microscopía de Luz (ML). En Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), fue posible reconocer la forma valvar casi lanceolada ya que uno de sus ápices fue ligeramente sigmoide. En ésta Microscopía Electrónica (ME) se determinó la magnitud de sus ejes apical, transapical así como los detalles de sus fíbulas, estrías y poroides. Especialmente las terminaciones de sus ápices y su carácter heteropolar.

4.- *P. pseudodelicatissima*, en ML, es confundible. En MEB sus poroides no fueron muy claros y visualmente se confunde con *P. delicatissima*, en la afinación de la técnica de tratamiento de la muestra se asegurará una mejor resolución en esta técnica para definir precisamente a la especie.

5.- *P. pungens*, fue distinguible en ML, en 40X y 100X donde se apreció el mismo número de estrías y fíbulas. Es importante el adiestramiento previo y visual de reconocer en muestras fijas o de cultivo pues la cara valvar es distinta de la cara cingular en forma y medidas por lo que las confusiones se reducen. En MEB fue posible conocer valvocopulas y bandas cingulares de la frústula. La forma y número de poroides fue acorde con la literatura consultada. Fue posible ver la tendencia de formación de hileras de poroides en una estría donde una Hilera de Poroides se va separando en 2HP (ver Fig. 13.B), relativamente similar a las HP de *P. dolorosa*.

6.- *P. lineola*, en ML no fue distinguible. En MET se observó la porción de la valva que es muy evidente en la forma de sus poros grandes y circulares.

## 8.2) FLORA EN REGIONES VECINAS:

La porción norte y sur del Océano Pacífico, respecto al Golfo de Tehuantepec, presentan especies de *Pseudonitzschia* que son constantes en la flora o que están en puntos más restringidos. En el Golfo de Tehuantepec, México se han registrado a *P.*

*delicatissima*, y *P. pungens* (Meave del Castillo y Hernández-Becerril, 1998); a *P. inflatula* y a *P. roundii* (Hernández-Becerril y Díaz-Almeyda, 2006).

En Mazatlán, Sin. al NW de la zona de estudio, se han reportado a 4 especies: *P. fraudulenta*, *P. pungens*, *P. pseudodelicatissima* y *P. subfraudulenta* (Gómez-Aguirre *et al.*, 2004); en Bahía de Banderas entre Nayarit y Jalisco se reportó a *P. pungens* (Bravo-Sierra, 1998). En las costas Oeste de Baja California fueron reportadas (fuera del Golfo de California) *P. australis* (Hernández-Becerril, 1998). En varios puntos, desde las costas oeste de Baja California al Golfo de Tehuantepec se ha registrado a *P. pungens*, *P. australis*, *P. fraudulenta*, *P. lineola* y *Nitzschia americana* hoy denominada *P. americana* (Hernández-Becerril, 1998). En aguas del Pacífico, Licea *et al.* (1999), reportaron a *P. fraudulenta*, *P. pungens*, *P. pseudodelicatissim*, y *P. subfraudulenta*.

Conforme a lo anterior se conoce poco a poco la amplia distribución en todo el Pacífico de los taxa del género como: *P. pungens* una especie muy distribuída de norte a sur del Océano Pacífico, *P. delicatissima* se encuentra a lo largo del Pacífico Mexicano. *P. australis* está distribuída en el norte de nuestro país mientras que en el sur del PacíficoMexicano se han identificado a *P. roundii*, y *P. inflatula*,

## 9. CONCLUSIONES

En el Golfo de Tehuantepec, México, fueron determinadas 10 especies planctónicas de diatomeas del género *Pseudonitzschia*:

*Pseudonitzschia delicatissima*

*P. dolorosa*

*P. fraudulenta*

*P. heimii*

*P. inflatula*

*P. lineola*

*P. pseudodelicatissima*

*P. pungens*

*P. roundii*

*P. subfraudulenta*

Las especies *P. dolorosa* y *P. heimii* son dos registros nuevos para el Pacífico Mexicano, se ubicaron en las coordenadas 15°38 Lat N, 94°52 Lon W y 15°21 Lat N, 94°49 Long W respectivamente en el mes de abril de 2000, su reconocimiento enriquece el listado florístico mexicano.

Se confirmó la presencia de *Pseudonitzschia roundii* en el Golfo de Tehuantepec en las coordenadas 14°22 Lat N, 93°12 Lon W y 15°38 Lat N, 94°52 Lon W.

*Pseudonitzschia inflatula*, *P. lineola* y las anteriores, se encontraron rara vez en algunas muestras.

Estas 6 especies no presentan reportes de toxicidad en la literatura citada.

Las 5 especies con antecedentes bibliográficos relacionados con toxicidad y que se determinaron en este trabajo, fueron *Pseudonitzschia delicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*, y *P. subfraudulenta*.

*Pseudonitzschia pungens* fue una de las especies más comunes en muestras de los cruceros PACMEX III, 2000 y de Tehua IV, 2006. Se puede considerar que el 50% de

las especies identificadas en este trabajo fueron consideradas potencialmente tóxicas en costas mexicanas, de acuerdo con la literatura.

Los caracteres morfológicos de importancia taxonómica que ayudaron a discernir entre estas, fueron el número de fíbulas y número de estrías en 10  $\mu\text{m}$ , el número de hileras de poroides, la forma del poroide, la presencia de poros internos, el patrón de distribución de éstos, el número de poros en 1 $\mu\text{m}$ , la forma de la terminación de la valva, su proporción de unión en la cadena escalonada.

Estos caracteres tan útiles, son visibles mediante Microscopía Electrónica, que la hace una herramienta indispensable en la determinación de estas especies.

## 10. LITERATURA CITADA:

- Almandoz, O. G., M. E. Ferrario, G.A. Ferreira, I.R. Schloss, J. L. Steves, F. E. Papparazzo, 2007. The genus *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) in ontinental shelf waters of Argentina (Souhtwestern Atlantic Ocean, 38-55°C) Harmfull Algae 6 (2007) 93-103.
- Anónimo 1975. Proposals for a standardization of diatom terminology and diagnosis. Nova Hedwigia, Beih. 53, 323-354.
- Bates, S. S., D. L. Garrison y R. A. Horner, 1998. Bloom dynamics and physiology of domoic-acid-producing *Pseudo-nitzschia* species En: Anderson, D. M., Cembella, A. C. y Hallegraef, G. M. (Eds.) NATO ASI Series, Vol. 41. Physiological Ecology of Harmful Algae Blooms. Springer Verlag, Berlin, pp. 267-92.
- Baugh, K. A., J.M. Bush, K.A Lefebvre y V.L. Trainer, 2006. Estimates of specific toxicity in several *Pseudo-nitzschia* species from the Washington coast, based on the culture and field studies. African journal of Marine Science 2006, 28 (2), pp 403-407.
- Bold, H. C. y M. J. Winne. 1978 (2a ed.). Introduction to the Algae Structure and Reproduction. Prentice Hall Inc. N. J.; U.S.A. pp 445-469.
- Boney, A. D. 1975. Phytoplankton. Edward Arnold (Ed.), London, Great Britain. pp 6-8.
- Bravo-Sierra, E. 1998. Composición del fitoplancton de red en Bahía de Banderas, México, 1990-1991. Tesis de Maestría, UNAM, Cd. de México. México. pp 1-104.
- Carta Batimétrica del Golfo de Tehuantepec CB-008, 1983. Atlas de México.
- Falcitore, A. y C. Bowler, 2002. Revealing the Molecular Secrets of Marine Diatoms. Annu Rev. Plant Biol. 53, 109-130.
- Ferrario, M. E., E. A. Sar y S. E. Sala, 1995. Metodología Básica para el Estudio del Fitoplancton con Especial Referencia a las Diatomeas. En: Alveal, K., M.E. Ferrario, C. Oliveira y E. Sour (Eds.). Manual de Métodos Ficológicos. Universidad de Concepción, Concepción-Chile. pp 2-20.
- Freitas, J. C. 1995. Toxinas de Algas Fitoplanctónicas. En: Alveal, K., M.E. Ferrario, C. Oliveira y E. Sour (Eds.) Manual de Métodos Ficológicos. Universidad de Concepción, Concepción-Chile. pp 863.
- Fryxell, G. A. y G. R. Hasle, 2003. 17. Taxonomy of Harmful Diatoms. En: Hallegraef, G. M., D. M. Anderson y A. D. Cembella (Eds.). Manual of Harmful Marine Microalgae, UNESCO. France. pp.483-509.
- Gallegos-García, A. y J. Barberán-Falcón. 1998. Surgencia Eólica. En: Tapia-García, M. (Ed.) El Golfo de Tehuantepec: El Ecosistema y sus Recursos. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. pp 28, 29.
- Gómez-Aguirre, S., S. Licea y S. Gómez, 2004. Proliferaciones de *Pseudonitzschia* spp. (Bacillariophyceae) y otras especies del microplancton en la Bahía de Mazatlán, México. Rev. Biol. Trop. 52:69-76.
- Groves, D. 1989. The Ocean. John Wiley and Sons. U. S. A. p. 57
- Hallegraef, G. M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. Phycol. 32 (2) 79-99.
- Hasle, G.R. 1965. *Nitzschia* and *Fragillariopsis* Species Studied in the Light and Electron Microscope.

- Universities for Laget, Oslo. pp 43.
- Hasle, G. R., 1978. Some Especific Preparations. En: Sournia, A. (Ed.) Phytoplankton Manual Kingdom. pp 329.
- Hasle, G.R. 1994. *Pseudo-nitzschia* as a genus distinc from *Nitzschia* (Bacillariophyceae). J. Phycol. 30, 1036-1039.
- Hasle, G. R. y C. R. Tomas, 1997. Introduction and Historical Background. En: Tomas, C. R. (Ed.) Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press, Inc. pp 858.
- Hasle, G. R. y E. E. Syvertsen, 1997. Marine Diatoms. En: Tomas, C. R. (Ed.) Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press, Inc. pp 5, 23, 304-324.
- Hasle, G. R. y G.A. Fryxell, 2003. Taxonomy of harmful diatoms. En: Hallegraeff G. M., D. M. Anderson y A. D. Cembella (Eds.) Manual of Harmfull Marine Microalgae. Francia UNESCO. pp 483-509.
- Hernández-Becerril D. U, 1998. Species of the planktonic diatom genus *Pseudo-nitzschia* of the Pacific coasts of Mexico. Hydrobiologia 379:77-84
- Hernández-Becerril, D. U., 2003. Diversidad del fitoplancton marino de México: Un acercamiento actual. En: Barreiro-Güemes M.T., M. E. Meave Del Castillo, Signoret-Poillon y M. G. Figueroa-Torres (Eds.) Planctología Mexicana. Sociedad Mexicana de Planctología, A. C. México. Cap.1:1-18.
- Hernández-Becerril, D. U. y E. M. Díaz-Almeyda, 2006. The *Nitzschia bicapitata* group, new records of the genus *Nitzschia*, and further studies on species of *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta) from Mexican Pacific coasts. Nova Hedwigia, Beiheft 130, pp 293-306.
- Hernández-Becerril, D. U., R. Alonso-Rodríguez, C. Álvarez-Góngora, S: A. Barón-Campis, G. Ceballos-Corona, J. Herrera-Silveira, M. E. Meave del Castillo, N. Juárez-Ruíz, F. Merino-Virgilio, A. Morales-Blake, J. L. Ochoa, E. Orellana-Cepeda, C. Ramírez-Camarena, y R. Rodríguez-Salvador, 2007a. Toxic and harmful marine phytoplankton and microalgae (HABs) in Mexican Coasts. Journal of Environmental Science and Health Part A (2007) 42, pp 1349-1363.
- Hernández-Becerril, D.U., E. Bravo-Sierra y J. A. Aké-Castillo, 2007b. Phytoplankton on the Western Coasts of Baja California in two different seasons in 1998. Scientia Marina 71(4), 2007, pp 735-743.
- Hoek, C. Van den, D. G. Mann, y H. M. Jahns, 1995. ALGAE, An Introduction to the Phycology. Ed- Cambridge University Press, Cambridge, pp 133-152.
- Horner, R. A. y J. R. Postel, 1993. Toxic diatoms in western Wshington waters (U. S. west coast). Hydrobiologia 269/270: 197-205.
- Kaczmarek, I., M. M. LeGresley, J. L. Martin, J. Ehrman, 2005. Diversity of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* Peragallo in the Quoddy Region of the Bay of Fundy, Canada. Harmful Algae 4 (2005) pp 1-19.
- Lara-Lara, R., E., E. G. Robles-Jarero, M. C. Bazán-Guzmán y E. Millán-Núñez, 1998. Productividad del Fitoplancton. En: Tapia-García, M (Ed.) El Golfo de Tehuantepec: El Ecosistema y sus Recursos. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. pp 51-58.
- Lefèvre-Balleverdier, A., 2003. Mares y Océanos. Editorial Larousse, España. pp 44-50.
- Licea, S. 1999. Notas sobre algunos florecimientos algales y la presencia de especies tóxicas en cinco



- localidades del Pacífico Mexicano (1196-1999). En: A. E. Tresierra-Aguilar y Z. G. Culquichicón-Malpica (Eds.). VIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar. ALICMAR y Universidad Nacional de Trujillo, Perú. pp. 335-337.
- Lundholm, N., Ø. Moestrup, G.R. Hasle y K. Hoef-Emden, 2003. A Study of the *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* / *cuspidata* Complex (Bacillariophyceae): What is *P. pseudodelicatissima*?. J. Phycol. 39, 797-813
- Lundholm, N., Ø. Moestrup, Y. Kotaki, K. Hoef-Emden, C. Scholin y P. Miller, 2006. Inter-and intraspecific variation of the *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex (Bacillariophyceae) illustrated by rRNA probes, morphological data and phylogenetic analyses. J. Phycol. 42, 464-481
- Mann, D. G. 1999. The species concept in diatoms. Phycologia 38(6): 437-495.
- Meave del Castillo, M. E. y D. U. Hernández-Becerril, 1998, Fitoplancton. En: Tapia-García, M. (Ed.) El Golfo de Tehuantepec: El Ecosistema y sus Recursos. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. pp 59-74.
- Medlin, L. K. e I. Kaczmarek, 2004. Evolution of the Diatoms: V. Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision. Phycologia 43(3): pp. 245-270.
- Monreal- Gómez, M. A. y D. A. Salas de León, 1998. Dinámica y Estructura Termohalina. En: Tapia-García, M (Ed.) El Golfo de Tehuantepec: El Ecosistema y sus Recursos. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. pp 13-26.
- Moreno, J. L., S. Licea y H. Santoyo 1996. Diatomeas del Golfo de California.- Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), México. pp 273.
- Moulin Ruiz, J. 1979. Estudio de la Productividad primaria en el Golfo de Tehuantepec, México. (Tesis de Licenciatura) Facultad de Ciencias, UNAM, Cd. de Méxic-México. p 27.
- Rivera, R. P. 1985. Las especies del género *Nitzschia* Hassall, sección *Pseudonitzschia* (Bacillariophyceae), en las aguas marinas chilenas. Gayana Bot. 42: 9-38.
- Rhodes, L., C. Scholing, I. Garthwait, A. Haiwood y A. Thomas, 1998. Domoic acid producing *Pseudo-nitzschia* species educed by whole cell DNA probe-based and immunochemical assays. En: Reguera, B., J. Blanco, M. L. Fernández, y T. Waytt (Eds.). Harmful Algae. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Comission of UNESCO, Santiago de Compostella. pp. 274-7.
- Ross, R., E. J. Cox, N. I. Karayeva, D. G. Mann, T. B. Paddock, R. Simonsen y P. A. Sims, 1979. An amended Terminology for the siliceous components of the Diatom Cell. Nova Hedwigia, (Beih.) 64, 513-533.
- Round, F.E., R. M. Crawford y D. G. Mann, 1990. The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera. Cambridge University Presss, Great Britain. pp 747.
- Skov, J., Lundholm, N., Moestrup, O. y Larsen, J., 1999. Potentially toxic phytoplankton. 4. The Diatom genus *Pseudonitzschia* (Diatomophyceae/Bacillariophyceae). En: J. A. Lindley (Eds.), ICES Identification Leaflets for Plankton. No. 185. International Council for the exploration of the sea, pp. 1-23.
- Smith, J. C., 1993 Toxicity and *Pseudonitzschia pungens* in Prince Edward Island, 1987-1992 Harmful Algae News 6, 1, 8.
- Steidinger, K. A. y K. Tangen. 1996. Dinoflagellates. En: Tomas, C. R. (Ed.) Identifying Marine

- Phytoplankton. Academic Press, San Diego. U. S. A. 387-584 pp.
- Thronsen, J., G.R. Hasle y K., 2007. Phytoplankton of Norwegian Coastal Waters. ALMATER FORLAG AS, Oslo. pp. 343.
- Vargas-Montero, M. y E. Freer, 2004. Proliferaciones algales de la diatomea toxigénica *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 52 (Suppl. 1) 2004. pp 127-132.
- Villac, M.C., D. L. Roelke, T. A., Villareal y G. A. Fryxell, 1993. Comparison of two domoic acid-producing diatoms: a review. Hydrobiologia 269/270: 213-224 pp.
- Zamudio-Resendiz, M. E., 2000. Muestreo del Fitoplancton. En: Granados Barba A., V. Solís Weiss y R. G. Bernal Ramírez (Eds.) Métodos de Muestreo en la Investigación Oceanográfica. 17 Capítulos. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México pp 448.

## 11. ANEXOS

### ANEXO 1

#### Coordenadas de los puntos de toma de muestras en las diferentes campañas oceanográficas realizadas en el Golfo de Tehuantepec, México.

PACMEX III (8-15 Abril 2000)

Estación	Longitud W	Latitud N	Fecha	Hora
9	95°3019	15°4026	08/04/2000	16:10
17	95°1171	15°27678	10-abr-00	11:00
19	95°07419	15°3883	10-abr-00	16:15
20	93°22417	14°32957	13-abr-00	8:40
21	94°52620	15°49720	10-abr-00	19:19
22	94°52567	15°38733	10-abr-00	20:23
24	94°52567	15°18122	10-abr-00	0:46
27	94°29849	15°42403	11-abr-00	5:00
28	94°49847	15°21184	11-abr-00	8:05
29	94°46776	15°17867	11-abr-00	9:52
30	94°36033	15°091	11-abr-00	14:30
31	94°22912	15°27242	11-abr-00	18:45
32	94°225	15°17916	11-abr-00	21:15
33	94°29948	15°09165	11-abr-00	23:47
36	94°14949	14°49508	12-abr-00	4:30
37	93°52143	14°42910	12-abr-00	6:55
38	93°44965	14°39395	12-abr-00	9:31
39	93°45025	14°50268	11-abr-00	12:00
40	93°45023	14°58304	12-abr-00	13:15
41	93°451091	15°06837	12-abr-00	15:03
43	93°35001	14°47463	12-abr-00	18:15
44	93°36976	14°301988	12-abr-00	20:10
47	93°18851	14°3643	13-abr-00	4:45
52	93°1504	14°332	13-abr-00	7:36
54	93°23772	14°26875	13-abr-00	10:40
57	93°07869	14°22868	13-abr-00	17:00
58	93°12248	14,22931	13-abr-00	ND
63	92°37514	14°1673	14-abr-00	7:25
65	92°45087	14°13848	14-abr-00	11:48

ECAC IV (30 /Agosto-8 Septiembre/2001)

Estación	Longitud W	Latitud N	Fecha	Hora
C-3	96°00104	11°59845	04-sep-01	9:00
D-4	96°00834	13°59722	05-sep-01	9:00
IA	97°54796	14°004	02-sep-01	15:00
2B	98°00374	11°59923	03-sep-01	9:00

TEHUA 2003 (16-20/Junio/2003)

Estación	Longitud W	Latitud N	Fecha	Hora
1	93°30991	15°4179	16-jun-03	9:00
2	95°30991	15°48059	16-jun-03	14:30
3	95°18007	15°47085	16-jun-03	17:05
15	94°36073	15°1197	18-jun-03	11:25
16	94°36005	15°23858	18-jun-03	14:49
17	94°36318	15°35953	18-jun-03	17:02
32	93°1989	15°0079	20-jun-03	7:10
34	93°20156	15°15103	20-jun-03	11:33
37	93°04939	14°14143	20-jun-03	18,3

TEHUA IV 2006 (31/Agosto-10/Septiembre/2006)

Estación	Longitud W	Latitud N	Fecha	Hora
3	93°46117	14°35213	04-sep-06	8:44
4	93°45575	14°34154	04-sep-06	13:38
7	93°59608	14°49587	05-sep-06	6:38
8	93°5959	15°0798	05-sep-06	10:47
9	94°1844	15°25243	05-sep-06	15:33
10	94°17963	15°00345	05-sep-06	20:14
13	94°29026	15°03622	06-sep-06	10:14
14	94°28557	15°05348	06-sep-06	14:10
15	94°28872	15°05666	06-sep-06	16:00
20	94°45893	15°15957	07-sep-06	7:59
22	94°46893	15°14029	07-sep-06	13:42
23	94°59366	15°22176	07-sep-06	18:33
28	95°12974	15°50192	08-sep-06	12:29
29	95°12974	15°40744	08-sep-06	13:11
30	95°13898	15°39192	08-sep-06	17:00
31	95°14675	15°35654	08-sep-06	19:40

Nota: ND significa que no se determinó

## ANEXO 2

**Terminología utilizada en la identificación de las especies del género *Pseudonitzschia* de acuerdo con Anónimo, 1975; Ross et al., 1979 y Hasle y Syvertsen, 1997.**

**Ápices** de la valva: las terminaciones o extremos de la valva, de distintas formas: puntiaguda, redondeada corta, redondeada larga, rostrada, recta, obtusa.

**Bandas cingulares:** elementos simples de sílice del cingulo o cinturón. En algunas diatomeas presentan perforaciones características y es posible distinguirlas mediante Microscopía Electrónica.

**Cadena escalonada:** unión de dos o más células de *Pseudonitzschia* mediante el traslape de las terminaciones de cada célula. La cadena así formada tiene una apariencia escalonada en vista cingular, que es característica de éste género.

**Canal del rafe:** Un rafe con un pasaje tubular extendido a lo largo de la frústula y separado del resto del interior de la frústula por elementos silíceos (fíbulas) con espacio entre ellos (interespacios).

**Cingulo:** es la porción del cinturón asociada con la valva simple. La epivalva y el epicingulo forman la epiteca, el hipocingulo y la hipovalva forman la hipoteca. Parte de la teca unida a la valva, que permanece después de remover la valva.

**Eje Apical (E-A):** Eje longitudinal de una diatomea bilateral o bien, la longitud total que hay entre los dos ápices de la valva.

**Eje Pervalvar (E-P):** eje a través del punto central de las dos valvas.

**Eje Transapical (E-TA):** amplitud o anchura de la valva.

**Epivalva:** Valva de la frústula de mayor tamaño, junto con las bandas cingulares que se le unen forma la epiteca.

**Estrías:** son hileras perforadas y paralelas, que en diatomeas pennadas están distribuidas perpendicularmente a la línea media de la valva.

**Fíbula:** un puente de sílice entre las porciones de la valva, sobre cada lado del rafe (antes llamadas puntas de quilla).

**Frústula:** pared celular de una diatomea, formada de sílice; se compone de dos valvas una es la epivalva y otra la hipovalva, ambas se unen por bandas de sílice formando una cintura llamada cingulo.

**Fusiforme:** forma de huso. Se aplica a la forma de la célula de algunas especies de *Pseudonitzschia*.

**Hilera de poroides:** distribución de poroides formando una, dos, tres o más hileras dentro de la estría. La hilera está dispuesta paralelamente al eje transapical o perpendicular al eje apical.

**Hipovalva:** valva de la frústula de menor tamaño que la epivalva. Junto con las bandas cingulares que se unen a la hipovalva forman a la hipoteca.

**Hymen:** o velum es una fina membrana silíceica que cubre a los poroides.

**Interestrías** de la cara valvar: capa de sílice no perforada entre dos estrías.

**Interespacio (central):** el espacio más largo entre dos fíbulas centrales que indica la presencia de dos hendiduras del rafe, la presencia de terminaciones del rafe central y un nódulo central.

**Lanceolada:** forma de la valva cuyos márgenes son curvos

**Lineal:** forma de la valva donde los márgenes se desarrollan paralelamente y terminan en ápices estrechos cortos o largos.

**Nódulo:** estructura entre las dos fisuras que componen al rafe.

**Poroide:** una perforación marcadamente definida y repetida en la superficie de la valva, normalmente está ocluido por el velum. Su función es la de mantener a la célula en contacto entre el interior y el exterior. Los poroides de *Pseudonitzschia* tienen formas distintas como: circular, cuadrada, alargada con esquinas redondeadas o en forma de flor; estos se localizan dentro de las estrías y en las bandas cingulares.

**Poros:** son perforaciones más pequeñas que los poroides y se presentan dentro de estos, presentan patrones de perforación hexagonal, circular, cuadrado.

**Rafe:** es una fisura alargada o un par de fisuras a través de la pared de la valva. Cuando se presenta un par de fisuras éstas se unen por un nódulo central. En diatomeas pennales o pennadas corresponde a un área hialina (transparente, sin perforaciones) a lo largo del eje apical, secreta una masa mucilaginosa que ayuda en el desplazamiento de la célula o de la colonia.

**Rostrado:** forma de un ápice o terminación de la frústula donde uno de los márgenes es recto y el otro es curvo, la forma es similar al pico de pájaro.

**Sectores:** son divisiones de sílice dentro del poroide. Contienen a los pequeños poros.

**Traslape:** la porción larga o corta que une a los extremos o terminaciones de la valva.

**Valva:** una de las dos placas de sílice de la frústula de una diatomea, más o menos plana, cóncava, o convexa.

**Vista cingular:** vista de las bandas del cingulo sobre el eje pervalvar o costado de la frústula.

**Vista valvar:** o cara valvar, es la parte de la valva rodeada por el manto. Frústula vista de abajo hacia arriba.

**Velum:** Una delgada y perforada capa de sílice del otro lado de la areola, las perforaciones normalmente miden 30 nm aproximadamente y comúnmente no son circulares.

## ANEXO 3

### RECOMENDACIONES

Tratándose de un género complicado al describir a sus especies, se recomienda la realización de cultivos monoclonales de las especies de *Pseudonitzschia*, por varias razones: 1) Numéricamente es mayor el número de células que se pueden observar exhaustivamente para su identificación y para el conocimiento de los intervalos de sus tallas en distintos caracteres morfológicos. 2) Asimismo, se desarrolla el estudio de sus ciclos de vida y conocer trastornos a lo largo del crecimiento poblacional en el que se detecten y comprendan ciertos cambios de la forma valvar respecto a las condiciones de cultivo como el aporte de nutrientes recibidos y posteriormente análisis con ME para tener un conocimiento preciso de las mismas. 3) Para reconocer y diferenciar a las especies crípticas. Conocer sus relaciones filogenéticas y explicar sus variaciones, mediante el estudio de secuencias moleculares. 4) En ellos se apliquen las pruebas de toxicología que las identifique como tóxicas in vitro y permita determinar las concentraciones de toxicidad halladas en tejidos de mariscos o peces o de proliferaciones algales nocivas (PAN).

Incentivar planes de preparación académica y técnica a profesionales que se dediquen a la investigación de estas especies desde el punto de vista taxonómico.

Se recomienda asociarse con instituciones que cuenten con el equipo adecuado y la apertura de los investigadores para contribuir con su apoyo en estos problemas de identificación.

Se recomienda planear y aplicar programas de monitoreo en la zona de estudio, en distintos meses del año que permitan la obtención e identificación de las diatomeas del género *Pseudonitzschia*. Tomando en cuenta que hay antecedentes de toxicidad en 5 de las especies y que sus consecuencias son graves a mortales para el ecosistema natural y el hombre, ésta medida a diferentes plazos de tiempo tendrá un carácter preventivo muy valioso.

## Anexo 4

### COLECTA A BORDO DEL BUQUE OCEANOGRÁFICO “EL PUMA”



**Red** de fitoplancton de 64  $\mu\text{m}$  de malla con Frasco colector, preparada para el arrastre vertical de 100m de profundidad, sujeta a un cable metálico.



**Winche** eléctrico con cable metálico para ascenso y descenso de la red de fitoplancton.

### MICROSCOPIOS ÓPTICOS



Microscopio de luz con contraste de fases



Microscopio de luz con cámara conectado a la computadora