



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Campus Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

“Composición y abundancia de especies tóxicas y nocivas de dinoflagelados causantes de mareas rojas en la zona costera de Tuxpan, Veracruz”

TESIS

Que para obtener el título de:

**MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y
COSTEROS**

PRESENTA:

Biól. Mar. Liliana Pérez Olmedo

Director:

Dr. Ascención Capistrán Barradas

Co-directora:

Mtra. Rosa Estela Orduña Medrano

Tuxpan, Veracruz

2017

La presente tesis titulada "**Composición y abundancia de especies tóxicas y nocivas de dinoflagelados causantes de marea roja en la zona costera de Tuxpan, Veracruz**", realizada por la C. Biól. Mar. Liliana Pérez Olmedo, bajo la dirección del Dr. Ascención Capistrán Barradas y la Mtra. Rosa Estela Orduña Medrano, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

CONSEJO PARTICULAR



Dr. Ascención Capistrán Barradas

DIRECTOR



Mtra. Rosa Estela Orduña Medrano

CO-DIRECTORA

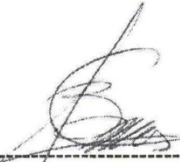
La presente tesis titulada “**Composición y abundancia de especies tóxicas y nocivas de dinoflagelados causantes de marea roja en la zona costera de Tuxpan, Veracruz**”, realizada por la C. Biól. Mar. Liliana Pérez Olmedo, bajo la dirección del Dr. Ascención Capistrán Barradas y la Mtra. Rosa Estela Orduña Medrano, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

COMISIÓN LECTORA



Dr. Rodrigo Cuervo González



Mra. Blanca Esther Raya Cruz



Dra. María Esther Meave del Castillo

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver. Marzo 2017.

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada gracias a Dios que me ha permitido culminar este trabajo, y con ello otra gran meta en mi vida que sin duda no pudo haberse llevado a cabo sin la ayuda y colaboración de grandes y excelentes personas.

Dr. Ascención Capistrán Barradas, un gran agradecimiento por haberme permitido realizar este trabajo bajo su dirección, por su orientación y sus ideas siempre firmes con las que poco a poco logramos hacer un buen trabajo.

Mtra. Rosa Estela Orduña Medrano, definitivamente mi mejor ejemplo a seguir, sin duda no pude elegir a mejor Profesora para guiarme en el camino de la psicología, esa pasión que me contagió es la mejor herencia que me llevo de usted. Gracias por sus grandes conocimientos y ese valioso tiempo que dedicó a este trabajo. Gracias por instruirme en este hermoso camino.

Debo agradecer a mi comisión lectora Dr. Rodrigo Cuervo González, Mtra. Blanca Esther Raya Cruz, Dra. María Esther Meave del Castillo por su valiosa disponibilidad para la revisión de este trabajo, por las observaciones muy puntuales en cada evento académico, sus críticas fueron de gran ayuda y definitivamente enriquecieron este trabajo.

Al Coordinador de la Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros. Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz, muchas gracias por su paciencia y tolerancia para guiarme en este largo camino profesional, por su disponibilidad para atender mis asuntos y traerme siempre al pie del cañón.

Mi agradecimiento también a Mtro. Jordán Gutiérrez Vivanco y Mtro. Arturo Valdés Murillo Por permitirme llevar a cabo el análisis de mis muestras en los respectivos laboratorios de química y biología y facilitarme el material necesario.

Para mis amigos que estuvieron apoyándome en el trabajo de campo y de laboratorio Jorge Olmos, Tadeo Rosalino y por supuesto Giovanna Gómez por compartir juntas este trayecto, por tu compañerismo y tu amistad. Mi gran amigo Mario Abraham Salas Aquino gracias por el apoyo incondicional que me brindaste, por cuidar de mi, por todas tus atenciones, los consejos e invaluable amistad.

A ti Christian Irving Castán, siempre presente en este largo camino, gracias por tu apoyo incondicional en el trabajo de campo, de laboratorio y sobre todo por ese infinito amor, comprensión y fe en mí, te amo.

A mis hermanos Noé Pérez Olmedo y Nabio Pérez Olmedo, que aun estando lejos nunca faltaron los consejos y ese apoyo.

Cecilia Martínez mi mejor amiga, gracias por tus consejos, tu gran apoyo y compañía, y sobre todo esa gran amistad.

Y definitivamente el agradecimiento más sincero y profundo a mis Padres Heliodoro Pérez García y Eloina Olmedo Ramírez sino fuera por ustedes este sueño no lo habría cumplido. Gracias por su confianza, su apoyo, su cariño y esa fé que pusieron en mí. Por los consejos de cada día y esas palabras de aliento cuando lo necesité. Los amo y este es solo un logro más de los muchos que vienen, y más que mío es de ustedes. Eternamente gracias.

ÍNDICE

RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III. OBJETIVOS.....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos particulares.....	10
IV. ÁREA DE ESTUDIO.....	11
V. MATERIAL Y MÉTODOS.....	14
Muestreo en campo.....	14
Análisis en laboratorio.....	15
Análisis de riqueza de las especies.....	16
Análisis de abundancia de las especies.....	16
Preparación de las muestras de sedimento para su análisis.....	17
Trabajo de gabinete.....	17
Riqueza.....	17
Abundancia.....	18
Diversidad.....	18
Análisis de clasificación y similitud de Jaccard.....	19
Análisis de Correlación Canónica (CCA).....	20
VI. RESULTADOS.....	21
Riqueza.....	23
Abundancia.....	25
Quistes en los sedimentos.....	27
Riqueza de quistes.....	28
Abundancia de quistes.....	29
Abundancia de dinoflagelados en los meses y estaciones.....	31

Correlación de las especies y las variables ambientales.....	33
Diversidad ecológica de Shannon y Wiener.....	34
Variación de las variables ambientales.....	35
Análisis de similitud y clasificación de Jaccard.....	39
VII. DISCUSIÓN.....	42
VIII. CONCLUSIONES.....	51
IX. APLICACIÓN PRÁCTICA.....	56
X. BIBLIOGRAFÍA.....	59
XI. ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización Geográfica del área de estudio.....	13
Figura 2. Riqueza de especies de especies tóxicas y nocivas en el periodo de muestreo por estaciones.....	24
Figura 3. Riqueza de especies tóxicas y nocivas de manera mensual durante el periodo de muestreo	25
Figura 4. Abundancia de dinoflagelados tóxicos y nocivos durante el periodo de muestreo por estaciones.....	27
Figura 5. Riqueza de quistes de dinoflagelados en los sedimentos en las estaciones de muestreo.....	29
Figura 6. Abundancia de quistes de dinoflagelados en las estaciones de muestreo.....	31
Figura 7. Abundancia mensual de dinoflagelados tóxicos y nocivos durante el periodo de muestreo	32

Figura 8. Abundancia de dinoflagelados tóxicos y nocivos durante el periodo de muestreo por estaciones.....	33
Figura 9. Correlación de la abundancia de especies con respecto a las variables ambientales.....	34
Figura 10. Variación de la temperatura del agua durante el periodo de muestreo.....	36
Figura 11. Variación de la salinidad del agua durante el periodo de muestreo.....	38
Figura 12. Variación del pH del agua durante el periodo de muestreo.....	37
Figura 13. Variación del Oxígeno Disuelto en el agua durante el periodo de muestreo.....	38
Figura 14. Variación de la transparencia del agua durante el periodo de muestreo.....	39
Figura 15. Dendograma de similitud de Jaccard de especies tóxicas y nocivas en las estaciones de muestreo.....	40
Figura 16. Dendograma de similitud de Jaccard de especies tóxicas y nocivas en los meses de muestreo	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Arreglo sistemático de especies de dinoflagelados colectados en la zona costera de Tuxpan, Veracruz.	21
Cuadro 2. Especies de dinoflagelados tóxicos y nocivos registrados en el periodo de muestreo.....	23
Cuadro 3. Abundancia de dinoflagelados tóxicos y nocivos durante los meses de muestreo.....	26
Cuadro 4. Especies de quistes de dinoflagelados en los sedimentos durante el periodo de muestreo.....	28
Cuadro 5. Abundancia de quistes de dinoflagelados en sedimentos durante el periodo de muestreo.....	30
Cuadro 6. Índices de diversidad de dinoflagelados tóxicos y nocivos en en las estaciones de muestreo.....	35

RESUMEN

Se realizó un estudio de riqueza y abundancia de dinoflagelados tóxicos y nocivos en cuatro estaciones en la zona costera de Tuxpan, Ver. Se analizó la variación de los parámetros fisicoquímicos en las estaciones. La riqueza total fue de 17 especies. Los géneros más representativos fueron: *Dinophysis*, *Gonyaulax*, *Prorocentrum* y *Protooperidinium*. Las estaciones con mayor riqueza fueron el Estuario y La Mata con 17 especies cada una. En noviembre y diciembre se encontró la mayor riqueza (16 y 15) respectivamente. Las abundancias más altas de dinoflagelados tóxicos y nocivos se registraron en agosto con 1360 cél/l, siendo el Estuario la estación donde los dinoflagelados fueron más abundantes (2566 cél/l). Las especies más abundantes fueron *Dinophysis caudata*, *Prorocentrum gracile* y *P. micans*. En los sedimentos se encontraron nueve especies enquistadas, las estaciones Termoeléctrica y la Mata fueron las más ricas en quistes con siete especies cada una. La abundancia total de quistes fue de 21 g⁻¹. En los meses junio y septiembre los quistes fueron más abundantes (10 g⁻¹) cada uno, observando como especie más abundantes a *Alexandrium* sp y a *Scrippsiella* sp con 11 y 14 g⁻¹ respectivamente. El Estuario y Termoeléctrica fueron las estaciones con mayor abundancia (19 y 16 g⁻¹) respectivamente. En cuanto a las variables ambientales, la temperatura, salinidad y transparencia fueron las que se asociaron a la abundancia de las especies, sin embargo se piensa que no fueron

las condiciones óptimas para que proliferaran, ya que en el transcurso del trabajo no se observó ninguna proliferación algal o Fan.

Palabras clave: dinoflagelados, quistes, riqueza, abundancia, proliferación, parámetros fisicoquímicos.

I. INTRODUCCIÓN

El fitoplancton es una comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores que viven suspendidos en la zona fótica de la columna de agua, juegan un papel muy importante como base de las redes tróficas y como indicadores de la calidad de agua (Parra-Toriz *et al.*, 2010). Dentro del fitoplancton nocivo existen aproximadamente más de 4000 especies descritas, siendo los principales componentes los dinoflagelados y las diatomeas. Los dinoflagelados comprenden unas 2000 especies vivientes, de las cuales, aproximadamente 60 son tóxicas, para distintos organismos incluyendo el nombre (WHOI, 2003).

En un ciclo anual, cambia la dominancia de los componentes del fitoplancton marino y se pueden observar también periodos de altas concentraciones celulares, que se definen como proliferaciones algales (“florecimientos”) y que son frecuentemente producidos por un número reducido de especies. En particular, cuando se forman en la superficie intensas manchas de color rojo o rojizo debido a la presencia y dominancia de dinoflagelados, se habla de eventos de marea roja (Alonso-Rodríguez, 2004), aunque actualmente tales eventos nocivos se conocen como Florecimientos Algales Nocivos (FAN).

Este fenómeno se ha observado en todos los océanos y principalmente en zonas costeras; en estudios realizados se han encontrado implicados varios factores relacionados con los FAN, principalmente las variables ambientales como: temperatura, salinidad, intensidad lumínica, niveles de los nutrientes, procesos de

mezcla y estratificación de la columna de agua, que afectan el ciclo estacional y distribución de los dinoflagelados y determinan su ciclo de vida (Ceballos-Corona, 2006; Alonso-Rodríguez, 2004).

Otro factor involucrado en la presencia de FAN, son los quistes, ya que éstos germinan cuando las condiciones lo permiten, propiciando el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas cuando ocurre la germinación simultánea de gran cantidad de quistes. Entre los factores que afectan este fenómeno se han descrito: la elevación de la temperatura, la disminución de la salinidad y el aumento de la intensidad luminosa (Anderson, 1998). Un gran número de especies de fitoplancton marino forman quistes o esporas resistentes en su ciclo de vida, la germinación de estas formas de reposo puede producir el inóculo para la inducción de “mareas rojas” (Alonso-Rodríguez, 2004). Para el caso de los dinoflagelados se conocen más de 80 especies marinas vivientes que forman quistes resistentes de éstas, más de 30 se consideran como especies tóxicas (Sonneman y Hill, 1997).

La formación de algunas mareas rojas dominadas por dinoflagelados se asocia a diversos factores dado que en la zona costera ocurren básicamente tres eventos: inicio de la estratificación, rompimientos de la estratificación por tormentas o algún otro factor que propicie cambios de la estructura vertical de la columna de agua, y finalmente periodos de inestabilidad por lo que se infiere que los dinoflagelados sean susceptibles. Sin embargo, el estado del conocimiento tanto de la fisiología de las especies y sus interacciones con el ambiente y con otras especies aún no

es suficiente para explicar en su totalidad las causas que determinan la presencia o declinación de un FAN (Alonso-Rodríguez, 2004).

Aunado a lo anterior los Florecimientos Algales Nocivos (FAN) resultan un problema multisectorial, debido al impacto que llegan a ocasionar a la salud pública, en los ecosistemas costeros, la pesca, la acuicultura y el turismo, teniendo connotaciones económicas serias (Orduña-Medrano, 2012) por lo anterior ha surgido la necesidad de implementar programas de monitoreos locales de dinoflagelados causantes de marea roja, como una herramienta simple de evaluación de la zona costera de Tuxpan, donde se cuenta con importantes actividades económicas y aprovechamiento de los recursos costeros y marinos. Se espera que ésta información sea de utilidad en futuros estudios tendientes a identificar potenciales focos de origen de proliferación de dinoquistes, a la caracterización de sus poblaciones y a facilitar el diseño e implementación de futuros programas de monitoreo basados en los estudios de los dinoflagelados y sus quistes.

II. ANTECEDENTES

El fitoplancton se ha estudiado sistemáticamente desde hace mucho tiempo, pero su investigación se ha incrementado últimamente debido al interés por utilizarlo en acuicultura, así como para la mejora de comprensión de ciertos procesos de producción de los mares, donde el fitoplancton es fundamental. Muchos de los estudios sobre el tema se han elaborado en aguas costeras mientras que la mayoría de las áreas oceánicas son relativamente desconocidas (Hernández-Becerril, 1993).

Los primeros estudios sobre fitoplancton en México corresponden al Pacífico oriental de Baja California y Golfo de California en el siglo XX, reportando la presencia de algas tóxicas como *Nitzschia* (Ayala, 2008).

A medida que se fueron intensificando los estudios de planctología en la década de los 60's, se corroboró la importancia de las diatomeas para los ambientes acuáticos. Más tarde en la década de los 80's, los estudios se enfocaron principalmente al aspecto toxicológico del fitoplancton, como el estudio sobre las toxinas del dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* en la Bahía de Mazatlán (Mee *et al.*, 1986).

Se pueden mencionar estudios sobre dinoflagelados tóxicos que se han reportado como causantes de mareas rojas, *Prorocentrum minimum*, *Gonyaulax polygramma*, *Scrippsiella trochoidea* y *Tripos furca*, las cuales son especies que

provocan condiciones anóxicas y causan la muerte de peces e invertebrados, además de que su presencia indica prácticamente las condiciones de sanidad en el área de estudio y la importancia de conservarla en buen estado (Orellana-Cepeda y Morales-Zamorano, 1994, Alonso-Rodríguez *et al.*, 2004; Saldate-Catañeda *et al.*, 1991; Parrilla-Cerillo *et al.*, 1993; Barraza-Guardado *et al.*, 2004; Hernández-Orozco y Gárate-Lizárraga, 2006; Gárate-Lizárraga *et al.*, 2007).

Otros estudios enlistan las especies de fitoplancton tóxicos que al término del invierno y principio de la primavera, reportan proliferaciones altas del microplancton de diatomeas, dinoflagelados y ciliados, los cuales son considerados fenómenos comunes en las aguas del Golfo de California y particularmente en las regiones costeras que reciben influencia de fenómenos de surgencia así como de los efectos meteorológicos estacionales y locales, el aumento de eutrofización y aportes antropogénicos. Tal es el caso de especies tóxicas, tales como *Pseudo-nitzschia pseudo-delicatissima*, *P. pungens* y *Gymnodinium catenatum* las cuales son productores de toxinas que provocan el síndrome por envenenamiento amnésico (ASP) por ingestión de mariscos y toxina paralizante (PSP), que puede llevar a la muerte al humano (Cortés-Altamirano y Gómez-Aguirre 2001, Gómez-Aguirre *et al.*, 2001, Gómez-Aguirre 2003, Esqueda *et al.*, 2003, Bravo-Sierra 2003).

En lo que respecta al Pacífico Tropical Mexicano, se llevó a cabo una investigación y diagnóstico de las mareas rojas en el litoral de la Bahía Banderas entre Jalisco y Nayarit, zonas caracterizadas por una alta presencia de turismo

nacional e internacional, mencionan que en los últimos años han sido frecuentemente afectadas por la presencia de florecimientos algales a lo largo de todo el año pudiéndose registrar las siguientes especies: *Cochlodinium cochlodinium polykrikoides*, *Akashiwo sanguinea*, *Gymnodinium catenatum*, *Noctiluca scitillans*, *Tripes furca* y *Tripes balechii* (Cortés et al., 2002). Entre estudios de las mareas rojas se incluye una explicación de los procesos de concentración causantes de estos eventos y otras proliferaciones nocivas del plancton y se reporta el avistamiento por primera vez en las costas de Chiapas y Oaxaca las cuales estuvieron producidas por *Pyrodinium bahamense* var. *Compressum* (Cortés, 1989).

Las mareas rojas en costas mexicanas se han registrado densidades de hasta 36×10^6 Cél/l, las especies más comunes que se presentan son: *Prorocentrum dentatum*, *Prorocentrum minimum*, *Gonyaulax polyedra*, *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, *Gymnodinium catenatum*, *Alexandrium* sp y *Karenia brevis* (Alonso-Rodríguez, 2004).

Para el caso de los estudios sobre quistes en los dinoflagelados planctónicos vivientes se encuentran: Martínez-Hernández y Hernández-Campos (1991), Góngora-González (2003) y Alonso-Rodríguez (2004).

Para el Golfo de México se ha estudiado el género *Tripes* y dinoflagelados de la costa del sur de Golfo de México, mientras que algunos estudios como el de

Almazán-Becerril (2000), se enfocaron a dinoflagelados potencialmente tóxicos y las especies asociadas.

En el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), se estudió la morfología de 46 especies de *Protoperidinium*, incluyendo una clave para su identificación, con ilustraciones de todas las especies encontradas. De éstas, 15 representaron nuevos registros para el Golfo de México, y cerca de 25 especies para el estado de Veracruz (Okolodkov, 2008). Así mismo se estudió la morfología de 33 especies de *Tripos*, en la parte noroeste del Parque Nacional SAV, *Tripos bigelowii*, *Tripos limulus* var. *angusti*, *Tripos tripoidoides* y *Tripos declinatum* fueron nuevos registros para las aguas mexicanas del Golfo de México, y se incluyó una clave dicotómica para la identificación de las especies encontradas (Okolodkov, 2010).

En ese mismo año se reportó un estudio sobre composición específica de dinoflagelados planctónicos de los órdenes Prorocentrales y Dinophysiales, considerando muy baja la riqueza de especies en el SAV, y mayores riquezas en otras zonas del Golfo de México, como la zona sur del Golfo, donde se han listado 53 especies del orden Dinophysiales y 14 especies de Prorocentrales (Aké y Vázquez, 2011), además se estudió de la especie *Peridinium quinquecorne* var. *Trispiniferum* en la laguna de Sontecomapan (Parra-Toriz *et al.*, 2010;).

Se ha estudiado también la dinámica de la comunidad fitoplanctónica de la laguna costera de Sontecomapan (1999, 2001, 2003 y 2007), detectando la presencia de

Peridinium quinquecorne en febrero y junio, a salinidades menores a 21 ups y temperaturas mayores a 24.5 °C (Aké-Castillo *et al.*, 1995, 2011).

Finalmente, en lo que al área de estudio respecta, Figueroa-Torres y Weiss-Martínez (1999) estudió la composición taxonómica de los dinoflagelados de la laguna costera de Tamiahua, señalando su papel como organismos tóxicos y formadores de mareas rojas, reportando 35 especies de las cuales 23 fueron nuevos registros para la zona de estudio. (Orduña-Medrano, 2012) estudió la comunidad fitoplanctónica de la zona costera de Tuxpan, Veracruz (laguna Tampamachoco, Playa Azul y Barra Galindo) en un ciclo anual, reportando un total de 265 especies de fitoplancton, de las cuales 86 pertenecieron a los dinoflagelados.

Específicamente, en la laguna de Tampamachoco se estudió la biomasa y productividad fitoplanctónica durante el año 2012, encontrando una amplia variación temporal por los meses de mayo y octubre hacia el canal de navegación de la laguna y donde se encontró una dominancia de diatomeas, especialmente de *Nitzschia longissima* y *Asterionellopsis glacialis* (Orduña-Medrano, 2012).

Gutiérrez-Vivanco *et al.*, (2011) evaluó la variación espacio-temporal de los parámetros físico-químicos, clorofila-a y nutrientes en la Laguna de Tampamachoco, indicando que la temperatura y la salinidad del agua superficial exhiben marcada variación temporal.

Meza-Rivera (2013) evaluó la riqueza específica de las diatomeas en el estuario del río Tuxpan en dos temporadas (secas y lluvias) reportando 190 especies, siendo los lugares con mayor riqueza de especies a lo largo del periodo de muestreo las estaciones: Laguna con 75 especies, Tenechaco y el Estuario con 70 y 69 especies, respectivamente.

Pérez-Olmedo (2014) analizó la riqueza y abundancia de dinoflagelados en los arrecifes Tuxpan y Enmedio en la temporada de lluvias, reportando 130 especies de las cuales 18 corresponden a especies potencialmente tóxicas.

Como puede observarse son pocos los antecedentes sobre fitoplancton tóxico y nocivo con los que se cuenta para la zona costera de Tuxpan, Veracruz y no se ha reportado mucha información sobre especies de dinoflagelados causantes de mareas rojas, por tal motivo se plantearon los siguientes objetivos:

III. OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar la composición y abundancia de dinoflagelados tóxicos causantes de marea roja y sus quistes en sedimentos de la zona costera de Tuxpan, Veracruz.

Objetivos particulares

- Registrar las especies tóxicas y nocivas causantes de marea roja en las estaciones de muestreo.
- Conocer la abundancia de las especies tóxicas y nocivas causantes de marea roja en las estaciones de muestreo.
- Establecer si existe alguna relación en la abundancia de las especies con las variables físicas y químicas del agua.
- Evaluar la variación espacio-temporal de la abundancia relativa y riqueza específica de quistes en los sedimentos.
- Evaluar si las zonas de muestreo están expuestas a la formación de mareas rojas de acuerdo a la abundancia de dinoflagelados en columna de agua y quistes en sedimentos.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Tampamachoco se ubica en la Región Huasteca, en la Llanura Costera del Golfo de México, en el estado de Veracruz, a \pm 10 km al oeste de la ciudad y puerto de Tuxpan, Municipio de Tuxpan, y a tres horas de la ciudad y Puerto de Veracruz, por la carretera federal 180 (Orduña-Medrano, 2012). La laguna Tampamachoco tiene forma alargada y paralela a la línea de costa, con longitud de 10.6 km y anchura máxima de 2.7 km, ocupa un área de 15 km², aproximadamente. Está separada del Golfo de México por una barrera arenosa de nombre “Barra Galindo”, situada al norte de la laguna, con anchura máxima de 2.67 km y mínima de 1.3 km (Orduña-Medrano, 2012).

El clima de la región es del tipo Aw” 2 (e), que corresponde al cálido-subhúmedo con régimen de lluvias en el verano, temperatura y precipitación pluvial medias anuales de 24.2°C y 1,350 mm, respectivamente. Los vientos dominantes provienen del este; los vientos secundarios proceden del norte y del noroeste, ocasionalmente alcanzan velocidades hasta de 150 km/h (Orduña-Medrano, 2012).

La Laguna Tampamachoco recibe aportes de agua dulce en su porción septentrional por el estero El Corral, que vierte su contenido en los canales de navegación El Viejo y El Nuevo; en el noroeste se encuentran los esteros El Corral y El Angosto; de este último existen escurrideros estacionales entre el rancho Oro Negro y Punta Potrero y frente al poblado de Tampamachoco. En la parte

meridional se ubica la desembocadura del Río Tuxpan (Contreras-Espinosa 1983) (fig. 1).

El estuario de Tuxpan se ubica en la costa oriental de México que desemboca en el Golfo de México, en la ciudad de Tuxpan de Rodríguez Cano, en Veracruz. El río tiene una longitud de 150 km, su cuenca tiene un área de 5,899 km² y un escurrimiento natural medio superficial de $2.7 \times 10^6 m^3$ por año. El río Tuxpan se ha convertido en una importante vía de acceso portuario, que a su vez fortalece la economía (Orduña-Medrano, 2012) (fig. 1).

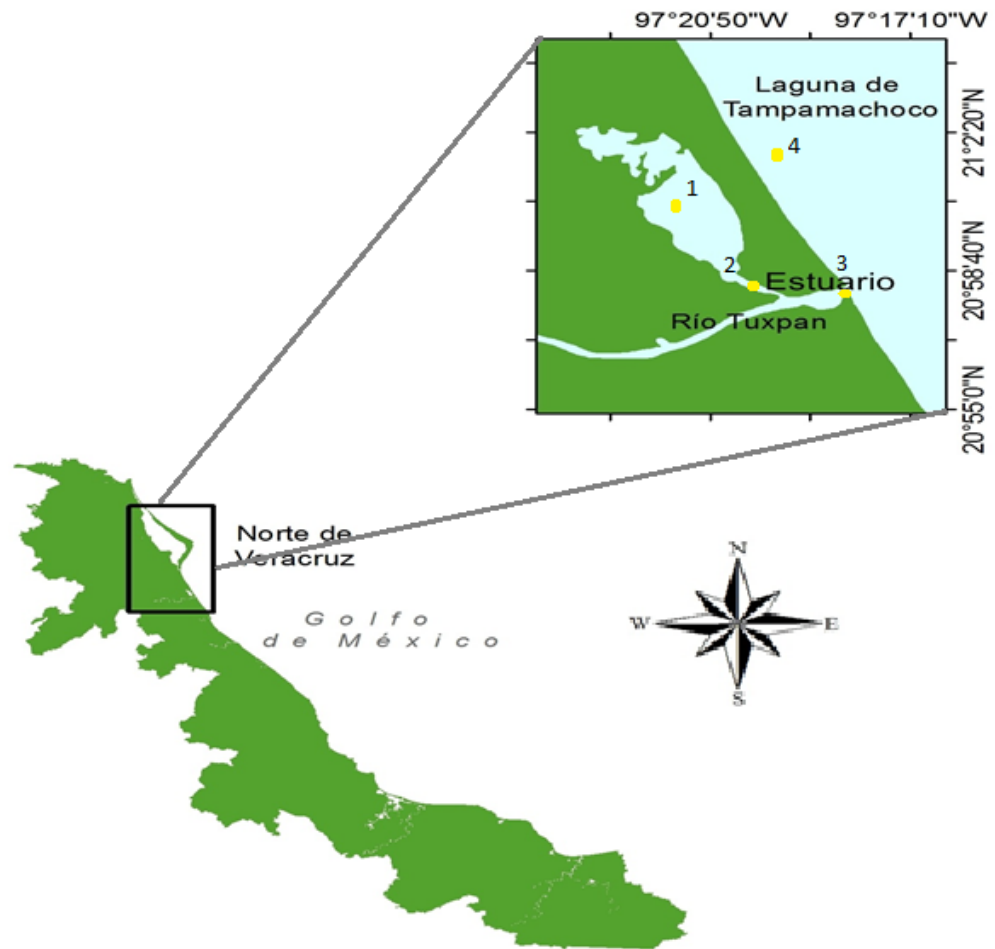


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio y ubicación de las 4 estaciones de muestreo: 1. La restinga, 2. La mata, 3. El estuario, 4. La termoeléctrica (De la Cruz, 2014).

V. MATERIAL Y MÉTODOS

Muestreo de campo

El trabajo de campo se realizó de noviembre 2014 a septiembre 2015, realizando muestreos mensuales en 4 estaciones como se muestra en la figura 1: La Termoeléctrica, El Estuario, La Mata y La Restinga. Las estaciones de estudio fueron seleccionadas considerando que fueron zonas que tuvieron impactos por la mezcla de agua y con ello cambios en los factores físico-químicos.

Para la colecta de las muestras se utilizaron dos procedimientos de acuerdo a Tapia (2007), el primero se hizo por el interés de conocer la composición de especies de dinoflagelados usando una red de malla fina de 60 micras de tamaño de poro y el segundo para conocer la abundancia de las especies fitoplanctónicas con una toma directa de agua del medio (Vicente *et al.*, 2005) y de acuerdo a Alonso-Rodríguez, (2004) para la toma de muestras de sedimento para análisis de los quistes.

Procedimiento de colecta de muestras de abundancia

Para el análisis de abundancia se colectaron tres muestras directas de agua superficial en frascos de 500 ml, a no más de 30 cm de profundidad y se preservaron con dos gotas de yodo-lugol al 100 % (Vicente *et al.*, 2005).

Procedimiento de colecta de muestras de riqueza

Posteriormente para obtener las muestras para el análisis de riqueza se realizaron tres arrastres, a la mínima velocidad del motor de la lancha y con ayuda de una red de arrastre de fitoplancton de 60 micras de apertura de malla. El arrastre se realizó de manera circular durante cinco minutos. Se colectaron 500 ml de muestra, colocados en frascos de plástico de la misma capacidad y se depositaron en hieleras para mantenerlas frescas y posteriormente trasladarlas al laboratorio y conservarlas a 4 °C (Vicente *et al.*, 2005).

Simultáneamente se tomaron las variables ambientales: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, con una sonda multiparamétrica modelo Hanna HI 9828 y la transparencia del agua con un disco de Sechi (Boyd y Tucker, 1992). Todas las muestras fueron etiquetadas con los siguientes datos: fecha, hora, área de muestreo, número de muestra y colector. Los parámetros fisicoquímicos: (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, conductividad y transparencia) se anotaron en una bitácora así como las observaciones generales del ambiente (espuma, coloración del agua, nubosidad y viento).

Colecta de sedimento para la extracción de quistes

Para la colecta de sedimento y posterior observación de quistes, se utilizó una draga. Se tomaron 60 ml de sedimento superficial y posteriormente se tapó con aluminio. La muestra se conservó en hielo hasta su observación.

Análisis en laboratorio

El material biológico de las muestras de red se observó en un microscopio compuesto marca NIKON.

Análisis de riqueza de las especies

Con la finalidad de determinar la riqueza de especies se tomó gota por gota del material sedimentado de las muestras frescas con una pipeta, colocándolas sobre un portaobjetos y después colocarles un cubreobjetos, dejando reposar de 5 a 10 minutos para permitir el total asentamiento de las células para su mejor observación, posteriormente se montaron al microscopio y se procedió con la observación a 10x, 40x y 100x (con aceite de inmersión), dependiendo del tipo de estructuras celular a observar. Este procedimiento se continuó hasta que no se encontró ninguna especie nueva. También se tomaron fotografías y la determinación taxonómica de las especies se llevó a cabo con las guías taxonómicas de Alonso-Rodríguez (2004); Alonso-Rodríguez *et al.* (2008); Esqueda Lara y Hernández-Becerril (2010); Licea *et al.* (1995); Tomas (1997) y Gárate-Lizárraga y Verdugo-Díaz (2007).

Análisis de abundancia

Para hacer el conteo se homogeneizó la muestra de manera suave durante cinco minutos a fin de que todo el material depositado se prepare en la columna de agua

y se tomó 1 ml de muestra con una pipeta Pasteur graduada, depositándola en porta objetos, hasta agotar el ml, las cuales se contabilizaron mediante zig zag, los organismos coloniales se contaron por célula. Proceso que se realizó hasta que no se encontró ninguna especie nueva.

Preparación de las muestras de sedimento para su análisis

Se aplicó la técnica descrita por Matsuoka y Fukuyo (2000) que consiste en depositar 5 gramos de sedimento en un vaso de precipitados de 80 ml agregándole agua de mar, posteriormente se realizó el tamizado de la muestra en tamices de 80 y 20 mm (uno sobre otro) y se utilizó un Imán agitador durante 60 segundos. El material contenido en el tamiz se traspasó a una caja Petri agregándole agua de mar, se giró la caja Petri en forma circular permitiendo que los quistes quedaran suspendidos en la parte central de la caja Petri.

Trabajo de gabinete

Se realizó el procesamiento de datos e interpretación de los resultados obtenidos para lo cual se obtuvo lo siguiente:

Riqueza

La riqueza se calculó con el número total de especies obtenido en el registro de especies de cada estación y mes de muestreo.

Abundancia

La abundancia se calculó con el número total de cél/ml obtenido en cada área de muestreo, en cada mes y por especie.

Diversidad

Se caracterizaron ecológicamente las comunidades fitoplanctónicas mediante los índices de diversidad verdadera, índice de Shannon y Dominancia de Simpson, por área de muestreo y por mes. A continuación se describen cada uno. El índice de Shannon, expresa el grado de uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies presentes en la muestra. La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Donde:

- S = número de especies (la riqueza de especies)
- P_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i):

La dominancia de Simpson (D) considera el número de especies presentes, así como la abundancia relativa de cada especie, representa la probabilidad que dos individuos aleatoriamente seleccionados en el hábitat pertenecen a la misma especie. Éste índice se realizara con la siguiente fórmula:

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

Donde:

S= Número de especies

N= Total de organismos presentes (o unidades cuadradas)

n= Número de ejemplares por especie.

Análisis de clasificación y similitud de Jaccard

Se utilizó el Índice de similitud de Jaccard con el fin de comparar las comunidades entre estaciones con base a la presencia y ausencia de las especies. Dicho índice indica la similitud y disimilitud entre las áreas muestreadas y por ende, la heterogeneidad ambiental en la cual se asienta la comunidad (Hammer *et al.*, 2001).

- Índice de Jaccard (Ij)

$$I_j = \frac{c}{a+b-c}$$

Donde

a= Número de especies presentes en el sitio A

b= Número de especies presentes en sitio B

c= Número de especies presentes en ambos sitios A y B

Análisis de Correlación Canónica (CCA).

Se utilizó el Análisis de Correlación Canónica para correlacionar las especies y su abundancia con las variables ambientales en las estaciones y meses de muestreo.

El procesamiento de datos se realizó utilizando los programas estadísticos PAST, statistica versión 7 y RStudio.

VI. RESULTADOS

Arreglo sistemático de las especies de dinoflagelados en la columna de agua y quistes en los sedimentos identificadas en la zona costera de Tuxpan Veracruz durante noviembre de 2014 a abril de 2015. La presentación de las especies está organizada de acuerdo a la clasificación de Hernández-Becerril (2010) y Meave-del Castillo *et al.* (2012). Las especies registradas están incluidas en la Clase Dinophyceae, en cinco ordenes, nueve familias, 11 géneros y 19 especies.

Cuadro 1. Arreglo sistemático de especies de dinoflagelados colectadas en la zona costera de Tuxpan.

Dominio eucariota
Reino Chromista
División Dinophyta
Clase Dinophyceae Fritsch
Subclase *Gymnodiniphycidae* Fensholt, F.J.R. Taylor,
G.Norris, Sargeant, D.I.Wharton, y G.L.Williams
Orden *Gymnodiniales* Apstein
Suborden *Gymnodiniineae* Apstein
Familia *Gymnodiniaceae* (Bergh) Lankester
Género *Karenia* (Davis) Hansen *et* Moestrup
K. brevis (Davis) Hansen *et* Moestrup
Género *Gyrodinium* Stein
Gyrodinium instriatum
Subclase *Peridiniphycidae* Fensholt, F.J.R. Taylor
G.Norris, Sargeant, D.I.Wharton, y G.L.Williams
Orden *Gonyaulacales* Taylor
Familia *Goniodomataceae*
Género *Alexandrium*
Alexandrium monilatum
Alexandrium sp
Suborden *Gonyaulacineae*
Familia *Gonyaulacaceae* Lindemann
Subfamilia *Gonyaulacoideae*
Género *Gonyaulax* Diesing
G. polygramma Stein

G. spinifera (Claparède et Lachmann) Diesing
 Suborden *Ceratiineae* Fensome F.J.R. Taylor
 G.Norris, Sargeant, D.I.Wharton, y G.L.Williams
 Familia *Ceratiaceae* Willey et Hickson
 Género *Tripos*
T. furca (Ehrenberg) F. Gómez
T. fusus (Ehrenberg) F. Gómez
T. dens (Ehrenberg) F. Gómez
 Suborden *Goniodomineae* Fensome F.J.R. Taylor
 G.Norris, Sargeant, D.I.Wharton, y G.L.Williams
 Familia *Goniodomaceae* Lindemann
 Género *pyrodinium* Plate
P. bahamense Plate
 Orden *Peridinales* Haeckel
 Suborden *Peridiniineae*
 Familia *Peridiniaceae* Ehrenberg
 Género *Peridinium* Ehrenberg
P. quinquecorne Abé
 Familia *Protoperidiniaceae*
 Género *Protoperidinium* Bergh
P. claudicans (Paulsen) Balech
P. crassipes (Kofoid) Balech
 Subfamilia *Calciodinelloideae* Fensome F.J.R. Taylor
 G.Norris, Sargeant, D.I.Wharton, y G.L.Williams
 Género *Scrippsiella* Balech
S. acuminata (Stein) Loeblich III
Scrippsiella sp
 Subclase *Dinophysiphycidae* Möhn
 Orden *Dinophysiales* Kofoid
 Familia *Dinophysiaceae* Stein
 Género *Dinophysis* Ehrenbergh
D. acuminata Claparède et Lachmann
D. caudata Saville-Kent
 Subclase *Prorocentrophysidae* Fensome F.J.R. Taylor
 G.Norris, Sargeant, D.I.Wharton, y G.L.Williams
 Orden *Prorocentrales* Lemmermann
 Familia *Prorocentraceae* Stein
 Género *Prorocentrum* Ehrenbergh
P. gracile Schütt
P. micans Ehrenberg

Riqueza

Durante el periodo noviembre 2014-septiembre 2015 se determinaron 17 especies de dinoflagelados tóxicos y nocivos en la columna de agua asociados a florecimientos algales, correspondientes a cinco ordenes, nueve familias y 11 géneros, distribuidas en cuatro estaciones de muestreo: Termoeléctrica, Estuario, La Mata y la Restinga. Los géneros más representativos fueron *Tripos* con tres especies, seguido de *Dinophysis*, *Gonyaulax*, *Prorocentrum* y *Protoperdinium* con dos especies cada uno. De las 17 especies, 15 se encontraron en las cuatro estaciones (*) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Especies tóxicas y nocivas registras en el periodo de noviembre de 2014 a septiembre de 2015 en las estaciones de muestreo. 1=presencia, 0= ausencia, *= presente en todas las estaciones.

Especies	Termoeléctrica	Estuario	La Mata	La Restinga
<i>Alexandrium monilatum</i> *	1	1	1	1
<i>Dinophysis acuminata</i> *	1	1	1	1
Claparède et Lachmann				
<i>Dinophysis caudata</i> *	1	1	1	1
Saville-Kent				
<i>Gyrodinium instriatum</i>	0	1	1	1
Freudental et J. J. Lee				
<i>Gonyaulax polygramma</i> *	1	1	1	1
Stein				
<i>Gonyaulax spinifera</i> *	1	1	1	1
(Claparède et Lachmann)				
Diesing				
<i>Karenia brevis</i> *	1	1	1	1
(Davis) Hansen et Moestrup				
<i>Peridinium quinquecorne</i> *	1	1	1	1
Abé				
<i>Prorocentrum gracile</i> *	1	1	1	1
Schütt				
<i>Prorocentrum micans</i> *	1	1	1	1
Ehrenberg				

<i>Protoperdinium crassipes</i> *	1	1	1	1
(Kofoid) Balech				
<i>Protoperdinium depressum</i> *	1	1	1	1
(Bailey) Balech				
<i>Pyrodinium bahamense</i>	1	1	1	0
Plate				
<i>Scrippsiella trochoidea</i> *	1	1	1	1
(Stein) Loeblich III				
<i>Tripos dens</i> *	1	1	1	1
(Ehrenberg) F. Gómez				
<i>Tripos furca</i> *	1	1	1	1
(Ehrenberg) F. Gómez				
<i>Tripos fusus</i> *	1	1	1	1
(Ehrenberg) F. Gómez				
Total	16	17	17	16

(1=presente, 0= ausente, *= presente en todas las estaciones)

En general las cuatro estaciones fueron ricas en especies, encontrándose 17 especies en el Estuario y La Mata y 16 en la Termoeléctrica y La Restinga (Fig. 2).

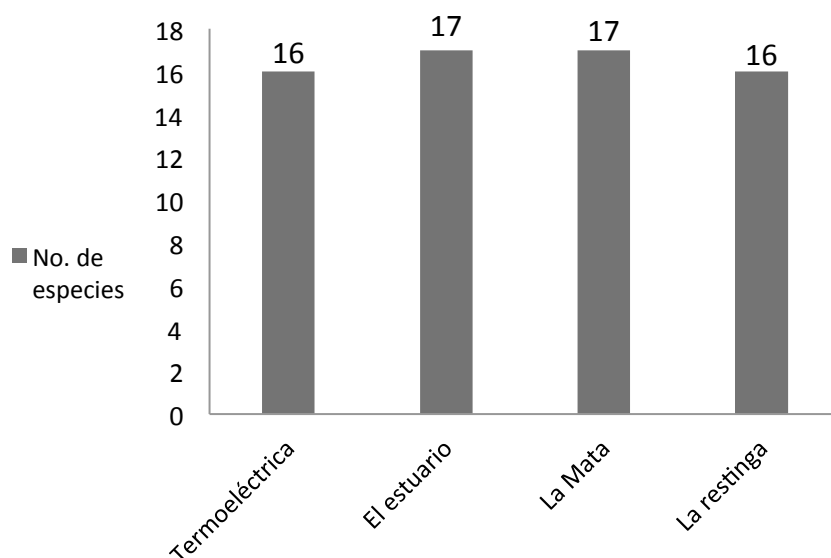


Figura 2. Riqueza de especies durante el periodo noviembre 2014-septiembre 2015 en las estaciones.

Los meses que presentan más especies fueron noviembre y diciembre (16 y 15) respectivamente, seguidos de enero y febrero con 13 especies cada uno, mientras que a partir de marzo y hasta agosto la riqueza comenzó a disminuir, recuperándose en septiembre con 13 especies (fig. 3).

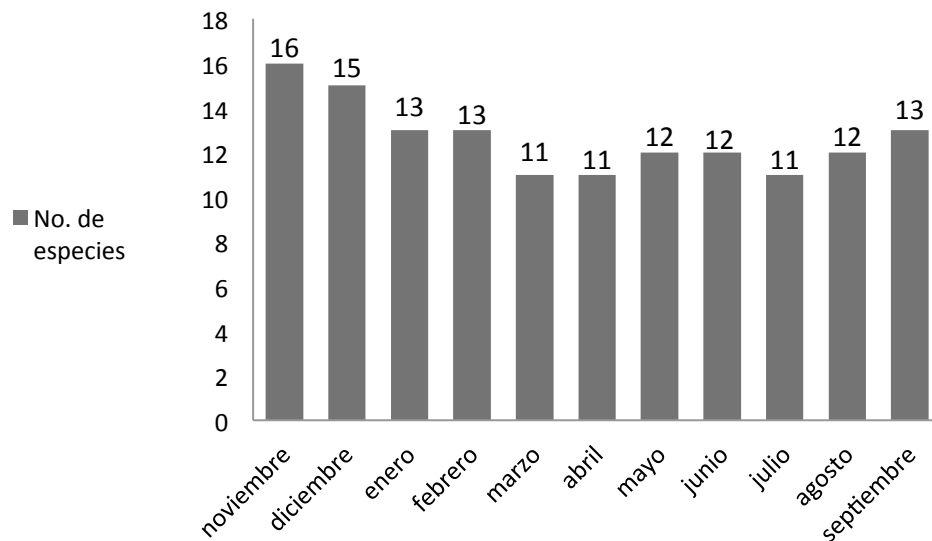


Figura 3. Riqueza de especies de dinoflagelados tóxicos y nocivos en la zona costera de Tuxpan, Ver. Durante el periodo de noviembre de 2014 a septiembre de 2015.

Abundancia

Los valores más altos de abundancia se registraron en agosto con 1360 cél/l, seguido de febrero, junio y julio con 926, 810 y 830 cél/l respectivamente. Las especies más abundantes fueron *Prorocentrum gracile*, *P. micans* y *Dinophysis caudata*. Los valores más bajos de abundancia se encontraron en noviembre con 673 cél/l seguido de diciembre y enero (cuadro 3).

Cuadro 3. Abundancia (cél/l) mensual de especies tóxicas y nocivas en la zona costera de Tuxpan Ver.

Especies	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
<i>Dinophysis acuminata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	690	50
<i>D. caudata</i>	0	0	266	0	100	200	150	150	0	0	230
<i>Gonyaulax polygramma</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180	0
<i>Gymnodinium</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0
<i>Karenia brevis</i>	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Prorocentrum gracile</i>	277	535	200	440	0	0	0	0	400	190	0
<i>Prorocentrum micans</i>	0	0	0	336	548	0	400	500	0	200	260
<i>Protoperdinium</i> sp	0	156	0	150	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	0	0	0	0	0	480	0	0	0	0	0
<i>Tripos furca</i>	233	0	233	0	166	0	180	160	80	0	180
<i>Tripos fusus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	50	100	0
TOTAL	673	691	699	926	814	680	730	810	830	1360	720

A lo largo del periodo de muestreo, la estación que presentó los valores más altos de abundancia fue el Estuario con un 2566 cél/l, seguido de La Mata con 2498 cél/l, mientras que la Termoeléctrica presentó los valores más bajos con 1493 cél/l (fig. 4).

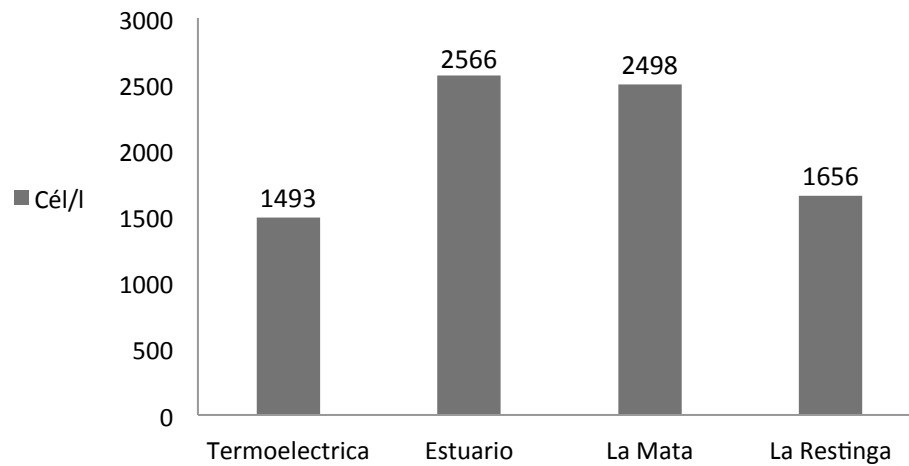


Figura 4. Abundancia de dinoflagelados tóxicos y nocivos durante noviembre de 2014 a septiembre de 2015 en la zona costera de Tuxpan, Ver.

Quistes en los sedimentos

Riqueza

Durante el periodo de muestreo se encontraron nueve especies de quistes en el sedimento correspondientes a dos ordenes, tres familias y cuatro géneros de dinoflagelados, así mismo tres especies no identificadas, distribuidas en las cuatro estaciones de muestreo, de las nueve especies, tres se encontraron en las cuatro estaciones (*) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Especies de quistes de dinoflagelados registrados en los sedimentos de la zona costera de Tuxpan, Ver. En los meses noviembre de 2014 a septiembre de 2015.

Especies	Termoeléctrica	Estuario	La Mata	La Restinga
<i>Alexandrium</i> sp	0	1	1	1
* <i>Gonyaulax</i> sp	1	1	1	1
* <i>Gonyaulax spinifera</i>	1	1	1	1
<i>Protoperdinium claudicans</i>	1	1	1	0
<i>Protoperdinium</i> sp	1	0	1	0
* <i>Scrippsiella</i> sp	1	1	1	1
Dinoquiste no identificado 1	1	0	0	0
Dinoquiste no identificado 2	1	1	0	0
Dinoquiste no identificado 3	0	0	1	1
Total	7	6	7	5

Las estaciones con más especies fueron la Termoeléctrica y La Mata con siete especies cada una, seguido del Estuario (seis especies) y finalmente la Restinga con cinco especies (fig. 5).

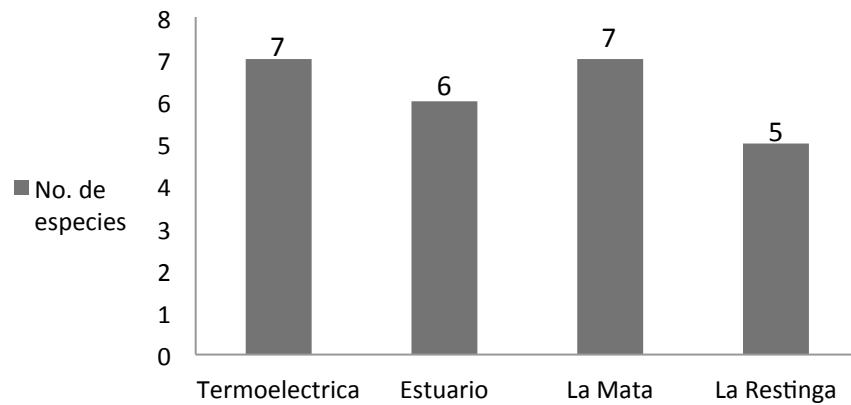


Figura 5. Riqueza de quistes de dinoflagelados en sedimentos Durante noviembre de 2014 a septiembre de 2015 de la zona costera de Tuxpan, Ver.

Abundancia

Durante los meses de muestreo se obtuvieron un total de 21 quistes g^{-1} , fueron junio y septiembre los meses con los valores más altos de abundancia ($10 g^{-1}$) cada uno, mientras que en enero se presentó la menor abundancia con sólo un quiste. Las especies *Alexandrium* sp y *Scrippsiella* sp presentaron los valores más altos de abundancia con 11 y $14 g^{-1}$ respectivamente (cuadro 4).

Cuadro 5. Abundancia de quistes de dinoflagelados en sedimentos durante los meses de noviembre de 2014 a septiembre de 2015 en la zona costera de Tuxpan, Ver.

Mes	Especies	Termoeléctrica	Estuario	La Mata	La Restinga	
Nov	<i>Gonyaulax</i> sp	1	0	0	0	
	<i>Gonyaulax spinifera</i>	0	2	0	0	
	<i>Protoperidinium claudicans</i>	2	0	1	0	
Dic	<i>Alexandrium</i> sp.	0	0	0	1	
	<i>Scrippsiella</i> sp.	1	1	0	0	
	Dinoquiste no identificado1	1	0	0	0	
Ene	<i>Protoperidinium</i> sp.	0	0	1	0	
Feb	Dinoquiste no identificado 2	0	1	0	0	
	Dinoquiste no identificado 3	0	2	0	1	
Mar	<i>Gonyaulax</i> sp.	1	0	0	0	
	<i>Scrippsiella</i> sp.	0	0	1	0	
Abr	<i>Alexadrium</i> sp.	0	2	0	0	
	<i>Gonyaulax</i> sp.	1	0	0	0	
May	<i>Gonyaulax spinifera</i>	2	0	0	0	
	<i>Protoperidinium</i> sp.	0	0	1	0	
Jun	<i>Alexandrium</i> sp.	0	2	0	1	
	<i>Protoperidinium claudicans</i>	1	1	0	0	
	<i>Scrippsiella</i> sp.	2	0	1	0	
	Dinoquiste no identificado 1	1	0	0	1	
Jul	<i>Alexandrium</i> sp.	0	0	1	1	
	<i>Gonyaulax</i> sp.	0	2	0	0	
	<i>Scrippsiella</i> sp.	0	1	1	0	
Ago	<i>Alexandrium</i> sp.	0	0	0	1	
	<i>Gonyaulax</i> sp.	1	1	0	0	
	<i>Gonyaulax spinifera</i>	0	0	1	0	
	<i>Scrippsiella</i> sp.	1	1	1	1	
	<i>Alexandrium</i> sp.	0	0	0	2	
Sep	<i>Gonyaulax spinifera</i>	0	1	0	0	
	<i>Protoperidinium claudicans</i>	0	0	1	0	
	<i>Scrippsiella</i> sp.	1	1	0	0	
	Dinoquiste no identificado 1	0	1	0	1	
	Dinoquiste no identificado 2	0	0	2	0	
	Total		16	19	11	10

Respecto a la abundancia total de quistes de dinoflagelados por estación, el Estuario (19 g^{-1}) y Termoeléctrica (16 g^{-1}) fueron las estaciones que presentaron los valores más altos de abundancia, mientras que La Mata y La Restinga tuvieron la abundancia más baja (fig. 6).

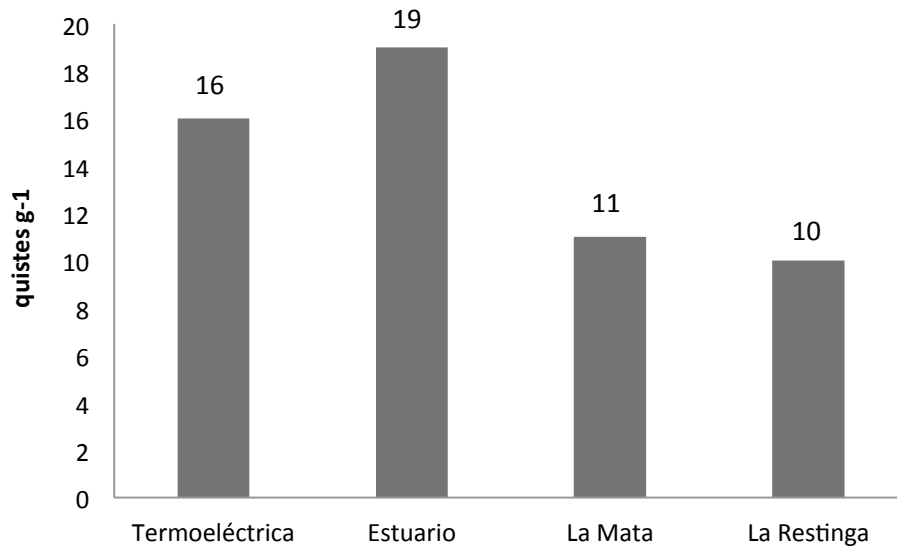


Figura 6. Abundancia de quistes de dinoflagelados durante noviembre de 2014 a septiembre de 2015 de la zona costera de Tuxpan, Ver.

Abundancias de dinoflagelados en la columna de agua por especies en los meses y estaciones de muestreo.

Respecto a la abundancia por especies de manera mensual, se observó que la especie que presentó mayor abundancia fué *Dinophysis acuminata* en agosto, y *Prorocentrum gracile* fue abundante en el mes de julio, y *Prorocentrum micans* en julio y febrero. Mientras que, la especie menos abundante fue *Tripos fusus* (Fig. 7).

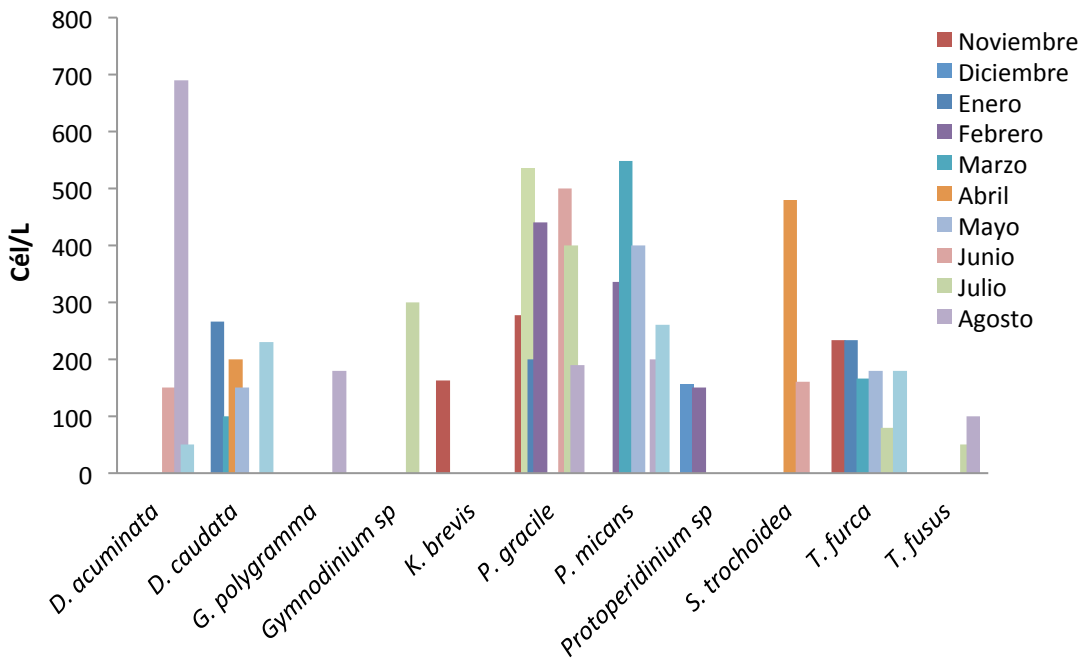


Figura 7. Abundancia mensual (cél/l) de dinoflagelados en la columna de agua en la zona costera de Tuxpan, Ver.

Por otro lado, se observa que en las estaciones de muestreo las especies más abundantes se presentaron de la siguiente manera, *Dinophysis caudata* y *Prorocentrum gracile* presentaron valores altos de abundancia en el Estuario, mientras que *Prorocentrum micans* fue más abundante en La Mata, y *Triplos fusus* fue la especie menos abundante (Fig. 8).

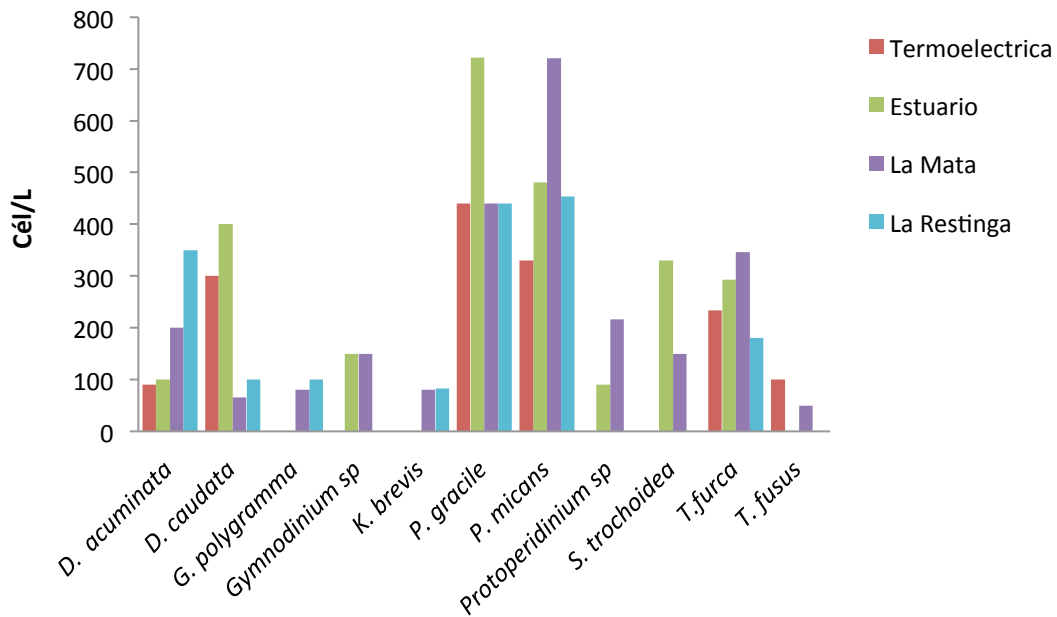


Figura 8. Abundancia total (cél/l) de especies por estaciones durante el periodo de muestreo.

Relación de las especies y las variables ambientales en los meses de muestreo.

El análisis de correlación canónica trata con la asociación entre los conjuntos de variables múltiples dependientes o independientes.

La abundancia de las especies *Prorocentrum micans*, *Gymnodinium sp*, *Tripos fusus* y *Dinophysis acuminata* estuvo relacionada con la transparencia, salinidad y temperatura, en los meses de marzo, junio y agosto. Por otro lado *Karenia brevis*, *Prorocentrum gracile*, *Tripos fusus*, *Protoperidinium sp* y *Gonyaulax polygramma* estuvieron más relacionadas con el pH y el oxígeno disuelto en noviembre, diciembre, febrero y julio (fig. 9).

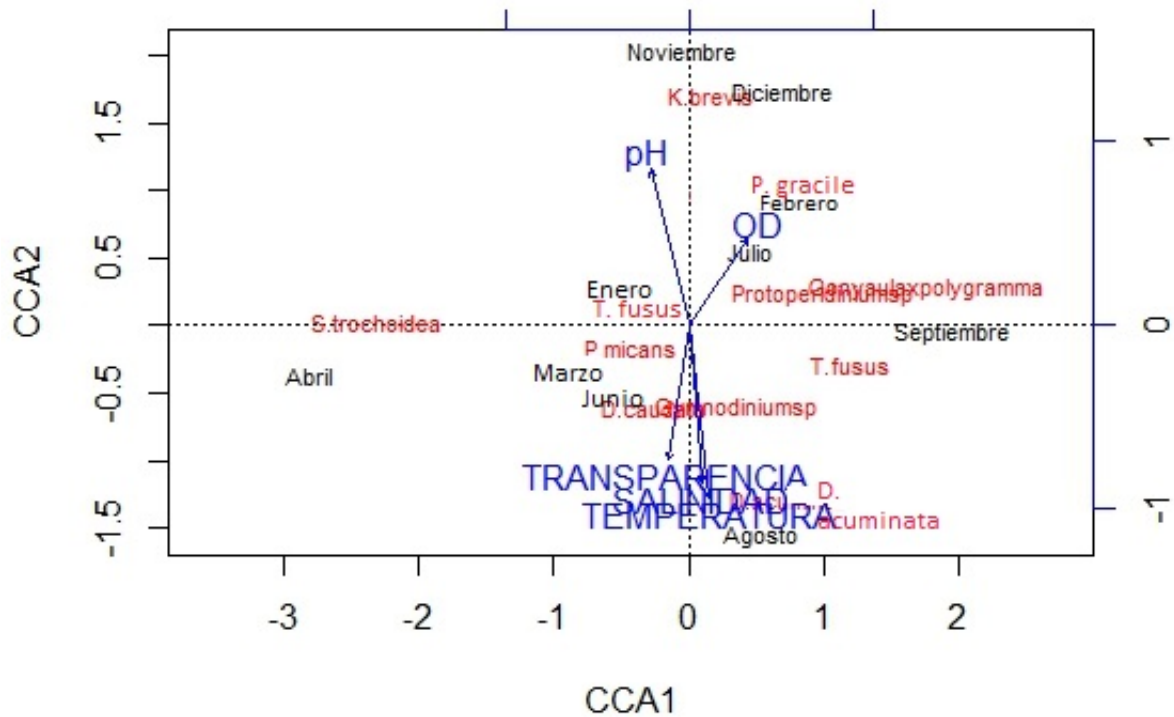


Figura 9. Correlación de la abundancia de especies con respecto a las variables ambientales en los meses de muestreo.

Diversidad ecológica de Shannon y Wiener (H')

Considerando que los valores de H' por encima de 3 son típicamente interpretados como diversos, se obtuvo por lo tanto que las estaciones Estuario y La Mata son altamente diversas. Respecto al índice de dominancia de Simpson, en las estaciones La Mata y Estuario si hubo dominancia de especies. Mientras que el índice de diversidad verdadera arrojó que en efecto en la Mata se encontró la

mayor diversidad ecológica de la comunidad. En general la diversidad de especies se consideró alta en las estaciones (cuadro 6).

Cuadro 6. Índices de diversidad de fitoplancton de la zona costera de Tuxpan, Ver. Durante noviembre de 2014 a septiembre de 2015.

Índices	Termoeléctrica	Estuario	La Mata	La Restinga
Simpson	4.807	5.743	6.361	5.025
Shannon	1.656	1.882	2.085	1.743
Wiener				
Diversidad Verdadera	5.24	6.57	8.04	5.75

Variación de las variables ambientales en el periodo de estudio.

La temperatura varió de 21°C hasta por encima de los 30°C. Las temperaturas más bajas se presentaron en los meses de noviembre y septiembre. A partir de diciembre la temperatura comenzó a aumentar, para disminuir en febrero, y presentar de nuevo una temperatura más alta en agosto (fig. 10).

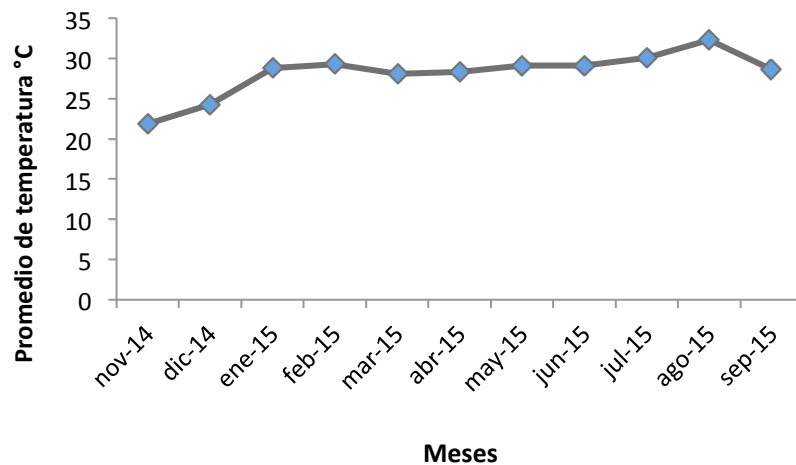


Figura 10. Variación de la temperatura del agua durante el periodo de muestreo en la zona costera de Tuxpan, Ver.

La salinidad varió desde 13 ups hasta arriba de 30 ups. Los meses con los valores más altos de salinidad fueron noviembre, enero y agosto, mientras que diciembre presentó la salinidad más baja, seguido de febrero (fig. 11).

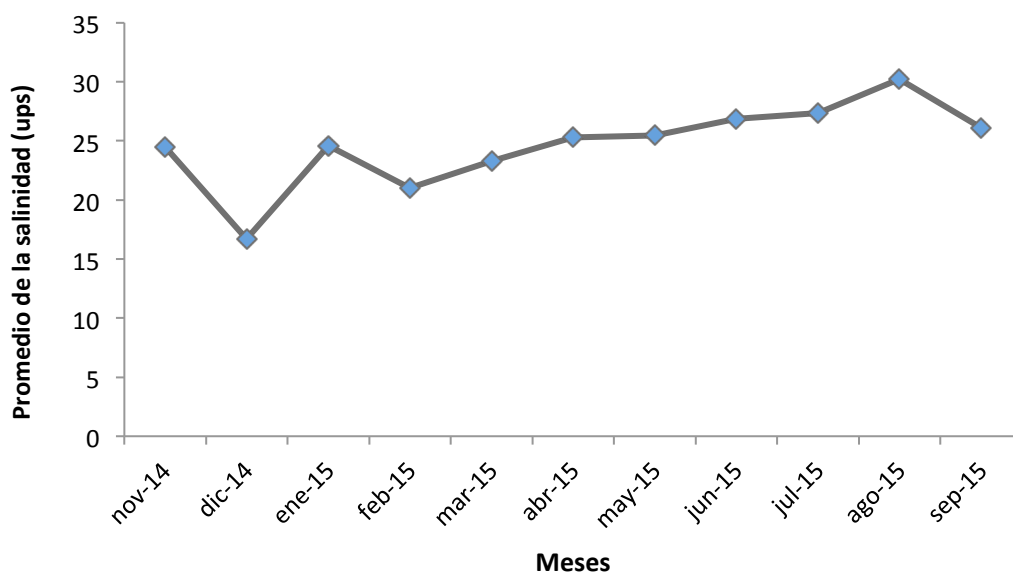


Figura 11. Variación de la salinidad del agua durante el periodo de muestreo en la zona costera de Tuxpan, Ver.

Loa valores de pH oscilaron entre los 7 hasta 11. El valor más alto se encontró en noviembre seguido de diciembre, mientras que el pH mínimo fue de 7 en agosto (fig.12).

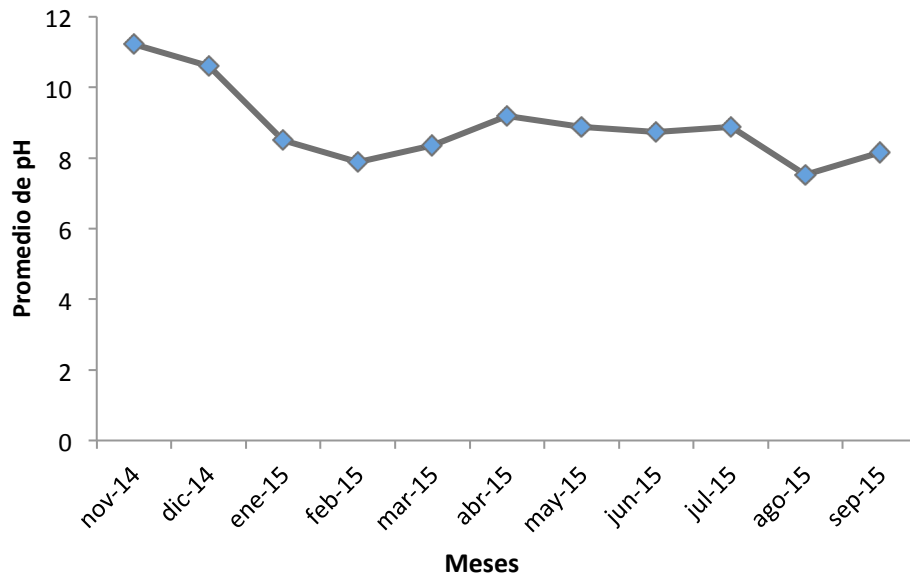


Figura 12. Variación del pH del agua durante el periodo de muestreo en la zona costera de Tuxpan, Ver.

Los valores del oxígeno disuelto variaron de 5.5 mg/l hasta los 10 mg/l. Los valores más altos se encontraron en diciembre, seguido de noviembre, mientras que los valores más bajos se presentaron en enero, marzo y abril (fig. 13).

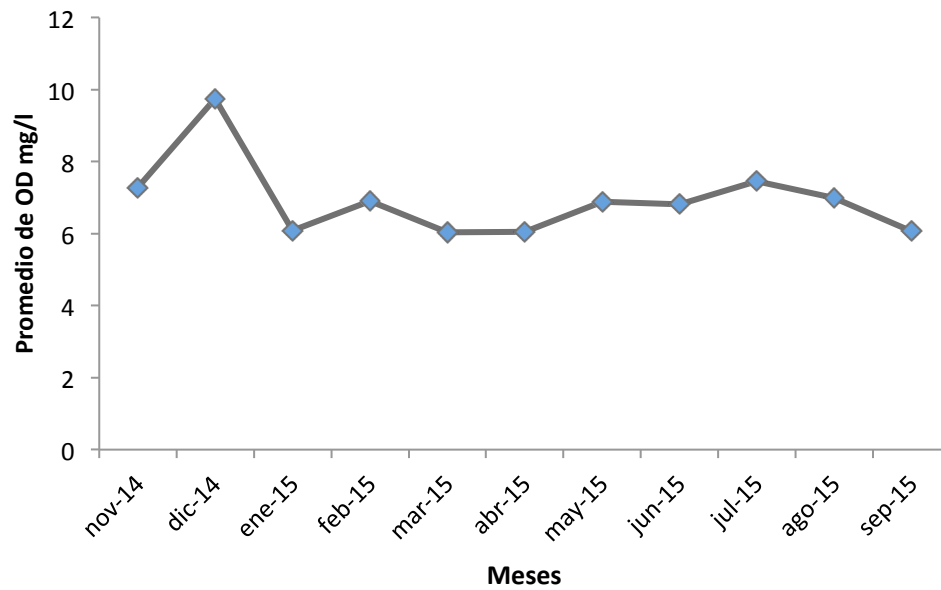


Figura 13. Variación del oxígeno disuelto durante el periodo de muestreo en la zona costera de Tuxpan, Ver.

Los valores de la transparencia del agua tuvieron una variación de 40 cm hasta 180 cm. La transparencia más alta se encontró en junio y agosto, mientras que la más baja en diciembre, febrero y septiembre (fig. 14).

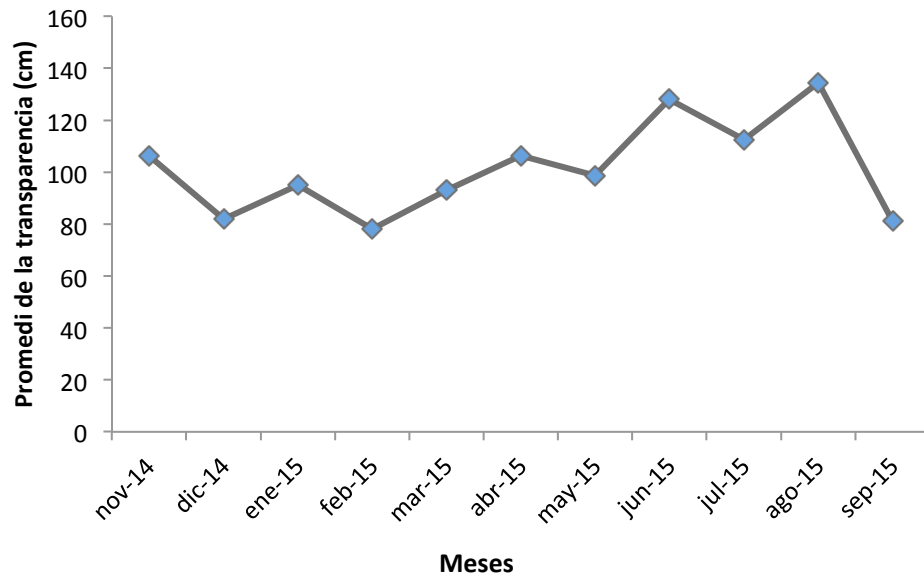


Figura 14. Variación de la transparencia del agua durante el periodo de muestreo en la zona costera de Tuxpan, Ver.

Análisis de similitud y clasificación de Jaccard

El dendograma de similitud de Jaccard mostró la relación que tienen las estaciones con respecto a la presencia y ausencia de especies, donde se obtuvieron dos grupos, uno formado por La Mata y La Restinga, y el otro por el Estuario y la Termoeléctrica (Fig. 15).

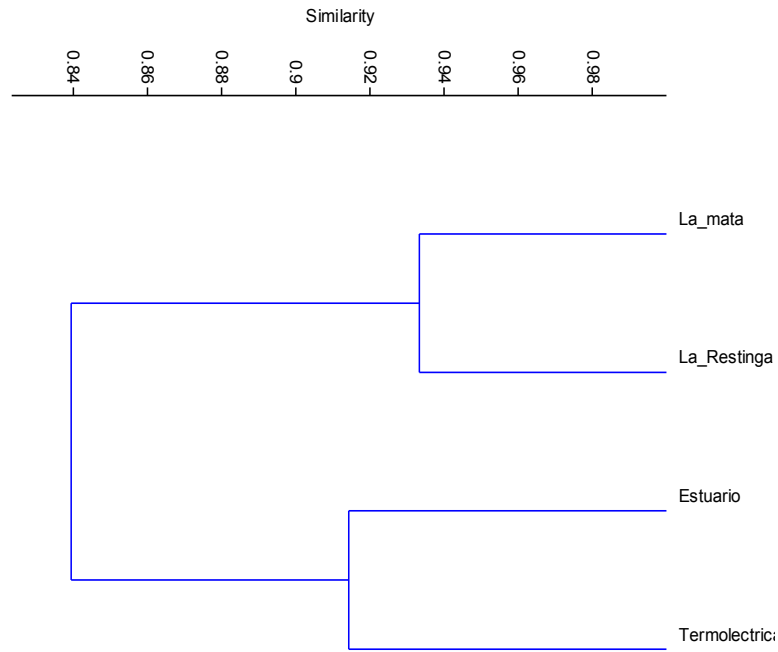


Figura 15. Dendrograma de similitud de Jaccard de especies de dinoflagelados tóxicos y nocivos de la zona costera de Tuxpan, Ver.

Para los meses con respecto a la presencia y ausencia de las especies se obtuvieron tres grupos importantes, el primero compuesto por los meses de enero, marzo y febrero, el segundo conformado por septiembre, agosto, noviembre y julio y finalmente el tercer grupo conformado por los meses de abril, mayo y junio, sin embargo se observa que el mes de diciembre se aleja de los grupos (fig. 16).

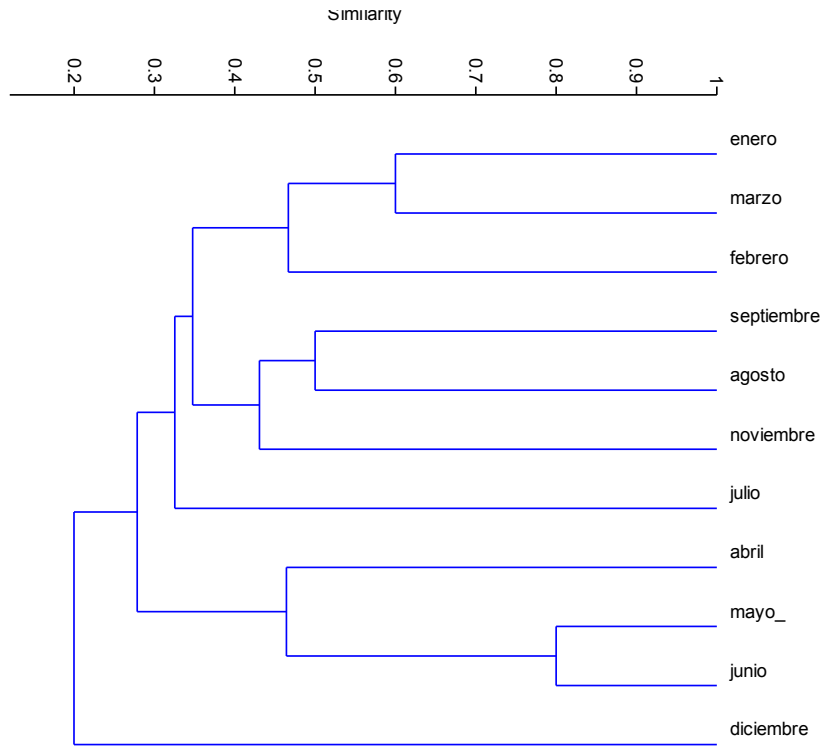


Figura 16. Dendrograma de similitud de Jaccard de especies de dinoflagelados tóxicos y nocivos en la zona costera de Tuxpan, Ver.

VII. DISCUSIÓN

En este trabajo se estudió la composición y abundancia de especies de dinoflagelados (Dinophyta) tóxicos y nocivos reportadas como formadoras de mareas rojas o FAN en cuatro estaciones de muestreo: Termoeléctrica, Estuario, La Mata y La Restinga durante el periodo noviembre 2014 a septiembre 2015 en la zona costera de Tuxpan, Ver. En estas estaciones se obtuvo un registro total de 19 especies de dinoflagelados tóxicos y nocivos y quistes en los sedimentos.

Las especies encontradas pertenecen a cinco ordenes, nueve familias, y 11 géneros de los cuales los géneros más representativos fueron: *Tripos* con tres especies, seguido de *Dinophysis*, *Prorocentrum*, *Gonyaulax* y *Protoberidinium* con dos especies cada uno, coincidiendo con Meave del Castillo (2009), quien en su estudio de dinoflagelados del océano Pacifico Tropical Mexicano reporta al género *Tripos* con el mayor número de especies, seguido de *Protoberidinium*, *Dinophysis*, *Gonyaulax*, *Oxytoxum* y *Prorocentrum*. De la misma manera, los resultados aquí encontrados fueron similares a los de Parra-Toriz *et al.* (2010), quienes reportaron nueve especies de los ordenes Prorocentrales y Dinophysiales en el Sistema Arrecifal Veracruzano durante el periodo de octubre de 2006 a enero de 2007, la riqueza encontrada en este trabajo es menor, ya que del total solo 4 pertenecen a los órdenes Prorocentrales y Dinophysiales. Así mismo la riqueza de especies de los géneros *Tripos* y *Protoberidinium* de este trabajo es importante y significativa en comparación con las 33 especies del genero *Ceratium* (ahora *Tripos*) estudiadas

por Okolodkov (2010) de mayo de 2005 a marzo de 2008 en la parte noroeste del Parque Marino Nacional SAV, la parte sur del Golfo de México y en estas mismas áreas también el estudio de la morfología de 46 especies de *Protoberidinium*. Estos géneros se consideran diversos, ya que *Ceratium* y *Protoberidinium* son de los más comunes en el plancton marino (Licea *et al.*, 2004). En el sur del Golfo de México, 13 de las 28 especies de dinoflagelados más comunes pertenecen al género *Tripos* (Licea *et al.*, 2004). Del mismo modo, en el norte del Golfo de México, 13 especies *Tripos* estuvieron entre los 30 más comunes (Balech, 1967). Debido a que la distribución geográfica latitudinal es relativamente bien conocida de los *Tripos*, en muchos casos está bastante bien delimitada, estas especies han sido utilizadas como indicadores biológicos de masas de agua, además de que ha sido sugerido para estudios biogeográficos y para la definición de las corrientes oceánicas y los rangos de temperatura, de tal manera que puede ser útiles en los estudios del cambio global (Okolodkov, 2010).

De las más de 2000 especies vivientes estimadas de dinoflagelados, alrededor de 75 tienen la capacidad de producir potentes toxinas y causar intoxicaciones en humanos (Hernández-Orozco *et al.*, 2006). Las 17 especies de dinoflagelados tóxicos y nocivos reportadas en este estudio representan una cifra importante, considerando que solo se estudió la zona costera de Tuxpan, dato que coincide con el trabajo de Orduña-Medrano, (2012) quien reportó 265 especies de fitoplancton en la zona costera de Tuxpan de las cuales 86 pertenecen al grupo de los dinoflagelados y de estos de acuerdo a la literatura 17 especies son

productoras de toxinas y 10 especies están relacionadas con la formación de mareas rojas; Orduña-Medrano, (2012) reportó los valores más altos de diversidad de fitoplancton en la época de lluvias, coincidiendo también con el trabajo de Pérez-Olmedo, (2014) quien reportó para los arrecifes Tuxpan y Enmedio 130 especies de dinoflagelados, siendo los meses noviembre, agosto y septiembre como los más diversos. Así mismo pudo detectar como potencialmente nocivas 18 especies de las cuales el 44.5 % pertenecieron al orden Gonyaulacales y el otro 55.5 % se divide entre los ordenes Peridinales, Dinophysiales, Prorocentrales y Gymnodinales, siendo similares a nuestros resultados obtenidos, el mayor porcentaje de las especies corresponden al orden Gonyaulacales (41.2%), seguido del orden Peridinales (23.5%) y el otro 35.5% se encuentran divididos entre los ordenes Dinophysiales, Prorocentrales y Gymnodinales. En estos trabajos coinciden las temporadas de muestreo y las condiciones ambientales que se presentaron, observándose en la época de lluvias la remoción de sedimentos y una mayor circulación de agua generando un levantamiento de nutrientes que probablemente favorecen a la comunidad fitoplanctónica.

El género *Prorocentrum*, incluye aproximadamente 62 especies marinas, 21 son consideradas formadoras de florecimientos algales nocivos, de las cuales aproximadamente 10 especies producen toxinas (Muciño-Márquez *et al.*, 2011). En este trabajo los valores más altos de abundancia se registraron en agosto, con un total de 1360 cél/l, seguido de febrero, junio y julio, con 926, 810 y 830 cél/l respectivamente, con la dominancia de las especies *Prorocentrum gracile*, *P.*

micans y *Dinophysis caudata*, y de acuerdo al análisis de Correspondencia Canónica estas especies se encuentran más relacionadas con la temperatura, la salinidad y transparencia, esto coincide Muciño-Márquez *et al.* (2011), quienes reportaron cuatro especies *Prorocentrum compressum*, *P. gracile*, *P. micans*, *P. mexicanum* y *P. robustum*, de estas, *Prorocentrum gracile* fue la más abundante y frecuente, registrando una relación significativa $r^2 = 0.52$ con la salinidad, factor ambiental determinante en la distribución y abundancia temporal de las especies de *Prorocentrum*. Esto contrasta con lo reportado por Orduña-Medrano (2012) que reporta a *Karenia brevis* como la especie más abundante de los dinoflagelados y que la abundancia disminuye notablemente hacia la zona marina durante la temporada de lluvias.

En general las especies *Prorocentrum gracile*, *P. micans*, *P. mexicanum*, *P. compressum* y *P. robustum* son resistentes a los cambios bruscos en la salinidad, pero resistentes a choques osmóticos (Madigan *et al.*, 2004). Ferreira *et al.* (2005), mencionan que en las lagunas costeras si se da una disminución en el suministro del agua continental aumentaría la salinidad modificando la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica. Por lo cual podría propiciar que especies marinas oportunistas produjeran florecimientos algales, como podría ser *P. compressum*, *P. gracile*, *P. micans* y *P. mexicanum*, especies que forman florecimientos algales nocivos. En el Pacífico Mexicano se han reportado como especies dominantes y asociadas a FAN (Muciño-Márquez *et al.*, 2011). En

Tabasco (en el embarcadero Cutter), se ha reportado mortandad de peces relacionados con un florecimiento de *P. gracile* (LESP, 2005).

Gárate *et al.* (2007) sugirieron que los florecimientos de las especies del género *Prorocentrum* ocurren principalmente en estaciones someras y con un intervalo de temperatura estrecho. En este estudio ninguna especie presentó proliferaciones, la temperatura más alta se reportó de junio a agosto, sin embargo se tendrían que evaluar otros factores como la concentración de nutrientes y materia orgánica para tener más información y así explicar mejor su comportamiento (Muciño-Márquez *et al.*, 2011).

Las especies más frecuentes en las muestras de red durante el periodo de muestreo fueron: *Dinophysis caudata*, *Prorocentrum micans*, *P. gracile*, *Protoperidinium crassipes* y *Tripos furca*, estas especies se encuentran ampliamente distribuidas tanto en tiempo como en espacio, por lo que se les podría considerar tolerantes a amplios intervalos de temperatura y salinidad, dato que coincide con Orduña-Medrano (2012) ya que reporta a *Dinophysis caudata*, *Ceratium furca* (ahora *Tripos furca*) y *Protoperidinium pentagonum* como especies tolerantes a diferentes intervalos de temperatura y salinidad y una amplia distribución. Las especies *Gymnodinium catenatum* y *Alexandrium catenella* han sido caracterizadas por la producción de PSP (Intoxicación Paralizante por Moluscos) (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2004b). Mientras que *Dinophysis caudata* y *D. fortii* se caracterizan por la producción de DSP (Intoxicación Diarreica por Moluscos). Por otro lado *Protoperidinium crassipes* especie caracterizada por la

producción de AZP (Azaspirácido), su distribución es muy amplia y sus florecimientos al parecer se deben al incremento de la contaminación en la zona costera (Ceballos-Corona, 2006). En noviembre del 2005 en las costas chilenas se detectó por primera vez a *P. crassipes* como una especie potencialmente tóxica (Suárez y Contreras, 2005). En el Golfo de California los envenenamientos se deben realmente a la presencia de *P. crassipes* (Ceballos-Corona, 2006).

Todas las especies de dinoflagelados se reproducen asexualmente, por división binaria. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, se origina la reproducción sexual, lo que involucra una serie de eventos de desarrollo que producen células morfológica y fisiológicamente distintas, llamadas gametos, cigotos e hipnocigotos (González-Cea, 2011). Sólo el 10% de los dinoflagelados producen hipnocigotos los cuales corresponden a los quistes de resistencias, células no-moviles que carecen de flagelos, los que se originan por reproducción sexual cuando las condiciones ambientales para el desarrollo del dinoflagelado no son óptimas. Los quistes de resistencia pueden sobrevivir en condiciones ambientales extremas y mantenerse quiescentes o latentes durante un cierto período de tiempo, lo que permite su posterior germinación, de manera más o menos sincronizada, en respuesta al mejoramiento de condiciones ambientales (Matsuoka y Fukuyo, 2000). Uno de los roles ecológicos más importantes de los quistes de dinoflagelados es la formación de reservorios, los cuales bajo condiciones ambientales adecuadas, pueden constituir un inóculo para nuevos FAN (Seguel *et al.*, 2005). Este trabajo enmarca también la composición de quistes de resistencia

de dinoflagelados en las cuatro estaciones de muestreo, mediante muestras de sedimento, obteniéndose un total de nueve especies correspondientes a dos ordenes, tres familias y cuatro géneros, las especies más abundantes fueron *Alexandrium* sp y *Scripsiella* sp. Junio, agosto y septiembre fueron los meses donde los quistes fueron más abundantes, así mismo la Termoeléctrica y el Estuario fueron las estaciones con los valores más altos de abundancia de quistes. Para el área de estudio no hay trabajos similares, sin embargo Alonso-Rodríguez, (2004) analizó la hidrología y condiciones ambientales que determinan la proliferación de dinoflagelados en la Bahía de Mazatlán, reportando que el género *Protoperidinium* constituyó más de la mitad de los dinoquistes, seguido de quistes producidos por dinoflagelados desnudos como *Gymnodinium* y *Gonyaulax*. Así como en el sur de Chile se caracterizaron los quistes de ocho especies en el sedimento, destacando tres especies del género *Protoperidinium* y especies como *Alexandrium catenella*, *Protoceratium reticulatum*, *Scripsiella* sp y *Gonyaulax spinifera*, y se encontró una correlación entre su abundancia y las características físicas del sedimento (Gonzales-Cea, 2011). Los quistes de dinoflagelados son importantes porque permiten la supervivencia de la especie en condiciones ambientales no favorables, además de que promueven la ampliación de su distribución geográfica al ser transportados horizontalmente a otras zonas por medio de corrientes marinas, descargas del agua de lastre de los barcos, o por su asociación con especies migratorias o exóticas que se utilizan para cultivo (Alonso-Rodríguez, 2004). Se ha estudiado que la temperatura, la intensidad

luminosa, así como el oxígeno disuelto, son factores que propician el crecimiento y reproducción de los quistes de dinoflagelados (Alonso-Rodríguez, 2004).

Por otro lado, en relación a las variables ambientales, las temperaturas más elevadas se presentaron en agosto, por encima de los 32 °C, coincidiendo con Orduña Medrano (2012) quien reportó también el mes agosto con temperaturas más altas que oscilaron entre (31-35 C°) en el interior de la laguna Tampamachoco de Tuxpan, mientras que la temperatura mínima se encontró en noviembre, con 21.85 °C. La salinidad máxima se obtuvo en agosto, con valores arriba de 29 ups, la mínima se presentó en diciembre con 16.7 ups. Se observó que la salinidad fue aumentando a partir de febrero hasta encontrar su máxima en agosto. Para el oxígeno disuelto se obtuvo el valor máximo en diciembre con 9.74 mg/l, el valor más bajo en enero y septiembre con valores entre 6 y 7 mg/l. El oxígeno disuelto es de gran importancia para el metabolismo, distribución y comportamiento de los organismos acuáticos. De igual manera, influye en la solubilidad de muchos nutrientes inorgánicos (Velázquez *et al.*, 2005). Por lo tanto los valores altos sugieren una alta productividad fitoplanctónica o una alta mezcla dada por las corrientes y el intercambio atmosférico. En cuanto a la transparencia se observó que los meses junio y agosto tuvieron la mayor transparencia de hasta 140 cm.

En la actualidad se ignora cuáles son los factores que influyen para que dichas algas se propaguen de forma excesiva, aunque se especula que la contaminación marina y la elevación térmica de la superficie del océano juegan un papel

importante (Rodríguez, 2008). Ya que cambia la concentración de nutrientes y la salinidad en la columna de agua. Finalmente en este trabajo no se observó ninguna proliferación de microalgas fitoplanctónicas en las estaciones durante el periodo de muestreo, las especies más abundantes no alcanzaron los niveles de concentración indicados por La Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-005-SSA1-2001 2500 cél/l en al menos tres muestras diferentes, y la abundancia de los quistes tampoco fue relevante. Sin embargo de acuerdo a los resultados, La Mata y el Estuario son las zonas que probablemente estén más expuestas a la formación de marea roja, ya que en estas zonas se encontró la mayor abundancia de dinoflagelados tóxicos y nocivos, y son zonas con gran impacto por actividades humanas, y donde ocurren procesos como aumento de la temperatura y estratificación de la columna de agua que podrían propiciar la proliferación de algas tóxicas o nocivas.

VIII. CONCLUSIONES

Se registraron 17 especies de dinoflagelados reportados como tóxicos, asociados a la formación de mareas rojas distribuidas en cinco ordenes, nueve familias y 11 géneros.

Los géneros más representativos fueron *Tripos* con tres especies, seguido de *Dinophysis*, *Gonyaulax*, *Prorocentrum* y *Protoberidinium* con dos especies cada uno.

En general las estaciones de muestreo se reportan como ricas en especies tóxicas y nocivas, encontrándose en el Estuario y La Mata 16 especies, mientras que en la Termoeléctrica y La Restinga 16 especies cada una.

Noviembre y diciembre fueron los meses más ricos en especies de dinoflagelados tóxicos y nocivos con 16 y 15 especies respectivamente, seguidos de enero y febrero con 13 especies cada uno, mientras que a partir de marzo hasta agosto la riqueza comenzó a disminuir notoriamente, para recuperarse en septiembre con 13 especies. Es probable que esto se deba a que en noviembre y diciembre se presentaron las temperaturas más bajas, generando un levantamiento de la

comunidad fitoplanctónica y a medida que aumentaba la temperatura en el transcurso del muestreo la riqueza iba disminuyendo, sin embargo, la abundancia iba en aumento.

Agosto presentó los valores más altos de abundancia, seguid de febrero, junio y julio. Los valores más bajos se encontraron en noviembre.

La estación con mayor abundancia fue el Estuario, seguido de La Mata, mientras que la Termoeléctrica presentó los valores más bajos.

Las especies más abundantes durante el periodo de muestreo fueron *Prorocentrum gracile*, *Prorocentrum micans*, *Dinophysis caudata* y *Tripos furca*.

Las especies más frecuentes en las muestras de red fueron *Dinophysis caudata*, *Prorocentrum micans*, *P. gracile*, *Protoperidinium crassipes* y *Tripos furca*, por lo que se puede inferir que estas especies se encuentran ampliamente distribuidas tanto en tiempo como en espacio en la zona costera de Tuxpan.

Se encontraron un total de nueve especies de quistes en los sedimentos correspondientes a dos ordenes, tres familias y cuatro géneros, distribuidas en cuatro estaciones de muestreo, siendo la Termoeléctrica y La Mata las más ricas

en especies de quistes con siete cada una, seguido del Estuario con seis y finalmente la Restinga con cinco especies.

Se obtuvo una abundancia total de 21 quistes g^{-1} , presentando junio y septiembre los valores más altos de abundancia de quistes, encontrándose a *Alexandrium* sp y *Scrippsiella* sp como las especies dominantes.

Los valores más altos de abundancia de quistes se encontraron en el Estuario y La Termoeléctrica, mientras que La Mata y La Restinga tuvieron abundancia más baja.

Los resultados del Análisis de Correspondencia Canónica, muestran que las especies *P. micans*, *Gymnodinium* sp, *T. fusus* y *Dinophysis acuminata* está relacionada con la transparencia, salinidad y temperatura; mientras que *K. brevis*, *P. gracile*, *T. fusus*, *Protoperidinium* sp y *Gonyaulax polygramma* están más relacionadas con el pH y el Oxígeno disuelto.

La Mata fué la estación con mayor diversidad de especies. Sin embargo en general la diversidad de especies se consideró alta en las estaciones.

Agosto presentó los niveles de temperatura, salinidad y transparencia más altas, coincidiendo con los valores más altos de abundancia de *Dinophysis acuminata* y *Prorocentrum micans*, mientras que el pH más alto se encontró en noviembre, seguido de diciembre y el oxígeno disuelto más alto ocurrió en diciembre.

La semejanza representada en el dendograma de similitud de especies mostró dos grupos importantes con una composición de especies similar, uno formado por la Mata y la Restinga, y el otro por el Estuario y la Termoeléctrica.

Especies como *Prorocentrum gracile*, *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis caudata*, *Karenia brevis*, *Gonyaulax spinifera*, *Scrippsella trochoidea*, *Peridinium quinquecorne* y *Tripos furca* se han asociado frecuentemente a eventos de mareas rojas en el Golfo de México, por lo que se puede inferir de acuerdo a la abundancia de *Prorocentrum gracile* y *Dinophysis acuminata* que en la zona costera de Tuxpan si se presentara un evento de marea roja, probablemente estarían relacionadas estas dos especies.

De acuerdo a las especies que han reportado otros autores, la riqueza de especies tóxicas representa una cifra importante para la zona costera de Tuxpan.

En este trabajo no se observó ninguna proliferación en las estaciones durante el periodo de muestreo, las especies más abundantes no alcanzaron los niveles de concentración indicados por La Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-005-SSA1-2001 2500 cél/l.

La Mata y el Estuario son las zonas que probablemente estén más expuestas a la formación de marea roja.

IX. APLICACIÓN PRÁCTICA

El plancton constituye la forma de vida y fuente de alimento dominantes del océano, el fitoplancton, que lleva a cabo la fotosíntesis cerca de la superficie del agua, suministra el alimento para el zooplancton e indirectamente, para los peces que se alimentan de éste, además como fuente de la cadena alimentaria marina, el fitoplancton es un indicador de cambios importantes en los océanos, por lo tanto juega un papel muy importante en el equilibrio de gases de invernadero que controlan el clima global (Ceballos-Corona, 2006). La mayoría de especies fitoplanctónicas no son nocivas ecológicamente y sirven como productores de energía en el inicio de la cadena trófica, sin la cual las especies vivas mayores no podríamos existir, además son utilizadas ampliamente en diversos ámbitos de consumo y aprovechamiento humano (Orduña-Medrano, 2012).

Sin embargo los océanos actualmente se están viendo amenazados por contaminación resultado de las actividades humanas y la sobrepesca, lo que ha provocado un incremento masivo en las poblaciones celulares de especies causando lo que se conoce como marea roja o Florecimientos Algales Nocivos (FAN), estos pueden ser nocivos o tóxicos y son causados principalmente por dinoflagelados ocasionando manchas visibles en la superficie (Maciel-Baltazar, 2014).

Estas proliferaciones pueden tener impactos evidentes sobre todo en las zonas costeras, en la pesca, la acuicultura, el turismo, incluso a la salud humana por el consumo de mariscos que acumulan toxinas en sus órganos.

La intoxicación en humanos resultante del consumo de moluscos se manifiesta con diversos síntomas clínicos, dependiendo de la toxina presente, su concentración en el molusco y la cantidad que se consumió de éste. Varios mariscos no producen toxinas, pero si son capaces de almacenarlas al ingerir dinoflagelados tóxicos como la especie *Gonyaulax catenella* productora de la toxina paralizante de los moluscos (PSP), presentándose después de 30 minutos de haber ingerido al marisco: adormecimientos de labios, lengua, yemas de los dedos, piernas, brazos y cuello. Hay una falta de coordinación muscular, problemas respiratorios y llega a la muerte por paro respiratorio (2-12 horas).

Tomando en consideración el riesgo que para la salud de la población representa la intoxicación por biotoxinas marinas al consumir moluscos marinos que hayan sido expuestos al fenómeno de FAN, es necesario aplicar medidas tendientes a proteger la población contra la exposición a estas toxinas y prevenir los casos de intoxicación de seres humanos.

Por lo que es de vital importancia llevar a cabo monitoreos en las zonas costeras y tener información que sirva como base para la identificación de zonas expuestas o en su caso identificar posibles focos de origen de marea roja, sobre todo porque este fenómeno es considerado un riesgo para la salud entre los

pescadores, productores, comercializadores, los consumidores y el público en general.

X. BIBLIOGRAFÍA

Aké-Castillo, J. A., Meave del Castillo, M. E. y Hernández-Becerril, D. U. 1995. Morphology and distribution of species of the diatom genus *Skeletonema* in a tropical lagoon coastal lagoon, *European Journal of Phycology* 30:2.107-115.

Aké-Castillo, J. A. y Vázquez, G. 2011 *Peridinium quinquecorne* var. *Trispiniferum* var. nov. (Dinophyceae). Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencia Marinas y Pesquerías. *Acta Botánica Mexicana* 94: 125-140 2011.

Almazán-Becerril, A. 2000. Estudio taxonómico de algunos dinoflagelados potencialmente tóxicos en el Caribe mexicano. Tesis de Maestría, Fac. Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. p 79

Alonso-Rodríguez, R. 2004. Hidrología y condiciones ambientales que determinan la proliferación de dinoflagelados causantes de marea roja en la bahía de Mazatlán, Sin., México. Tesis de Doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., La Paz, Baja California.

Alonso-Rodríguez, R., F. Páez-Osuna, y I. Gárate-Lizárraga, 2004. El fitoplancton en la camaronicultura y larvicultura: importancia de un buen manejo. CESASIN. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 147p.

Alonso-Rodríguez, R., Hernández-Becerril D. U. y Gárate-Lizárraga, 2008. Microalgas de las lagunas costeras de Sinaloa. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Lagunas Costeras de Sinaloa. 198 p.

Anderson, J.T., 1998. The effect of seasonal variability on germination and vertical transport of a cyst forming dinoflagellate, *Gyrodinium sp.*, in Chesapeake Bay. *Ecological Modelling* 112: 8-90.

Ayala, R. A. G. 2008. Grupos Funcionales del Fitoplancton y Estado Trófico del Sistema Lagunar Topolobanco- Ohuira- Santa María. La Paz. C. S. CICIMAR-IPN. p 21- 27.

Boyd, C. E. y C. S. Tucker. 1992. Water quality and pond soil analysis for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama. 183 p.

Bravo-Sierra, E. 2003. Fitoflagelados potencialmente tóxicos y nocivos de costas del Pacífico mexicano. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Laboratorio de Diversidad y Ecología de Fitoplancton Marino, UNAM, México, D.F. *Rev. Biol. Trop.* 52(Suppl. 1): 5-16.

Ceballos-Corona, J.G.A. 2006. Análisis de los dinoflagelados potencialmente nocivos en el fitoplancton en la zona nerítica de la costa michoacana. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tesis Maestría en Ciencias de conservación y Manejo de Recursos Naturales. Morelia, Michoacán. México. 175 p.

Contreras-Espinosa, F. 1993. Ecosistemas Costeros Mexicanos. CONABIO-UAM . 415 p.

Cortés A., R. 1989. Las mareas rojas. AGT Editor, S.A. México, D.F. XIII+161 p.

Cortés-Altamirano, R. y S. Gómez-Aguirre. 2001. Florecimientos algales nocivos en la Bahía de Mazatlán, México 2000. *In* p.336, Mem. Resúmenes IX Colacmar, Sept.16-20, 2001 San Andrés Isla, Colombia. ICFES, IEC, FC-UNC, ALICMAR 535 pp. (contrib. ampliada en CD, id. referencia).

Cortés L., M.C., R. Cortés A. y A. P. Sierra-Beltrán. 2002. Evaluación y diagnóstico de las mareas rojas en los litorales de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. XIII Congreso Nacional de Oceanografía. Puerto Vallarta, Jalisco, México. 45 p.

Esquela-Lara, K. y Hernandez-Becerril, D. U. 2010. Dinoflagelados microplanctonicos marinos del Pacifico central Mexicano) Isla Isabel, Nayarit y

costa de Jalisco y Colima). Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. México, D. F. 205 p.

Ferreira JG, WJ Wolff, TC Simas y SB Bricker. 2005. Does biodiversity of estuarine phytoplankton depend on hydrology?. *Economic Models* 187: 513–523.

Figuroa-Torres M.G. y Weiss-Martínez I. Dinoflagelados (Dinophyceae) de la Laguna de Tamiahua Veracruz, México. 1999. Universidad Metropolitana Autónoma. Unidad Xochimilco. Departamento El hombre y su Ambiente. México, D.F. 45 p.

Gárate-Lizárraga, I., J.J. Bustillos-Guzmán, K. Eler, M.S. Muñetón-Gómez, B. Luckas y A. Tripp-Quezada (2004b): Paralytic shellfish toxins in the chocolata clam, *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae), in Bahía de La Paz, Gulf of California. *Rev. Biol. Trop.*, 52(1):133-140.

Gárate-Lizárraga, I. y G. Verdugo-Díaz, 2007. Nuevos registros de dinoflagelados desnudos para el Golfo de California, México. *Oceánides* 22: 37-43.

Gárate L.I, Band-Schmidt C.J, Verdugo-Díaz G, Muñetón-Gómez M.S y Félix-Pico E.F. 2007. Dinoflagelados (Dinophyceae) del sistema lagunar Magdalena-Almejas.

45–174, En: Funes RR, J. Gómez-Gutiérrez y R. Palomares-García (eds.). Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur.

Gómez-Aguirre, S., S. Gómez, R. Cortés-Altamirano y Licea, S. 2001. Variación estacional de los dinoflagelados del plancton en el puerto de Mazatlán, México (1998/2000). *In* p. 285 Mem. IX Colacmar, Sept. 16-20, 2001. San Andrés Isla, Colombia. ICFES, IEC, FC-UNC, ALICMAR, 535 p.

Gómez-Aguirre, S. 2003. Proliferaciones estacionales del microplancton y existencia de *Pseudo-nitzschiaspp.* sobre aguas profundas del sector suroriental del Golfo de California (2000-2001) (sometido a este mismo colocar).pdf.

Góngora-Gonzales, D.T. 2003. Estudio taxonómico de Peridinales (*Dinophyceae*): relación entre los estudios quísticos y vegetativos. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., La Paz, Baja California Sur, 73 p.

González-Cea J.A. 2011. Distribución y abundancia de *Alexandrium catenella*, *Protoceratium reticulatum* y otros dinoflagelados en sedimentos procedentes de canales y fiordos de la XI región. Tesis. Centro de análisis de Recursos y Medio Ambiente (CERAM). Universidad Austral de Chile. 62p.

Gutiérrez-Vivanco, J., Capistrán-Barradas, A. y López-Ortega, M. 2011. Variación espacio-temporal de parámetros físico-químicos clorofila_a y nutrientes en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. México. Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros, Universidad Veracruzana, Campus Tuxpan. 76 p.

Hammer J.P.; McCollin, T.A.; Lucas, I.A.N. 2000. Didoflagellate cysts in ballast tank sediments: between tank variability, *Marine Pollution Bulletin* 40(9): 731-733.

Hernández-Becerril, D.U. 1993. Fitoplancton Marino en México. pp 39-53 in *Biodiversidad Marina y Costera de México*. S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds). Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 p.

Hernández-Orozco, D.U., Martha, L. y Gárate-Lizárraga, I. 2006. Síndrome de envenenamiento paralizante por consumo de moluscos. Instituto Mexicano del Seguro Social. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). Departamento de Plancton y Ecología Marina. La Paz, B.C.S., México. 60 p.

LESP. 2005. Instrucción de trabajo para el muestreo de fitoplancton y detección de biotoxinas marinas. En Secretaria de Salud Tabasco 2007-212. Comportamiento de la marea roja en el estado de Tabasco. 20 p.

Licea, S., J.L. Moreno, H. Santoyo y G. Figueroa, 1995. Dinoflagelados del Golfo de California. UABCS, SEP-FOMES y PROMARCO, 165 p.

Licea, S., M. E. Zamudio, R. Luna y J. Soto. 2004. Free-living dinoflagellates in the southern Gulf of Mexico: Report of data (1979-2002). *Phycological Research* 52:419-428.

Maciel-Baltazar E. 2004. Dinoflagelados (Dinoflagellata) tóxicos de la costa de Chiapas, México, Pacífico centro oriental. Facultad de Ciencias. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 10p.

Madigan MT, JM Martinko y J Parker. 2004. Brock: Biología de los Microorganismos. 8a edición. Prentice Hall. Madrid. 1064 p.

Martínez-Hernández, E. y H. Hernández-Campos, 1991. Distribución de quistes de dinoflagelados y Acritarcas en sedimentos holocénicos del Golfo de California. *Paleontología Mexicana* 57: 1-133.

Matsuoka, K. & Y. Fukuyo. 2000. Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC. 77 p.

Meave del Castillo, M. E. 2009. Dinoflagelados y Diatomeas del Pacifico tropical mexicano, Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DJ022. México D.F.

Mee, L. D., Espinoza, M. y Díaz, G., 1986. Paralytic shellfish poisoning with a *Gymnodinium catenatum* red tide on the Pacific Coast of México. *Marine Environmental Research* 19:77-92.

Meza-Rivera K.J. 2013. Riqueza especifica de diatomeas (Bacillariophyta) en el estuario del rio Tuxpan en las temporadas de secas y de lluvias. Universidad Veracruzana. 121 p.

Muciño-Márquez R.E, Figueroa-Torres M.G y Gárate-Lizárraga I. 2011. Variación nictimeral del género *Prorocentrum* (Dinophyceae) en la laguna costera Sontecomapan, Veracruz, México. Universidad Autónoma Metropolitana. Laboratorio de Ficología. La Paz Baja California Sur, México. 11 p

Okolodkov, Y. B. 2008. *Protoperidinium* Bergh (Dinophyceae) of The National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of México, with a key for identification.

Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Veracruz, México.

Okolodkov, Y. B. 2010. *Ceratium schrank* (Dinophyceae) of the national park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of México, with a key for identification. Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Veracruz, México.

Orellana-Cepeda, E. y. Morales-Zamorano, L. 1994. Impacto de la eutrofización sobre el fitoplancton marino. Serie Científica U.A.B.C.S 2: 17-34.

Orduña-Medrano, R. E. 2012. Patrones de distribución y abundancia del fitoplancton nocivo en la zona costera de Tuxpan Veracruz. Tesis Maestría. Universidad Veracruzana. Biogeografía marina. Universidad Autónoma de Campeche (UAC) Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. 200 págs.

Parra-Toriz, D M.de L. A. Ramírez-Rodríguez y D. U. Hernández-Becerril. 2010. Dinoflagelados (Dinophyta) de los órdenes Prorocentrales y Dinophysiales del Sistema Arrecifal Veracruzano, México.

Pérez-Olmedo L. 2014. Riqueza y abundancia de dinoflagelados (Dinophyta) en los arrecifes Tuxpan y Enmedio en la temporada de lluvias 2013, Tuxpan, Veracruz. Tesis. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y agropecuarias. 101 p.

Rodríguez, P. L. 2008. Estructura y producción primaria del fitoplancton y perifiton en un humedal del bajo Paraná. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires. 264 p.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_4394_Rodriguez.pdf

Seguel, M., M. A. Tocornal, & A. Sfeir. 2005. Floraciones algales nocivas en los canales y fiordos del sur de Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar* 28(2): 5–13.

Sonneman, J.A. y D.R.A. Hill, 1997. A taxonomic survey of cyst-producing dinoflagellates from recent sediments of Victorian coastal waters, Australia. *Botánica marina* 40:149-177.

Suárez, B. y V. Contreras. 2005. La nueva situación para la industria de Cultivo de Moluscos y los Desafíos para Labtox y el Sistema de Vigilancia Sanitaria. Laboratorio de Toxinas Marinas Facultad de Medicina, Universidad de Chile Santiago y Castro. www.marearaja.cl.

Tapia, L. C. M. 2007. Variación espacial y temporal del fitoplancton en la bahía de Mayagüez, Puerto Rico. Tesis M.C. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayaguez. 200 p.

Tomas, C. R. 1997. Identifying marine phytoplankton. Ed. Academic Press. U.S. 875 p.

Velázquez-Bucio, M., Israde-Alcántara, I. y Mendóza-Cantú, M. 2005. Uso de diatomeas para la evaluación de la calidad del agua del río Turbio, afluente del río Lerma, México. Universidad Michoacana de de San Nicolás de Hidalgo. Departamento de Geología, Mexico. 12p.

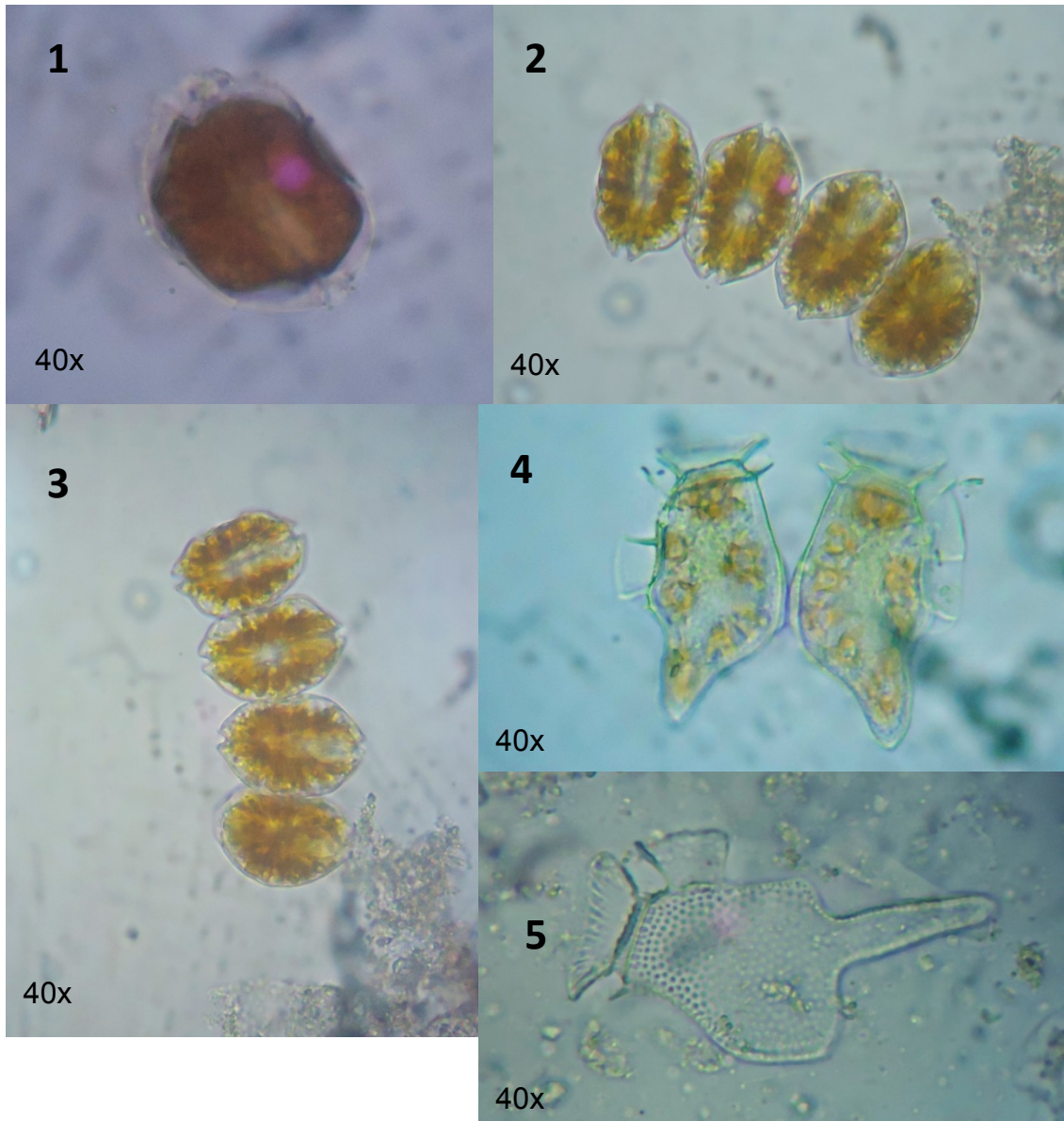
Vicente, E., De Hoyos, C., Sánchez, P. y Cambra, J. 2005. Metodología para el establecimiento el Estado Ecológico según la directiva MARCO del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton. Confederación Hidrográfica del Ebro. 36 p.

WHOI. 2003. Harmful Algal

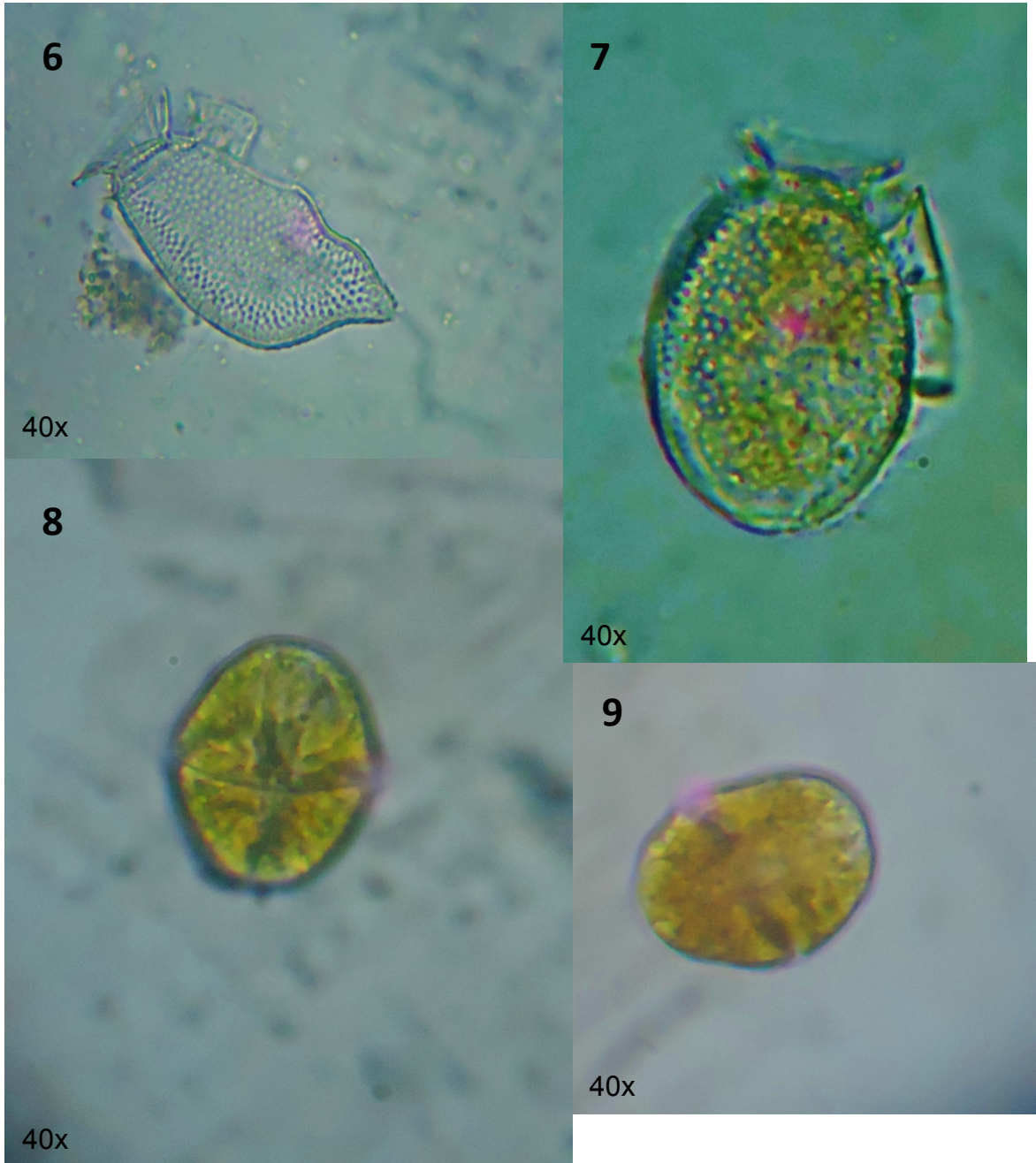
Blooms.URL.<http://www.epa.gov/owow/estuaries/coastlines/summer98/harmfulalga.html>

XI. ANEXOS

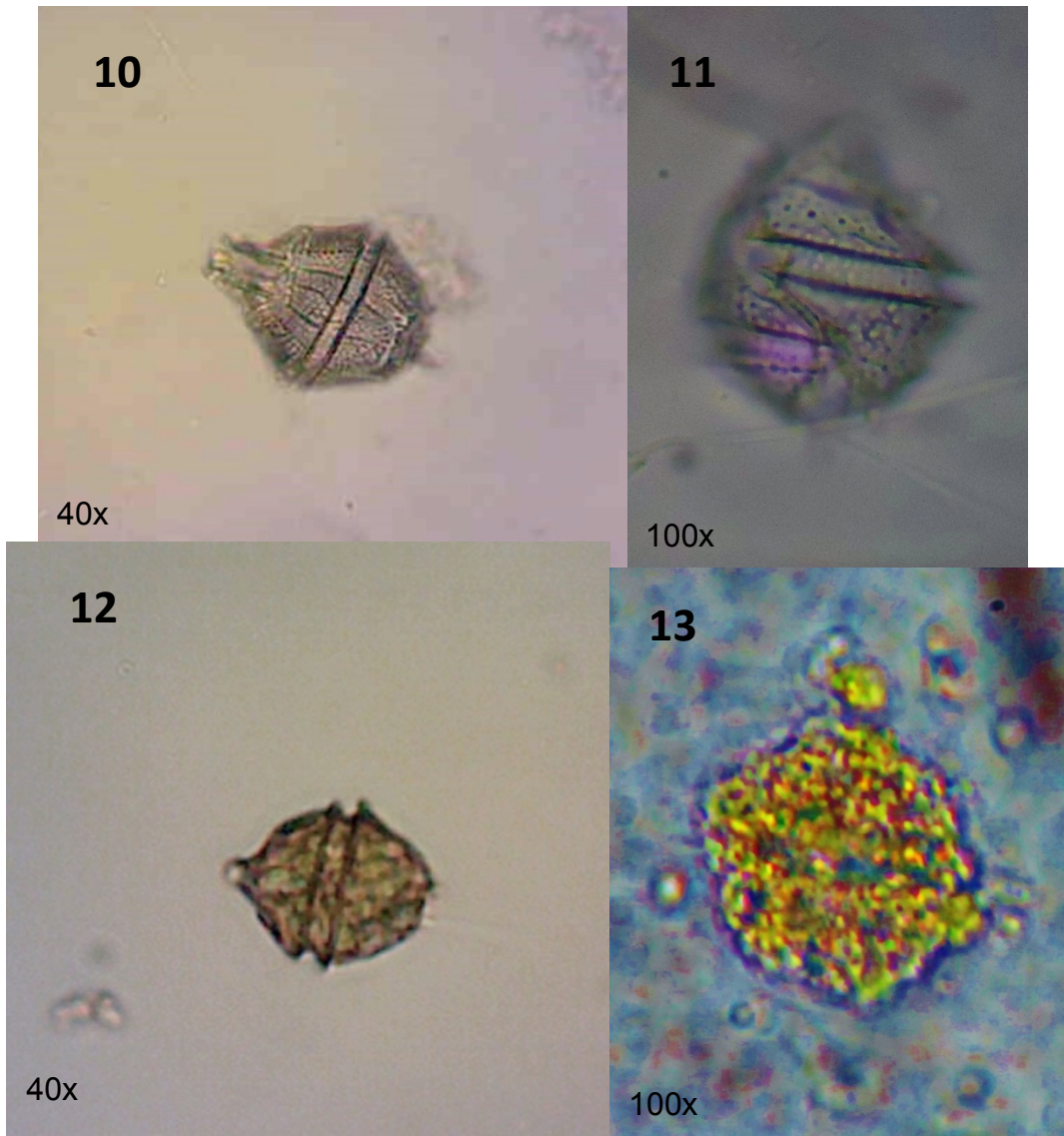
ANEXO 1. Catálogo ilustrado de dinoflagelados tóxicos y nocivos, y quistes identificados durante el periodo noviembre de 2014 a septiembre de 2015 de la zona costera de Tuxpan, Veracruz.



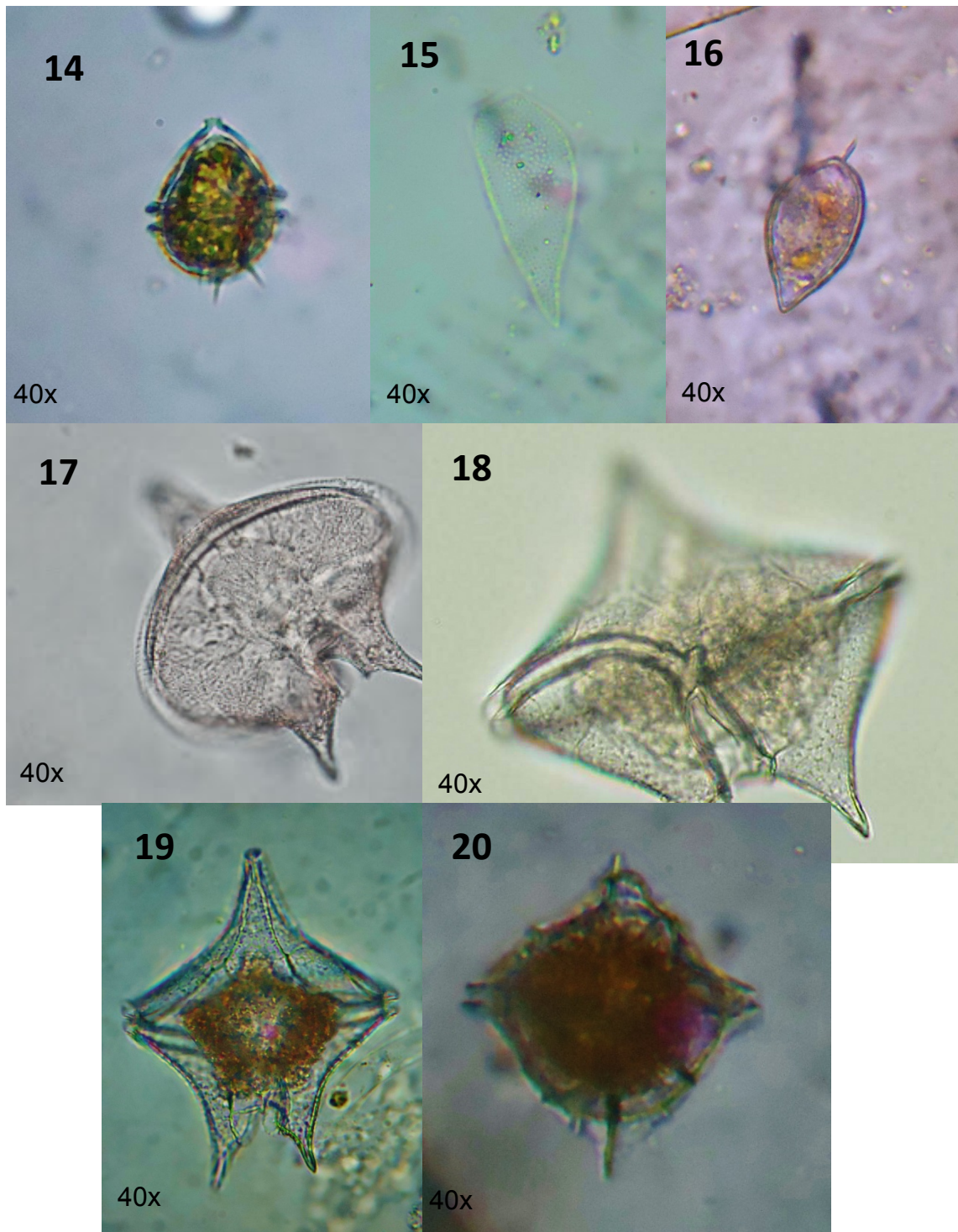
Figuras 1-3: *Alexandrium monilatum*, 4-5: *Dinophysis caudata*



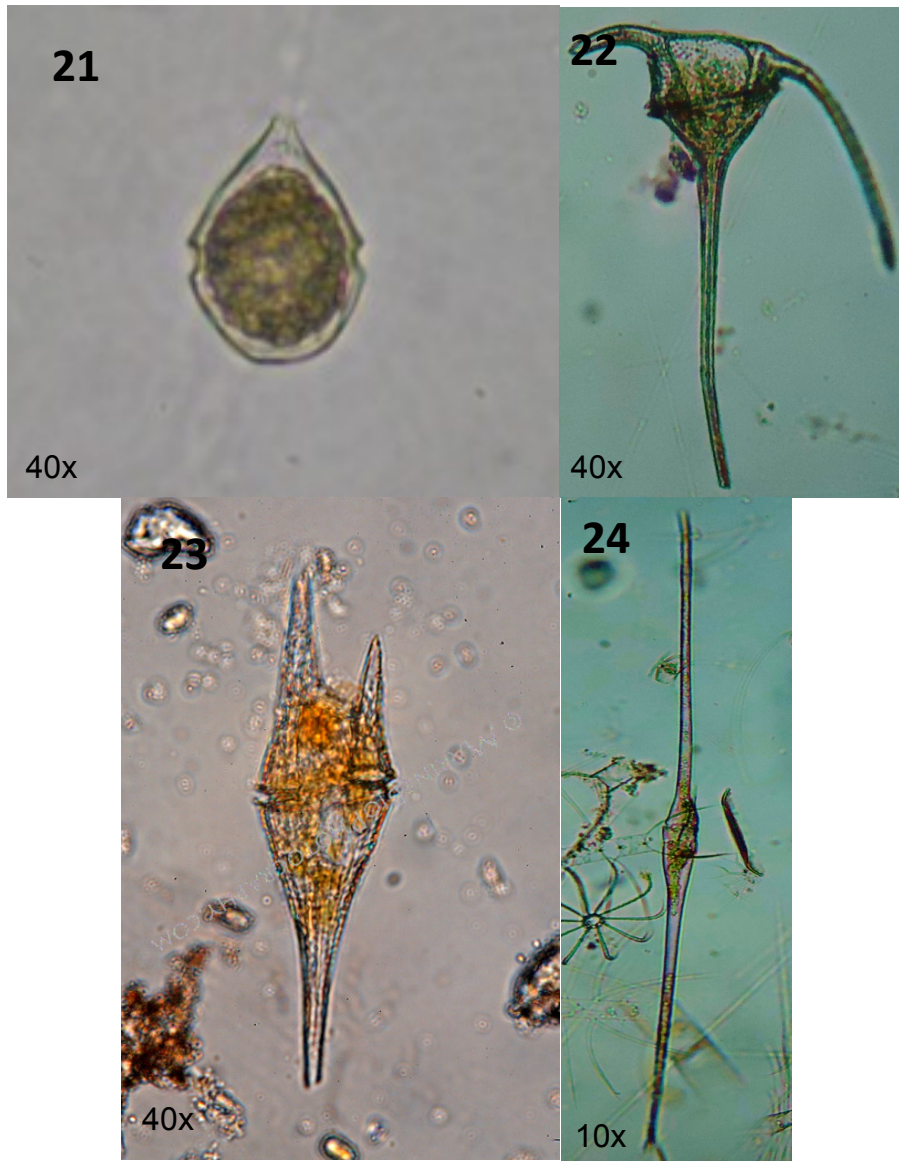
Figuras 6: *Dinophysis caudata*, 7: *Dinophysis acuminata*, 8-9: *Gyrodinium instriatum*



Figuras 10: *Gonyaulax polygramma*, 11-12: *Gonyaulax spinifera*, 13: *Karenia brevis*

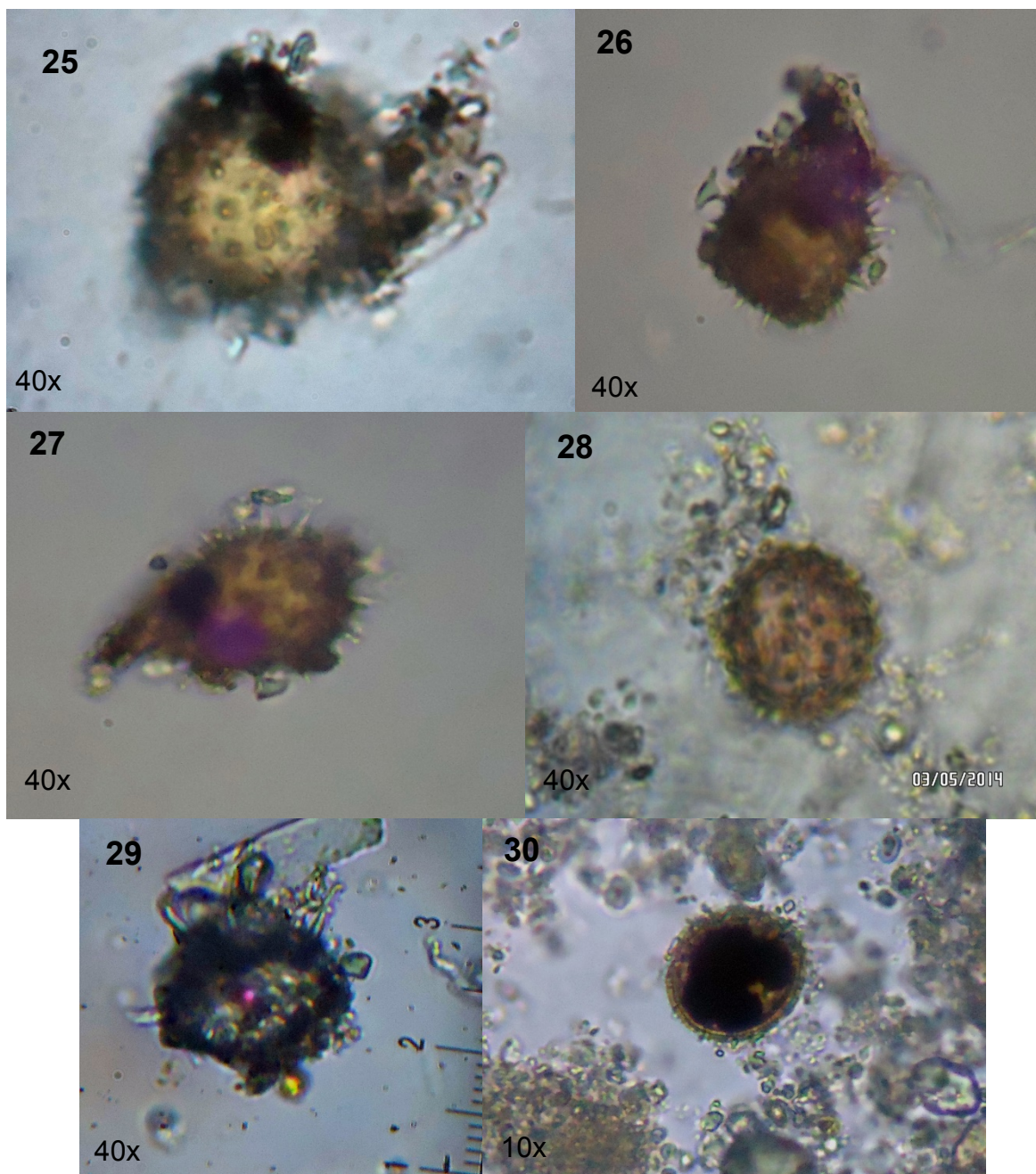


**Figuras 14: *Peridinium quinquecorne*, 15: *Prorocentrum gracile*, 16: *Prorocentrum micans*,
17-18: *Protoperidinium crassipes*, 19: *Protoperidinium depressum*, 20: *Pyrodinium bahamense***

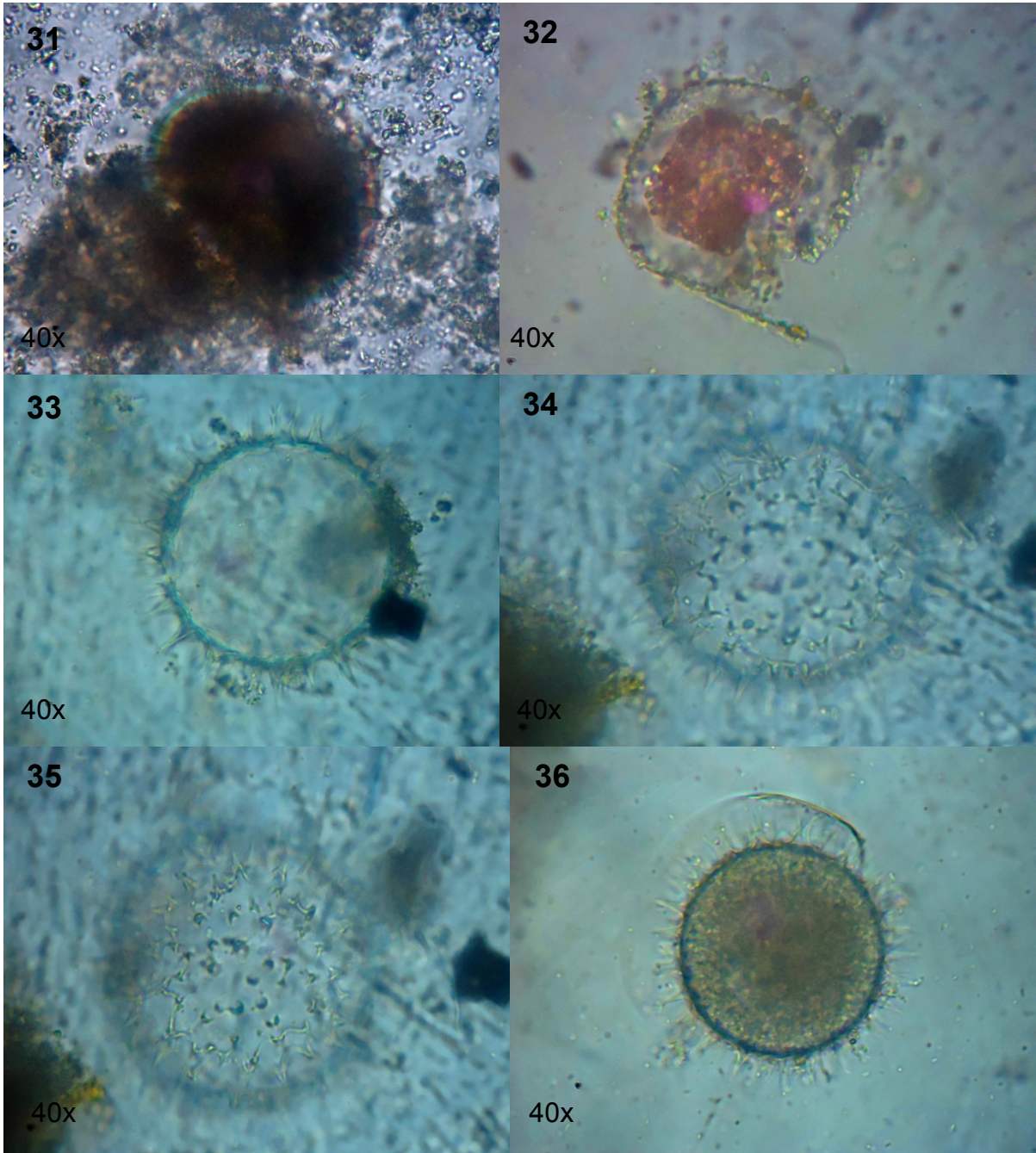


Figuras 21: *Scrippsiella trochoidea*, 22: *Tripos dens*, 23: *Tripos furca*, 24: *Tripos fusus*

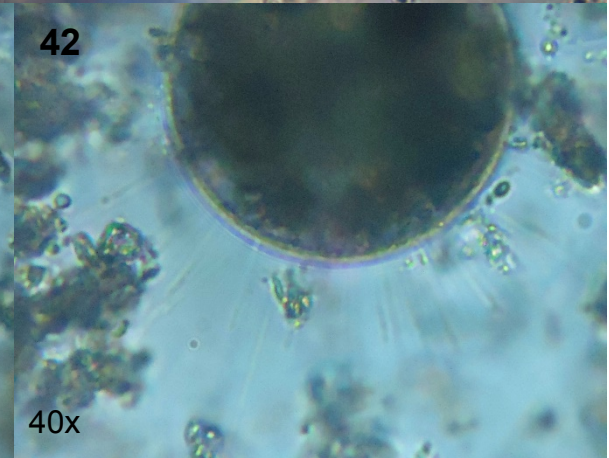
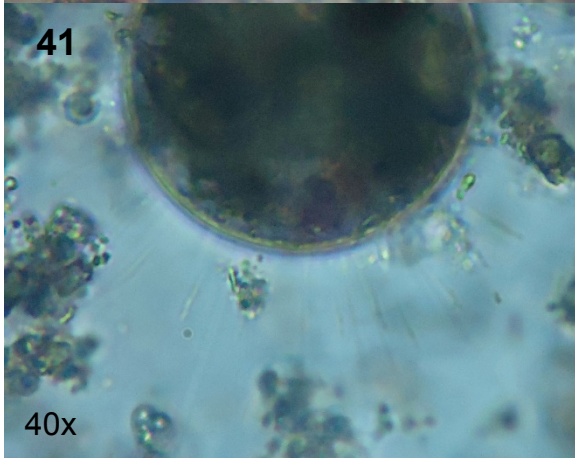
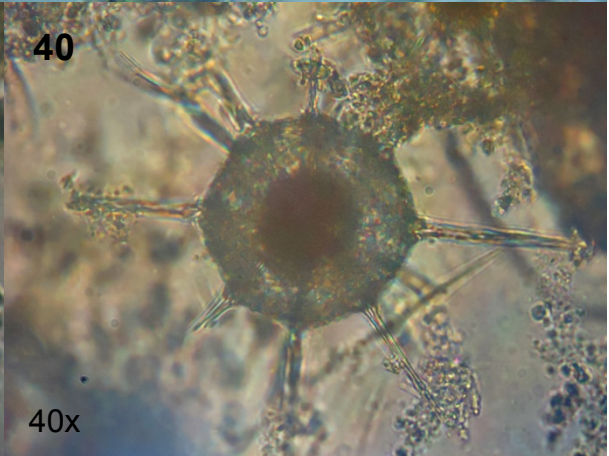
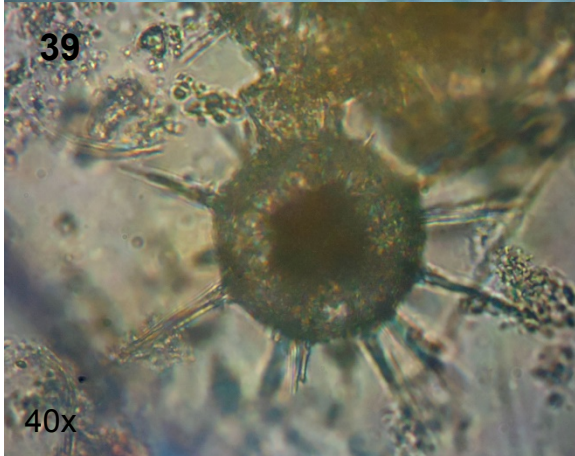
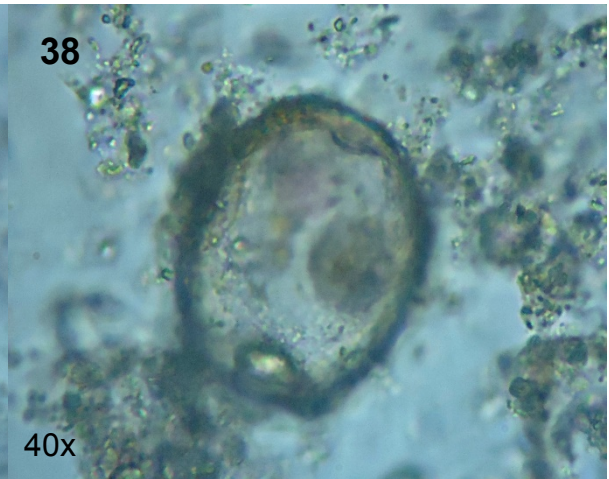
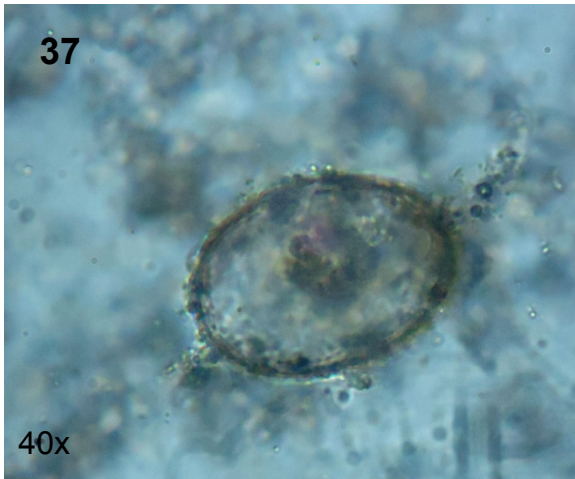
Quistes de dinoflagelados



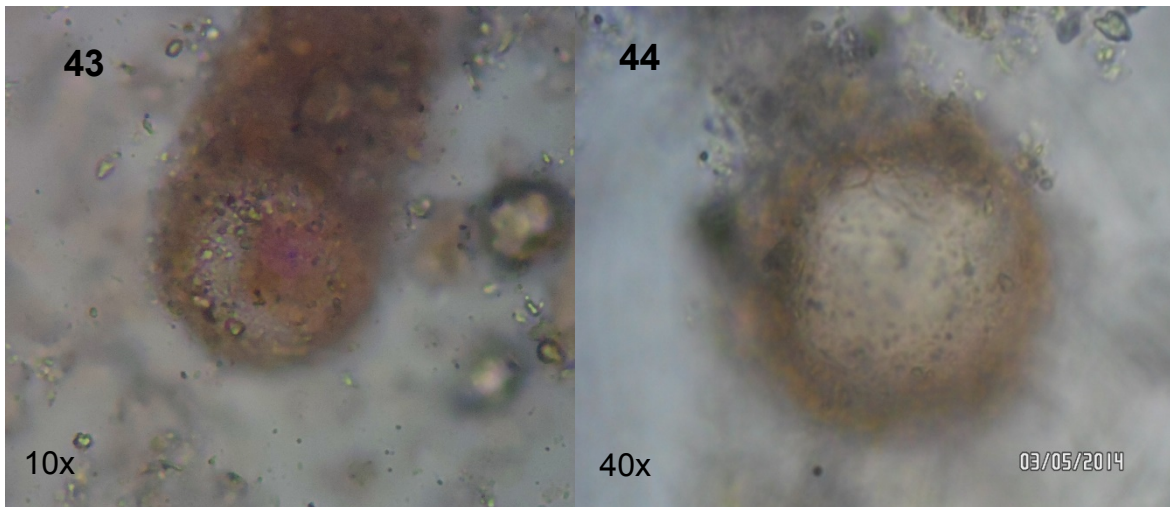
Figuras 25-28: quiste de *Gonyaulax* sp, 29: *G. Spinifera*, 30: quiste de *Protoperidinium*



figuras 31: *P. claudicans*, 32: *P. sp*, 33-36: quiste de *Scrippsiella sp*.



**Figuras 37-38: quiste de *Alexandrium* sp, 39-40: quiste de dinoflagelado no identificado #1,
41-42: quiste de dinoflagelado no identificado #2**



Figuras 43-44: quiste de dinoflagelado no identificado #3