



# UNIVERSIDAD DEL MAR

CAMPUS PUERTO ÁNGEL, OAXACA

---

**“Distribución de pigmentos fotosintéticos y su relación con las condiciones hidrográficas del Golfo de Tehuantepec en junio de 2010”**

Tesis que para obtener el Título de  
**Lic. en Biología Marina**

**Presenta:**  
**Ana Betsabé Salomón Hernández**  
Matrícula: 05020035

**Director:**

**Ocean. Miguel Ángel Ahumada Sempoal**

Puerto Ángel, Oaxaca, 2013.

M. en C. Ana María Torres Huerta  
Jefa de la Carrera de Biología Marina  
de la Universidad del Mar  
Presente

### **ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

Después de haber analizado y evaluado la tesis “Distribución de pigmentos fotosintéticos y su relación con las condiciones hidrográficas del Golfo de Tehuantepec en junio de 2010” que presenta la C. Ana Betsabé Salomón Hernández, consideramos que cumple con los requisitos académicos para ser defendida durante el correspondiente examen profesional.

### **COMISIÓN REVISORA**

---

Ocean. Miguel Ángel Ahumada Semporal  
Director

---

Dr. Austreberto Cristóbal Reyes Hernández  
Revisor

---

Dra. María Auxilio Esparza Álvarez  
Revisor

---

Dr. Francisco Benítez Villalobos  
Revisor

---

M. en C. Antonio López Serrano  
Revisor

## **Resumen**

El presente trabajo estudia la distribución de pigmentos fotosintéticos (clorofilas *a*, *b*, y *c*) a partir de muestras agua y su relación con la hidrografía del Golfo de Tehuantepec (a partir de registros de CTD) durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10, realizada del 14 al 28 de junio de 2010 por la Secretaría de Marina Armada de México (SEMAR) y la Universidad del Mar (UMAR). En general, las mayores concentraciones de clorofilas (Cl-*a*, Cl-*b* y Cl-*c*) se registraron sobre la plataforma continental y las menores concentraciones en mar abierto. El Golfo de Tehuantepec se caracterizó por condiciones de mesotróficas a eutróficas ( $\text{Cl-}a > 0.3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) sobre la plataforma continental y condiciones oligotróficas ( $\text{Cl-}a < 0.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en mar abierto. Los máximos profundos de clorofila-*a* se observaron dentro de los primeros 50 m de profundidad, es decir, dentro de la capa mezclada. En general, se encontró una relación estadísticamente significativa ( $R>0.6$ ,  $p<0.05$ ) entre las concentraciones de Cl-*a* y la profundidad de la capa mezclada, el grado de estratificación y la temperatura del agua. Como un caso particular se analizó la distribución de Cl-*a* en un remolino ciclónico detectado en mar abierto. Esta estructura dinámica presentó concentraciones superficiales de Cl-*a* más altas hacia el centro del remolino y máximos profundos cercanos a la elevación de las isopicnas/isotermas. Con base en la estructura hidrográfica e imágenes de satélite de concentración de Cl-*a* del sensor MODIS-Aqua y alturas dinámicas y corrientes geostróficas de AVISO se infirió que las altas concentraciones de Cl-*a* en el remolino son el resultado del ascenso de agua originado por dicha estructura dinámica. Se concluye que la distribución de fitoplancton inferida a través de las concentraciones de los pigmentos fotosintéticos (clorofilas *a*, *b* y *c*) está relacionada con las condiciones hidrográficas del Golfo de Tehuantepec durante junio de 2010.

## **Agradecimientos**

A la Secretaría de Marina Armada de México, personal de la Estación de Investigación Oceanográfica, Salina Cruz, Oaxaca, México y tripulación del ARM BI-03 “Altair” por permitirnos usar los datos de CTD y las muestras de agua para los análisis de clorofilas del crucero oceanográfico COLSI-MOGOT-01-10.

Al Ocean. Miguel Ángel Ahumada Sempoal por todo lo que implicó la Dirección de este trabajo de tesis.

A los revisores Dr. Cristóbal Reyes Hernández, Dra. Ma. Auxilio Esparza Álvarez, Dr. Francisco Benítez Villalobos, M. en C. Antonio López Serrano, por su disposición y acertados comentarios para enriquecer este trabajo.

Al M. en C. Saúl Jaime Serrano Guzmán y Eliel Ramírez Barrera por su ayuda en el entrenamiento para la determinación de clorofilas.

A mis compañeros de laboratorio Mauro, Lenin Moisés, Claudia Ivette y Brianda Lucero, muchas gracias por su ayuda.

A mi familia por su incondicional apoyo, por su presencia a pesar de la distancia y por hacerme inmensamente feliz.

A mis amigos por compartir nuestra pasión por el mar y por su apoyo incondicional.

A todas las personas que han hecho posible la culminación de este trabajo.

**MUCHAS GRACIAS!!!**

# Índice

<b>Resumen</b> .....	iii
<b>Índice</b> .....	v
<b>Índice de figuras</b> .....	vi
<b>Índice de tablas</b> .....	viii
<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. Antecedentes</b> .....	3
<b>3. Hipótesis</b> .....	5
<b>4. Objetivos</b> .....	5
4.1.    General .....	5
4.2.    Particulares .....	5
<b>5. Área de estudio</b> .....	6
<b>6. Material y método</b> .....	9
<b>7. Resultados</b> .....	14
7.1.    Plataforma continental.....	14
7.1.1. <i>Clorofilas</i> .....	14
7.1.2. <i>Hidrografía</i> .....	18
7.1.3. <i>Relación entre la clorofila-a y la hidrografía</i> .....	22
7.2.    Mar abierto .....	23
7.2.1. <i>Clorofilas</i> .....	23
7.2.2. <i>Hidrografía</i> .....	27
7.2.3. <i>Relación entre la clorofila-a y la hidrografía</i> .....	34
7.3.    Un caso particular: el ciclón oceánico.....	34
<b>8. Discusión</b> .....	40
<b>9. Conclusiones</b> .....	43
<b>10. Literatura citada</b> .....	44

# Índice de figuras

Figura 1. Localización geográfica del Golfo de Tehuantepec. El contorno negro representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad). Fuente de datos batimétricos: ETOPO2 <a href="http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html">http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html</a> .....	6
Figura 2. Red de muestreo sobre la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec (●) estaciones con registro de CTD, (*) estaciones con registro de CTD y muestras de agua para determinación de clorofilas. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad) y los contornos subsecuentes las isobatas de 500 y 1000 m respectivamente. Fuente de datos batimétricos: ETOPO2 <a href="http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html">http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html</a> .....	10
Figura 3. Red de muestreo sobre mar abierto del Golfo de Tehuantepec. (●) estaciones con registro de CTD, (*) estaciones con registro de CTD y muestras de agua para determinación de clorofilas. T1-T5 (transectos). El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad) y los contornos subsecuentes las isobatas de 500, 1000, 2000 y 3000 m respectivamente. Fuente de datos batimétricos: ETOPO2 <a href="http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html">http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html</a> .....	10
Figura 4. Perfiles verticales de clorofilas <i>a</i> (línea verde), <i>b</i> (línea discontinua) y <i>c</i> (línea punteada) para las estaciones de muestreo indicadas en la parte inferior, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. Media + desviación estándar (línea roja), profundidad de la capa mezclada (línea azul) y base de la termoclinia (línea magenta). .....	16
Figura 5. Distribución de clorofila- <i>a</i> verticalmente integrada sobre la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad). .....	17
Figura 6. Distribución horizontal de temperatura a 0 (A), 10 (B), 20 (C) y 30 (D) m de profundidad, sobre la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad). .....	19
Figura 7. Distribución horizontal de salinidad a 0 (A), 10 (B), 20 (C) y 30 (D) m de profundidad, sobre la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad). .....	20
Figura 8. Distribución horizontal de densidad a 0 (A), 10 (B), 20 (C) y 30 (D) m de profundidad, sobre la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad). .....	20

Figura 9. A) Profundidad de la capa mezclada (m) y B) parámetro de estratificación ( $J \cdot m^{-3}$ ) sobre la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad). .....	22
Figura 10. Perfiles verticales de clorofilas <i>a</i> (línea verde), <i>b</i> (línea discontinua) y <i>c</i> (línea punteada) para las estaciones de muestreo indicadas en la parte inferior, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. Media + desviación estándar (línea roja), profundidad de la capa mezclada (línea azul) y base de la termoclinia (línea magenta). .....	25
Figura 11. Distribución de clorofila- <i>a</i> integrada de 0 a 75 m en mar abierto del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad).....	26
Figura 12. Distribución horizontal de temperatura a 0 (A), 10 (B), 20 (C), 30 (D), 50 (E) y 75 (F) m de profundidad, en mar abierto del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad). .....	29
Figura 13. Distribución horizontal de salinidad a 0 (A), 10 (B), 20 (C), 30 (D), 50 (E) y 75 (F) m de profundidad, en mar abierto del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad). .....	30
Figura 14. Distribución horizontal de densidad a 0 (A), 10 (B), 20 (C), 30 (D), 50 (E) y 75 (F) m de profundidad, en mar abierto del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad). .....	31
Figura 15. A) Profundidad de la capa mezclada (m), B) parámetro de estratificación ( $J \cdot m^{-3}$ ) y C) base de la termoclinia (m), en mar abierto del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. El contorno grueso representa el límite de la plataforma continental (i.e. 200 m de profundidad). .....	33
Figura 16. Distribución vertical de la temperatura potencial (a) y densidad potencial (b) durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010, en el Golfo de Tehuantepec. ....	36
Figura 17. Topografía dinámica y velocidad geostrófica correspondientes al 14 (A) y 28 (B) de junio de 2010. ....	37
Figura 18. Distribución vertical de clorofila- <i>a</i> durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. Los números en la parte inferior indican la estación correspondiente.....	38
Figura 19. Distribución superficial de clorofila- <i>a</i> . Imágenes compuestas del 23 al 25 (A), del 24 al 26 (B) y del 25 al 27 (C) de junio de 2010 (Fuente de los datos: sensor MODIS a bordo del satélite Aqua (MODIS-Aqua). Ocean Color Web, <a href="http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/">http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/</a> ..	39

## Índice de tablas

Tabla I. Valores promedio ( $\bar{x}$ ) ± desviación estándar (DE), máximo (Max), análisis de medianas entre estaciones ( $H$ ) y grados de libertad ( $gl$ ) de clorofilas <i>a</i> (Cl- <i>a</i> ), <i>b</i> (Cl- <i>b</i> ) y <i>c</i> (Cl- <i>c</i> ), a diferentes profundidades sobre la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. Los valores en negritas corresponden a los casos con diferencias estadísticamente significativas ( $p<0.05$ ). ....	15
Tabla II. Valores promedio ( $\bar{x}$ ) ± desviación estándar (DE), mínimo (Min) y máximo (Max) de temperatura potencial ( $\theta$ ), salinidad (S) y densidad potencial ( $\sigma_\theta$ ) a diferentes profundidades, sobre la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. ....	21
Tabla III. Valores promedio ( $\bar{x}$ ) ± desviación estándar (DE), máximo (Max), análisis de medianas entre estaciones ( $H$ ) y grados de libertad ( $gl$ ) de clorofilas <i>a</i> (Cl- <i>a</i> ), <i>b</i> (Cl- <i>b</i> ) y <i>c</i> (Cl- <i>c</i> ) a diferentes profundidades, en mar abierto del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. Los valores resaltados en negritas corresponden a diferencias estadísticamente significativas ( $p<0.05$ ). ....	24
Tabla IV. Valores promedio ( $\bar{x}$ ) ± desviación estándar (DE), mínimo (Min) y máximo (Max) de temperatura potencial ( $\theta$ ), salinidad (S) y densidad potencial ( $\sigma_\theta$ ) a diferentes profundidades, en mar abierto del Golfo de Tehuantepec, durante la campaña oceanográfica COLSI-MOGOT-01-10 realizada del 14 al 28 de junio de 2010. ....	32