

**UNIVERSIDAD DEL MAR**  
**CAMPUS PUERTO ÁNGEL**



Estudio numérico de los procesos físicos y biogeoquímicos asociados con el aumento de la biomasa fitoplanctónica en el golfo de Tehuantepec durante las temporadas de vientos Tehuanos 2000-2001 y 2001-2002.

Tesis  
Que para obtener el título Profesional de  
Licenciada en Biología Marina

Presenta  
Atenas Scarlett Martínez Morales

Director  
Dr. Miguel Ángel Ahumada Sempal

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2020

## **Resumen**

A pesar de que la región tropical de los océanos se caracteriza por presentar una biomasa fitoplanctónica baja, el golfo de Tehuantepec es una de las tres zonas del Pacífico Nororiental Tropical con niveles de biomasa fitoplanctónica relativamente altos comparado con sus alrededores. Esta característica se relaciona estrechamente con la existencia de los eventos de viento Tehuanos, vientos del Norte que se presentan principalmente entre octubre y abril con intensidades mayores de  $10 \text{ ms}^{-1}$ . Los intensos vientos generan condiciones marítimas que limitan la navegación, dificultando así la realización de muestreos *in situ*. Los modelos numéricos del océano son una herramienta robusta que permite una aproximación al conocimiento de procesos oceanográficos en zonas donde no se facilita la obtención de observaciones *in situ*. Es por ello que en el presente trabajo se utilizó un modelo numérico (CROCO-BioEBUS) para profundizar en el conocimiento de la respuesta física y biogeoquímica del golfo de Tehuantepec al forzamiento de los vientos del Norte y su relación con el aumento de la biomasa fitoplanctónica durante la temporada de Tehuanos. Entre los resultados más sobresalientes, se obtuvo que la respuesta física del golfo de Tehuantepec es el resultado del efecto sinérgico de los eventos de viento del Norte que ocurren durante la temporada de Tehuanos y que la intensificación de la corriente de chorro contribuyen al debilitamiento y/o disipación del giro ciclónico en los primeros metros de la columna de agua. En cuanto a la respuesta biogeoquímica, se observó que la biomasa de fitoplancton grande y pequeño se comportan de forma diferente y que el primer pico de biomasa fitoplanctónica se debe al mezclado ascendente turbulento del máximo profundo o de la concentración que se encuentra debajo de la superficie, y el segundo pico al aumento de nutrientes en la superficie.

Palabras clave: CROCO, Efecto sinérgico, Giro anticiclónico, Giro ciclónico, Pico de biomasa fitoplanctónica.

## **Abstract**

Although the tropical region of the oceans is characterized by low phytoplankton biomass, the Gulf of Tehuantepec is one of the three areas of the Tropical Northeast Pacific with relatively high levels of phytoplankton biomass compared to its surroundings. This characteristic is closely related to the existence of Tehuano wind events, northerly winds that occur mainly between October and April with intensities greater than  $10 \text{ ms}^{-1}$ . These intense winds generate hazardous marine conditions that limit navigation, making *in situ* sampling difficult. Numerical ocean models are a robust tool that allow an approximation to the knowledge of oceanographic processes in areas where obtaining *in situ* observations is not feasible. In the present work, a numerical model (CROCO-BioEBUS) was used to deepen the knowledge of the physical and biogeochemical response of the Gulf of Tehuantepec to the forcing of northerly winds and its relationship with the increase in phytoplankton biomass during the Tehuanos season. The most outstanding results were that the physical response of the Gulf of Tehuantepec is the result of the synergistic effect of the North wind events that occur during the Tehuanos season and that the intensification of the jet stream contributes to the weakening and /or dissipation of the cyclonic gyre in the first meters of the water column. Regarding the biogeochemical response, it was observed that the biomass of large and small phytoplankton has different behaviors and that the first peak of phytoplankton biomass is due to the turbulent upward mixing of the maximum depth or the concentration that is below the surface, and the second peak to the increase of nutrients on the surface.

Key words: Anticyclonic gyre, CROCO, Cyclonic gyre, Phytoplankton biomass peak, Synergistic effect.

Al caos, a lo impredecible, padre del cosmos y de la incertidumbre.

A la incertidumbre, madre del porqué, el cómo, el cuándo y el dónde. Madre del pensamiento,  
la experimentación, el sentido y el desarrollo humano.

A los cautivados por el caos y la incertidumbre, a los cautivados por el inmenso manto azul.

## **Agradecimientos**

A mis padres Cirilo Martínez y Karla Morales quienes me dieron los dos mayores regalos, la vida y la libertad para disfrutarla. Agradezco profundamente su apoyo incondicional (moral y económico) en todos mis proyectos desde el momento de mi nacimiento. A mi hermana Estefanía Martínez ejemplo de perseverancia y a mi hermano Sebastian Martínez ejemplo de pasión. A Nina, simplemente por tu existencia.

A la familia Ruiz Escobar con especial mención a Reyna Escobar, por brindarme un hogar y apoyo incondicional, bases sólidas para la persistencia de mis objetivos. A Ibrahim Palma, Oscar Carreño, Fernando Ruiz, María del Carmen Griñán, Karen Flores, Iván Dali e Iván Alarcón, grandes maestros del autodidactismo, compromiso, visión, desarrollo personal y sobre todo grandes amantes del mar.

A mi director de tesis Dr. Miguel Ángel Ahumada Sempoal y a mis sinodales, Dr. Austreberto Cristóbal Reyes Hernández, Dra. María Luisa Leal Acosta, M.C. Xochitl Calderón Robles y Dra. Sorayda Aimé Tanahara Romero, por enriquecer esta tesis con sus conocimientos, dedicación y tiempo.

A Kate Hedstrom, John C. Warner, Catherine Drinkorn, Kevin Rosa, Ruiming Wu, Leonardo Álvarez, María F. Gonzales y Diego A. Pantoja, por su asesoría en el modelado numérico. A mis compañeros de laboratorio de Calculo Masivo, Carlos Martínez, Alberto Méndez, Abraham Villa; al departamento de Redes de Cómputo, al departamento de Servicios Escolares, al departamento de Jefatura de la carrera de Biología Marina, a los profesores de la carrera de Biología Marina, y a la Universidad del Mar por su tiempo y enseñanzas profesionales.

Todos ustedes son parte de esta tesis, y es tan suya como mía.

## Índice

Resumen .....	ii
Abstract .....	iii
Agradecimientos.....	v
1. <b>Introducción</b> .....	1
2. <b>Antecedentes</b> .....	5
2.1.     Vientos Tehuanos.....	5
2.2.     Respuesta física del golfo de Tehuantepec .....	5
2.3.     Respuesta biogeoquímica del golfo de Tehuantepec. ....	7
3. <b>Justificación</b> .....	9
4. <b>Hipótesis</b> .....	10
5. <b>Objetivos</b> .....	10
5.1.     Objetivo general.....	10
5.2.     Objetivos particulares .....	10
6. <b>Materiales y métodos</b> .....	10
6.1.     Área de estudio .....	10
6.1.1.    Localización .....	10
6.1.2.    Clima .....	11
6.2.     Modelo numérico.....	12
6.3.     Modelo biogeoquímico .....	13
6.4.     Entradas del modelo numérico.....	15
6.4.1.    Condiciones iniciales y de frontera lateral abierta.....	15

6.6 Características del viento .....	19
<b>7. Resultados.....</b>	<b>21</b>
7.1.      Respuesta física.....	22
7.2.      Respuesta biogeoquímica .....	27
7.2.1 Perfiles verticales del área de mayor variabilidad del esfuerzo del viento (15° N, 45° W) .....	27
7.2.2. Secciones verticales a lo largo de los 15° N.....	30
7.2.3. Secciones verticales a lo largo de los 95° W.....	32
<b>8. Discusiones .....</b>	<b>35</b>
<b>9. Conclusión.....</b>	<b>37</b>
<b>10. Referencias .....</b>	<b>38</b>
Anexo A.....	44
Anexo B.....	46