

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel



**ESTUDIO DE LA HIDROGRAFÍA Y LA CIRCULACIÓN COSTERA SUBMAREAL EN LA
ZONA ADYACENTE A PUERTO ESCONDIDO, OAXACA, MEDIANTE
OBSERVACIONES DIRECTAS**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Licenciado en
Oceanología

Presenta:

Mauro Wilfrido Santiago García

Dirigido por:

Dr. Héctor Santiago Romero

Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Oaxaca, julio de 2010.

Puerto Ángel, Oaxaca, julio de 2010.

UNIVERSIDAD DEL MAR

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Después de realizar una revisión detallada de la tesis “Estudio de la hidrografía y la circulación costera submareal en la zona adyacente a Puerto Escondido, Oaxaca, mediante observaciones directas”, presentada por el pasante de la Licenciatura en Oceanología Mauro Wilfrido Santiago García, se considera que cumple con los requisitos y la calidad necesarios para ser defendida en el examen profesional.

COMISIÓN REVISORA

Dr. Héctor Santiago Romero

Universidad del Mar

Director

Dr. Austreberto C. Reyes Hernández

Universidad del Mar

Revisor

Ocean. Miguel A. Ahumada Sempoal

Universidad del Mar

Revisor



M. C. Manuel Mancilla Peraza

Universidad del Mar

Revisor



Dr. Roberto E. Martínez López

Universidad del Mar

Revisor

A mis padres y hermanos

Agradecimientos

Estoy muy agradecido por el apoyo incondicional de mis padres y hermanos, que siempre están presentes y dispuestos a motivar y ayudar cuando los necesito, muchas gracias por esas atenciones.

Agradezco a los profesores Héctor Santiago Romero y Cristóbal Reyes Hernández, por invitarme a trabajar en el proyecto “CNA-2006-C01-48769: Estudio de la clasificación de las playas de Puerto Escondido (Caracterización y Análisis)”, cuyo producto final es el presente documento.

Esta tesis, se finalizó gracias al apoyo del director de tesis: Dr. Héctor Santiago Romero y del Co-director: Dr. Cristóbal Reyes Hernández, quienes dedicaron su valioso tiempo en dirigir la presente tesis, hasta llevarlo a un buen término.

Agradezco a los revisores de esta tesis: Dr. Cristóbal Reyes, M. C. Manuel Mancilla, Ocean. Miguel Ahumada y Dr. Roberto Martínez, por la dedicación que brindaron en la revisión del documento, así como a los comentarios al mismo, que contribuyeron al mejoramiento del documento.

El acopio de datos para realizar esta tesis, fue gracias a la entusiasta participación de los profesores: Héctor Santiago, Cristóbal Reyes e Isidro Moctezuma, así como al técnico Sergio Vásquez, a los lancheros: Eladio, Leonídes y Andrés y a mis compañeros: Lilia, Luis Francisco, Ana, Rolando, Gela y a todos aquellos que de alguna manera facilitaron el desarrollo de los diversos muestreos realizados.

Agradezco a los profesores: Ricardo Hernández, José Luis Blanco y Andrés Sepúlveda, por las diversas asesorías que me brindaron, muchas gracias.

Agradezco a Isabel y a mis compañeros: Magdalena, Viridiana, Laura, Citlalic, Coral, Liz, Xaní, Elder, Iván, Shaamir, Irving, Manolo, Cristóbal Santos, Alexis, Edith (la gordita), Jani, Fernando (el yuca), Xochilt, Marcos (el negro), Javier (el oax) y a todos los compañeros de la UMAR que me brindaron su amistad y la oportunidad de contar con ellos en todo momento.

Agradezco a los profesores de la carrera de Oceanología de la UMAR, quienes me compartieron sus conocimientos, experiencias y me motivaron a lo largo de la carrera, gracias por su dedicación.

Agradezco a la Comisión Nacional del Agua y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada durante un año, en el marco del proyecto antes mencionado, de igual forma a la Secretaría de Educación Pública, por el apoyo económico obtenido en la modalidad “beca de titulación”; las cuales, contribuyeron en buena medida al desarrollo de esta tesis.

Resumen

Se estudió la hidrografía y la circulación costera submareal en la zona adyacente a Puerto Escondido, Oaxaca, México, durante las temporadas de lluvias y secas, mediante cuatro campañas de medición oceanográfica: octubre de 2007, febrero, abril y julio de 2008. Cada campaña tuvo una duración de aproximadamente 25 horas y consistió en medición de hidrografía y corrientes, a lo largo de tres transectos; utilizando sonda de temperatura, salinidad y profundidad (CTD) y perfiladores acústicos de corriente por efecto Doppler (ADCP). En cada transecto se realizaron de cuatro a ocho repeticiones y a partir de la serie de tiempo generada de hidrografía y de corrientes se obtuvieron las condiciones promedio; las cuales, se presentan en este trabajo. En adición a las mediciones hidrográficas y de velocidad se obtuvieron datos de batimetría, nivel del mar y velocidad del viento. Los resultados hidrográficos indicaron la presencia de agua con temperatura alta ($25.7\text{-}29.9^\circ\text{C}$) y baja salinidad ($32.4\text{-}33.8$ ups) durante la temporada de lluvias (julio y octubre), en comparación a la temporada de secas (febrero y abril) que fueron de menor temperatura ($18.0\text{-}29.22^\circ\text{C}$) y mayor salinidad ($34.0\text{-}34.6$ ups). En consecuencia, durante el segundo período, las aguas costeras fueron más densas. Los cambios de la temperatura pueden asociarse a la variación estacional de la radiación solar y se considera que las bajas salinidades fueron debidas a la precipitación y a los aportes de arroyos y ríos adyacentes al área de estudio, en particular, el río Colotepec, cuya pluma de agua turbia se observa orientada hacia la porción sur del área de estudio, coincidente con la presencia de un remolino anticiclónico. La circulación costera submareal, mostró dos patrones generales: remolinos ciclónico y anticiclónico. Las dimensiones de éstos fueron de ~ 4 km de diámetro, que coincide con la dimensión de la bahía de Puerto Escondido. El remolino ciclónico, fue de mayor rapidez (10 a 110 cm s^{-1}) que los remolinos anticiclónicos ($5\text{-}40\text{ cm s}^{-1}$). Se propone que la formación de remolinos puede ser debida a la interacción de la circulación costera con la morfología de la línea de costa y la batimetría.

Abstract

The hydrography and the coastal circulation subtidal in the zone adjacent to Puerto Escondido, Oaxaca, Mexico was studied, during rainy and dry seasons, which consisted of four oceanographic surveys: October of 2007, February, April and July of 2008. Each survey had approximately 25 hours of duration and consisted of measuring hydrography and currents along three transects, using Conductivity, Temperature and Depth Profiler (CTD) and Acoustic Doppler Current Profilers (ADCPs). In each transect four to eight repetitions were made and starting from the series of time of hydrography and currents were obtained average conditions, which are presented in this paper. In addition to the hydrographic and velocity measurements were obtained bathymetry data, sea level and wind speed. The hydrographic results showed the presence of water with high temperature ($25.7\text{-}29.9^\circ\text{ C}$) and low salinity ($32.4\text{-}33.8$ psu) during the rainy season (July and October) compared to the dry season (February to April) which were of lower temperature ($18.0\text{-}29.22^\circ\text{ C}$) and higher salinity ($34.0\text{-}34.6$ psu). As a consequence, the coastal waters were denser during this second period. The changes of the temperature can be associated with seasonal variation of solar radiation and the low salinity is because of precipitation and discharges of stream and rivers, in particular the Colotepec river, whose plume turbid water was observed oriented to the southern portion of the study area, coinciding with the presence of the cyclonic eddy. The coastal circulation subtidal showed two general patterns: cyclonic and anticyclonic eddies. The dimensions of these were ~ 4.0 km of diameter, coinciding to the dimension of Puerto Escondido bay. The cyclonic eddy was faster (10.0 to 110.0 cm s^{-1}) than the anticyclonic eddies (5 to 40 cm s^{-1}). It is proposed that eddies can be due to the interaction of coastal circulation with shoreline morphology and bathymetry.

ÍNDICE

Página

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. HIDROGRAFÍA DEL PACÍFICO SURESTE DE MÉXICO.....	3
2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA HIDROGRAFÍA COSTERA.....	5
2.3. CIRCULACIÓN DEL PACÍFICO SURESTE DE MÉXICO.....	7
2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CIRCULACIÓN COSTERA.....	12
3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	16
4. OBJETIVOS	16
4.1. GENERAL.....	16
4.2. ESPECÍFICOS.....	16
5. ÁREA DE ESTUDIO	17
5.1. LOCALIZACIÓN.....	17
5.2. CLIMA.....	17
5.3. VIENTO.....	18
5.4. PRECIPITACIÓN.....	18
5.5. APORTE FLUVIAL.....	19
5.6. MORFOLOGÍA DE LA LÍNEA DE COSTA.....	20
5.7. MAREA.....	21
5.8. ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS.....	22
6. METODOLOGÍA	24
6.1. PLAN EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
6.2 EQUIPO UTILIZADO.....	24
6.2.1. Perfiladores acústicos de corriente por efecto Doppler (ADCP).....	24
6.2.2. Perfilador de conductividad, temperatura y profundidad (CTD).....	25
6.2.3. Ecosonda.....	26
6.2.4. Estación meteorológica.....	26
6.3. CAMPAÑAS REALIZADAS.....	27
6.3.1. Mediciones de hidrografía.....	27
6.3.2. Mediciones de corrientes.....	31
6.3.3. Mediciones batimétricas.....	32
6.3.4. Instalación de la estación meteorológica.....	34
6.4. INFORMACIÓN OBTENIDA.....	34
6.4.1. Datos de hidrografía.....	34
6.4.2. Datos de corrientes.....	35
6.4.3. Datos batimétricos.....	36
6.4.4. Datos meteorológicos.....	36
6.5. TRATAMIENTO DE DATOS.....	37
6.5.1. Datos de hidrografía.....	37
6.5.2. Datos de corrientes.....	38

6.5.3. Datos batimétricos	40
6.5.4. Datos meteorológicos	41
7. RESULTADOS	42
7.1. ESTRUCTURA HIDROGRÁFICA	42
7.2. CIRCULACIÓN COSTERA SUBMAREAL.....	56
7.3. BATIMETRÍA	62
7.4. METEOROLOGÍA.....	66
7.4.1. Temperatura y precipitación.....	66
7.4.2. Viento	68
8. DISCUSIONES	70
8.1 HIDROGRAFÍA	70
8.2. CIRCULACIÓN COSTERA SUBMAREAL.....	72
9. CONCLUSIONES	78
10. RECOMENDACIONES.....	79
11. REFERENCIAS	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Masas de agua superficiales del Pacífico Tropical Oriental.....	3
2. Temperatura superficial del mar en el Golfo de Tehuantepec.....	4
3. Patrón de circulación del Pacífico Tropical Oriental.....	9
4. Patrón de la circulación superficial del Golfo de Tehuantepec	10
5. Estructura bipolar de las corrientes costeras en el Golfo de Tehuantepec como una respuesta al viento débil fuera de la costa	11
6. Localización geográfica del área de estudio.....	17
7. Temperatura y precipitación media mensual de Puerto Ángel, Oaxaca.....	19
8. Batimetría frente al área de estudio	21
9. Descargas de aguas residuales en las playas de Puerto Escondido	22
10. Perfiladores acústicos de corriente por efecto Doppler	25
11. Transectos efectuados durante las campañas de mediciones hidrográficas y de corrientes....	29
12. Ruta de acopio de datos, efectuada durante las tres campañas batimétricas.	33
13. Ensamble de perfiles de corrientes (a) y la generación de la serie de tiempo en un punto del transecto (b).	39
14. Contornos verticales de temperatura y salinidad en los transectos E1-E4, E4-E7, E1-E7 y E7-E12, correspondientes a octubre de 2007	45
15. Contornos verticales de temperatura y salinidad en los transectos E1-E4, E4-E7 y E1-E7, correspondientes a julio de 2008	47
16. Contornos verticales de sigma-t y estabilidad en los transectos E1-E4, E4-E7, E1-E7 y E7-E12, correspondientes a octubre de 2007	48
17. Contornos verticales de sigma-t y estabilidad en los transectos E1-E4, E4-E7 y E1-E7, correspondientes a julio de 2008	50
18. Contornos verticales de temperatura y salinidad en los transectos E1-E4, E4-E7 y E1-E7, correspondientes a febrero de 2008.....	51
19. Contornos verticales de temperatura y salinidad en los transectos E1-E4, E4-E7 y E7-E1, correspondientes a abril de 2008	52
20. Contornos verticales de sigma-t y estabilidad en los transectos E1-E4, E4-E7 y E1-E7, correspondientes a febrero de 2008.....	53
21. Contornos verticales de sigma-t y estabilidad en los transectos E1-E4, E4-E7 y E1-E7, correspondientes a abril de 2008	54
22. Diagrama TS durante el ciclo anual de observaciones.....	55
23. Circulación costera submareal a diferentes profundidades del transecto E7-E12: (a) 1.3-5.0 m, (b) 5.0-10.0 m, (c) 10.0-15.0 m y (d) 15.0-20.0 m, correspondientes a octubre de 2007.	58
24. Circulación costera submareal a diferentes profundidades: (a) 2.0 m, (b) 10.0 m, (c) 20.0 m, (d) 30.0 m y (e) 40 m con viento promedio (vector azul) en (a), correspondientes a julio de 2008.	59

25. Circulación costera submareal a diferentes profundidades: (a) 2 m, (b) 10 m, (c) 20 m, (d) 30 m y (e) 40 m, correspondientes a febrero de 2008.	60
26. Circulación costera submareal a diferentes profundidades: a) 2 m, b) 10 m, c) 20 m, d) 30 m y e) 40 m con viento promedio (vector azul) en (a), correspondientes a abril de 2008.	61
27. Pronósticos de la marea durante las campañas batimétricas efectuadas	64
28. Mapa y perfil batimétrico de la zona adyacente a Puerto Escondido, Oaxaca.....	65
29. Temperatura promedio y precipitación mensual de Puerto Ángel, durante el período de 2007 a 2008	67
30. Temperatura promedio y precipitación mensual de Puerto Escondido, durante el período de marzo a diciembre de 2008.....	67
31. Vientos registrados durante los meses de campañas oceanográficas	69
32. Presencia de la pluma de agua del río Colotepec en la bahía de Puerto Escondido: (a) frente a Punta Zicatela y (b) en el interior de la bahía.....	70
33. Esquemas de interacción de la circulación costera con la morfología de la costa y la batimetría como un posible mecanismo de generación de remolinos	76
34. Remolino anticiclónico y contornos de salinidad dadas en ups (barra de colores), correspondientes a la campaña de julio de 2008 y la presencia de la pluma de agua del río Colotepec en el interior de la bahía en julio de 2009.	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
I. Vientos dominantes mensuales de Puerto Escondido	18
II. Principales componente armónicas de la marea	22
III. Especificaciones técnicas del CTD.....	26
IV. Especificaciones técnicas de la estación meteorológica marca Davis Vantage Pro.....	27
V. Lista de estaciones de lances de CTD, correspondientes a la campaña hidrográfica de octubre de 2007	30
VI. Lista de estaciones de lances de CTD, correspondientes a las campañas hidrográficas de febrero, abril y julio de 2008.	30
VII. Número de perfiles por estaciones de CTD y por campañas.	34
VIII. Información de corrientes. Fecha y período de muestreo, número de perfiles y repeticiones por transecto.	35
IX. Información obtenida durante las campañas batimétricas.....	36
X. Datos meteorológicos utilizados. Período e intervalo de muestreo para cada estación meteorológica.	37
XI. Variables hidrográficas registradas durante el período de muestreo.....	43
XII. Características generales de la circulación costera submareal durante el ciclo anual de observaciones.	57
XIII. Principales componente armónicas de la marea, estimadas para Puerto Escondido.	62
XIV. Rapidez y dirección del viento promedio durante las campañas oceanográficas.....	68