

UNIVERSIDAD DEL MAR



“Regionalización de los Golfos de Tehuantepec, Papagayo, Panamá y áreas adyacentes mediante la biomasa fitoplanctónica estimada a partir de imágenes de satélite”

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGIA MARINA**

P R E S E N T A

ALFREDO FRÍAS VELASCO

Puerto Ángel, Oaxaca, México, Julio 2004

Puerto Ángel, Oaxaca, julio del 2004.

UNIVERSIDAD DEL MAR

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Después de realizar una revisión detallada de la tesis “Regionalización de los golfos de Tehuantepec, Papagayo, Panamá y áreas adyacentes mediante la biomasa fitoplanctónica estimada a partir de imágenes de satélite”, presentada por el pasante de Biología Marina Alfredo Frías Velasco, se considera que cumple con los requisitos y la calidad necesarios para ser defendida en el examen profesional.

COMISIÓN REVISORA

M. en C. Pedro Cervantes Hernández
Universidad del Mar
Director



Dr. Eduardo Santamaría del Ángel
Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Revisor



Dr. Raúl Aguirre Gómez
Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México
Revisor

M. en C. Saúl Serrano Guzmán
Universidad del Mar

Dr. Estatal Iouri Okolodkov
Universidad del Mar

Dedicatoria

A mi madre Julieta y a mi padre Pedro, por darme la oportunidad de enamorarme del mar desde la infancia, por su amor y apoyo en todo momento, que finalmente resultó en la cristalización de este sueño.

A María mi amor por estos años juntos, más los que vengan...

A mi abuela Delia† por sembrar en mí el interés por las ciencias naturales.

A mis hermanos Pedro y Alejandro, y a mis demás herman@s que he ido encontrando en el camino y sobre todo a aquellos que han estado en los momentos difíciles lejos de casa.

A las familias López-Méndez, Reinartz-Trofaier y García-Nava por adoptarme y darme siempre su apoyo tanto espiritual como material en todo momento. Son un ejemplo para mí y siempre los tendré presentes.

A todos los Maestros y Profesores tanto de la preparatoria como de la UMAR que me transmitieron con el corazón su conocimiento, me han hecho llegar a donde estoy.

A Dios porque después de todo, me permitió llegar a cumplir este sueño.

Agradecimientos

Primeramente quiero agradecer a la Universidad del Mar por la beca-crédito otorgada para la realización de mi estancia de verano en Ensenada, Baja California, también por las facilidades otorgadas para el procesamiento de datos en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos de esta Universidad.

Esta tesis no hubiera podido ser finalizada sin la dirección del M. en C. Pedro Cervantes Hernández, quién estoicamente aceptó redirigirla y llevarla a buen término, pero sobre todo por enseñarme como deberé transmitir en el futuro el conocimiento adquirido a los demás.

Al Dr. Eduardo Santamaría del Ángel, de la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, por facilitar las imágenes OCTS y SeaWiFS empleadas en éste trabajo, agradezco también la dirección virtual y sus valiosos comentarios a lo largo del desarrollo de mi tesis.

Al M. en C. Saúl J. Serrano Guzmán, de la Universidad del Mar, ya que sin su apoyo en la gestión ante las autoridades universitarias, no habría podido realizar mi estancia en Ensenada, también agradezco mucho la confianza que depositó en mí desde que era alumno y por hacer crecer en mí el interés por el fitoplancton marino, a lo largo del desarrollo de mi servicio social.

Al Dr. Raúl Aguirre Gómez, del Instituto de Geografía de la UNAM, por facilitarnos el programa WIM y sobre todo por sus acertados comentarios en la revisión de este trabajo que ayudaron a mejorarlo.

Al Dr. Mati Karhu, del Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego, por proporcionar las imágenes CZCS 1978 - 1986 en valores de Cl α .

Al Climate Diagnostic Centers de la National Oceanographic and Atmospheric Administration, por facilitar la base de datos del IME.

Al Dr. Estatal, Iouri Okolodkov por la dedicación en la revisión del documento.

Al Dr. Felipe Ríos y al Dr. Cristóbal Reyes por la disposición mostrada cuando tenía alguna duda sobre oceanografía, aprovecho para agradecer al M. en C. Oscar Barocio y a la Dra. Adriana Gonzalez de la UABC por su tiempo para enviarme de Ensenada los artículos que les solicite.

Al M. en C. Luis Carlos Bravo Peña, por permitir adentrarme en este interesante arte de la percepción remota, y sobre todo por su tiempo y enseñanza durante el último año de la carrera, donde tuve mi primer acercamiento a las imágenes satelitales y a los sistemas de información geográfica.

Al prof. Derek Broket y al Dr. Felipe Ríos por su ayuda en la traducción del resumen.

Al capitán Heladio Espíndola, por enseñarme como conocer a la mar desde adentro.

A la tripulación del barco I/P UMAR, Cap. Eloy, Adrián, Juan, Martín y Chanito, por las tres semanas a bordo de su embarcación, fueron los mejores días.

A todos los profesores de la UMAR que nos formaron y dieron ejemplo de cómo ser y como no ser en el futuro.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objeto la regionalización de los Golfos de Tehuantepec, Papagayo, Panamá y áreas adyacentes a partir de la biomasa fitoplanctónica. Para ello, fueron empleados compuestos mensuales de [Cl *a*] de los sensores OCTS y SeaWiFS para el periodo 1997-2002. Estos fueron agrupados considerando la variabilidad estacional (nortes octubre-abril y no nortes mayo-septiembre) é interanual (debida al evento El Niño 97-98), en 4 escenarios distintos de regionalización: “nortes no El Niño”, “no nortes no El Niño”, “Nortes El Niño” y “no nortes El Niño”. Las imágenes fueron analizadas mediante la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP) a nivel de imágenes. Con 31 imágenes, el ACP para el escenario “nortes no El Niño”, resultó en la identificación de una dimensión que obtuvo el 69 % de la varianza total explicada (autovalor, $\lambda = 5.63$). De esta dimensión, el producto regionalizado obtenido, mostró la presencia de 14 regiones en los Golfos de interés, mismas que variaron en forma de gradiente, la región 2 mostró valores entre 0.3 y 0.5 mg Cl *a* * m⁻³, mientras que en la región 15 se observaron valores entre 2.9 y 4.6 mg Cl *a* * m⁻³, éstas últimas fueron consideradas como regiones oceánicas y costeras respectivamente. Para el escenario “no nortes no El Niño” fueron consideradas 24 imágenes, el ACP obtuvo una dimensión con un porcentaje de varianza total explicada de 53 % ($\lambda = 3.11$). En éste caso, fue posible identificar 11 regiones, la región 1 fue la más oceánica con valores de 0.2 a 0.3 mg Cl *a* * m⁻³, mientras que, las regiones 5 y 6 mostraron valores de 0.7 a 1.2 mg Cl *a* * m⁻³, éstas fueron dominantes en los Golfos de Tehuantepec y Panamá, encontrándose muy limitadas a la costa. Por otro lado, el Domo de Costa Rica se mostró como la única surgencia a mesoescala durante esta época, y en comparación con los demás escenarios, éste mostró en la región 11 valores máximos de 1.8 a 2.1 mg Cl *a* * m⁻³. Con 8 imágenes, la matriz asociada al escenario “nortes El Niño”, resultó en la extracción de una dimensión con un porcentaje de varianza total explicada de 73 % ($\lambda = 0.65$); a diferencia de los resultados anteriormente citados, el porcentaje de varianza total explicada asociada a dicha dimensión se generó a partir de un pequeño grupo de imágenes cuya característica principal fue una reducida y homogénea [Cl *a*] (0.2 a 0.5 mg Cl *a* * m⁻³), por tal motivo, al no presentar gradientes marcados de Cl *a*, el porcentaje de varianza se elevó, pero su autovalor se redujo debido a la falta de varianza involucrada en la información satelital. La región 1 fue dominante en todo el compuesto regionalizado, sin embargo, la región 2 se mostró muy marcada frente a las áreas de surgencia de Tehuantepec y Papagayo, así como en la zona S del Golfo de Panamá con valores de 0.5 a 0.6 mg Cl *a* * m⁻³. En la parte N del Golfo de Panamá se observó que en las regiones de la 5 a la 11 los valores de [Cl *a*] se registraron entre 0.7 y 2.1 mg Cl *a* * m⁻³. Por último, para la época “no nortes El Niño” no fue posible la regionalización debido a la carencia de información satelital. Para validar los productos regionalizados, se diseñó un análisis de discriminante (AD) considerando un conjunto de imágenes prueba representativas de cada escenario (fuera de la serie empleada) e imágenes control dentro de la serie analizada. A éste respecto, 2 imágenes CZCS de 1979 y 2 imágenes SeaWiFS 2003 fueron consideradas como imágenes prueba, éstas fueron obtenidas para los meses de marzo y septiembre, respectivamente. Para los mismos meses, dos imágenes SeaWiFS 2000 fueron utilizadas como control. El primer AD entre las imágenes de marzo CZCS y SeaWiFS 2000 permitió observar la permanencia de las áreas de interés, observándose un ligero error de discriminación entre Papagayo y Tehuantepec en la imagen CZCS. Entre las imágenes SeaWiFS 2000 y 2003 se observó una clara discriminación de las áreas de interés, sin embargo, Papagayo (2000) y Panamá (2003), no mostraron una discriminación total, apareciendo traslapadas debido a la similitud de la [Cl *a*] registrada en estos meses. Para el escenario “no nortes no El Niño”, no se obtuvo una discriminación satisfactoria entre las imágenes CZCS y SeaWiFS 2000, ya que se presentó un traslape entre las áreas de Papagayo en ambos sensores; así mismo, el área de Tehuantepec (2000) mostró la misma tendencia. Por su parte, el AD entre las imágenes SeaWiFS 2000 y 2003 evidenció la presencia del Domo de Costa Rica en la imagen 2003, éste se mostró completamente separado de las áreas de interés, y a excepción de Panamá, dichas áreas se mostraron traslapadas. El AD para la época “nortes El Niño” no pudo desarrollarse. A este respecto, uno de los problemas principales fue la falta de información ocasionada por los errores de medición (nubosidad, fallas del sensor, e interferencias en la radiancia emergente por sedimentos, etc...) en las imágenes prueba y control. Dicha problemática no sólo se presentó en este escenario, sino que fue latente en todos y cada uno de los análisis multivariados diseñados en este trabajo. Finalmente cabe señalar que el ACP a nivel de imágenes resultó una herramienta útil para los fines de la regionalización, por ello, se recomienda fomentar su uso y aplicación considerando al total de variables oceanográficas medidas por satélite.

Palabras Clave: *fitoplancton, Clorofila a, regionalización, sensores de color, SeaWiFS, OCTS, CZCS, El Niño.*

ABSTRACT

In this work was done a process of regionalization for the Gulfs of Tehuantepec, Papagayo, Panama and adjacent areas using phytoplankton biomass. Monthly composites of [Chl *a*] from the color sensors OCTS and SeaWiFS were employed between 1997-2002. The images were grouped taking into consideration the seasonal variability (nortes October-April and non nortes May-September) and interannual variability (associated to the event El Niño 97-98) in 4 different regionalization scenarios: “*nortes non El Niño*”, “*nortes El Niño*”, “*non nortes non El Niño*” and “*non nortes El Niño*”. The images were analyzed by the Principal Component Analysis technique (PCA) at the level of the images. With 31 images, the PCA for the scenario “*non nortes non El Niño*” resulted in the identification of one important component with 69 % of the total explained variance (eigenvalue = 5.63). In this dimension, the regional map showed the presence of 14 regions in the Gulfs of interest, which were observed in gradient form. The region 2 showed values between 0.3 and 0.5 mg Chl *a* * m⁻³, whereas region 15 showed values between 2.9 to 4.6 mg Chl *a* * m⁻³. These regions were considered oceanic and coastal, respectively. In the scenario “*non nortes non El Niño*”, 24 images were considered. The PCA was extracted again with one important component having 53 % of the total explained variance (eigenvalue = 3.11). In this case, it was possible to identify 11 regions. Region 1 was the most oceanic with values between 0.2 to 0.3 mg Chl *a* * m⁻³, whereas regions 5 and 6 showed values from 0.7 to 1.2 mg Chl *a* * m⁻³. These last two regions were dominant in the Gulfs of Tehuantepec and Panama and they were found very near the coast. On the other hand, the Costa Rica Dome was shown as having the only upwelling at mesoscale during this scenario. This Dome, in comparison with other scenarios, showed maximum values from 1.8 to 2.1 mg Chl *a* * m⁻³. With 8 images, the matrix of Co - variance associated with the scenario “*nortes El Niño*”, resulted in the extraction of one dimension with 75 % of the total explained variance (eigenvalue = 0.65). Unlike the previously mentioned results, the percentage of total explained variance associated with this dimension was generated from a small group of images whose basic characteristics were the reduced and homogeneous [Chl *a*] (0,2 to 0,5 mg Chl *a* * m⁻³). For this reason, a noticeable gradient of Chl *a* was not observed, the total percentage of explained variance was raised, however, the eigenvalue decreased due to the lack of explained variance from the satellite information. Region 1 was dominant in this regional map, nevertheless, region 2 was very noticeable in front of the upwelling areas of Tehuantepec and Papagayo, as well as in the southern zone of the Panama Gulf with values of 0.5 to 0.6 mg Chl *a* * m⁻³. In the northern area of this gulf it was observed that in the regions from 5 to 11 the values of [Chl *a*] varied between 0.7 and 2.1 mg Chl *a* * m⁻³. Lastly, for the scenario “*non nortes El Niño*” the delimitation of regions was not possible due to the lack of satellite information. To validate the region composites, a discriminant analysis (DA) was designed considering a representative test group of images for each scenario (outside of the used series) and blank images inside the analyzed series. 2 images CZCS from 1979 and 2 images SeaWiFS 2003 were considered test Images, which obtained for the months of March and September respectively. For the same months, 2 images SeaWiFS 2000 were considered blank images. The first DA between the images of March CZCS and SeaWiFS 2000 allowed the observation of the permanence of the interest areas. Nevertheless, a slight classification error was observed between Papagayo and Tehuantepec in the CZCS image. Between the images SeaWiFS 2000 and 2003 a clear discrimination of the interest areas was observed. However, Papagayo (2000) and Panama (2003) didn't show a total classification, appearing overlapped due to the similarity of the [Chl *a*] registered in these months. For the scenario “*non nortes non El Niño*”, a satisfactory discrimination was not obtained among the images CZCS and SeaWiFS 2000. Overlap between Papagayo areas in both sensors were observed; likewise, the Tehuantepec area (2000) showed the same tendency. The DA among the images SeaWiFS 2000 and 2003 gave evidence to the presence of the Costa Rica Dome in the image 2003. In which the dome was observed as being totally separated from the interest areas, and with the exception of Panama these were overlapped. The DA for the scenario “*nortes El Niño*” could not be developed. The main problem was the lack of information caused by the measurement errors (cloudiness, sensor faults, interferences in the emergent radiance for silts, etc.) in the test and blank images. This problem appeared in all the multivariate analyses of this work. The PCA at the level of the images was a useful tool for the purpose of regionalization and it is recommended to foment its use and application taking in to consideration the total of oceanographic variables measured by satellite.

Key Words: Phytoplankton, Chlorophyll a, regionalization, color sensors, SeaWiFS, OCTS, CZCS, El Niño.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	6
III. OBJETIVOS	11
IV. HIPÓTESIS	12
V. AREA DE ESTUDIO	12
V.I. Variabilidad estacional	14
V.II Variabilidad Interanual	17
VI. MATERIALES Y MÉTODO	18
VI.I. Procesamiento de las Imágenes	18
VI.II. Detección de la variabilidad interanual para el periodo 1997- 2002	23
VI.III. Regionalización	25
VI.IV. Intervalos de $[Cl\ a]$ para los compuestos regionalizados	28
VI.V. Validación de las regiones	28
VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES	31
VII.I. Regionalización	31
VII.I.1. Época “ <i>nortes, no El Niño</i> ”	32
VII.I.2. Época “ <i>no nortes, no El Niño</i> ”	35
VII.I.3. Época “ <i>nortes, El Niño</i> ”	38
VII.I.4. Época “ <i>no nortes, El Niño</i> ”	40
VII.II. Validación de los compuestos regionalizados	41
VII.II.1. Época “ <i>nortes, no El Niño</i> ”	41
VII.II.1.2 CZCS 1979 y SeaWiFS 2000	43
VII.II.1.3 SeaWiFS 2000 y SeaWiFS 2003	45

VII.II.2. Época “ <i>no nortes, no El Niño</i> ”	48
VII.II.2.1. CZCS 1979 y SeaWiFS 2000	49
VII.II.2.2. SeaWiFS 2000 y SeaWiFS 2003	53
VII.III. Época “ <i>nortes El Niño</i> ”	55
VIII. CONCLUSIONES	55
IX. RECOMENDACIONES	57
X. LITERATURA CITADA	59
XI. ANEXOS	64
XI.1. ANEXO I	64
XI.2. ANEXO II	65
XI.3. ANEXO III	66

Índice de Figuras

Fig. 1. Zona de estudio dentro de Pacífico Tropical Oriental (PTO).	12
Fig. 2. Circulación general de las corrientes dentro del PTO (modificado de Fiedler, 1992).	13
Fig. 3. Anomalía del IME de 1997 al 2002.	25
Figura 4. a) compuesto regionalizado, b) mapa de isolíneas, c) mapa de puntos generado a partir del mapa de isolíneas y d) mapa de puntos sobrepuesto a una imagen tipo.	29
Figura 5. Autovalores e imágenes regionalizadas para las 5 primeras dimensiones obtenidas del ACP en época “ <i>nortes no el Niño</i> ”	33
Figura 6. Imagen regionalizada (dimensión 1) para la época “ <i>nortes no El Niño</i> ”.	34
Figura 7. Autovalores e imágenes regionalizadas para las 5 primeras dimensiones obtenidas del ACP en época “ <i>no nortes no El Niño</i> ”.	36
Figura 8. Imagen regionalizada (dimensión 1) para la época “ <i>no nortes no El Niño</i> ”.	37
Figura 9. Autovalores e imágenes regionalizadas para las 5 primeras dimensiones obtenidas del ACP en época “ <i>nortes El Niño</i> ”.	38
Figura 10. Imagen regionalizada (dimensión 1) para la época “ <i>nortes El Niño</i> ”.	39
Figura 11. Autovalores e imágenes regionalizadas para las 3 primeras dimensiones obtenidas del ACP en época “ <i>no nortes ENOS</i> ”.	41
Figura 12. Imágenes mensuales, a) CZCS correspondiente a marzo de 1979, b) SeaWiFS de marzo del 2003 y c) SeaWiFS de marzo del 2000.	42
Figura 13. Funciones canónicas 1 y 3 para el AD considerando las imágenes de marzo 1979 y marzo 2000.	44
Figura 14. Funciones canónicas 1 y 2 para el AD considerando las imágenes de marzo 2003 y marzo 2000.	47
Figura 15. Imágenes mensuales, a) CZCS correspondiente a septiembre de 1979, b) SeaWiFS de septiembre del 2003 y c) SeaWiFS de septiembre del 2000.	49
Figura 16. Funciones canónicas 1 y 3 para el AD considerando las imágenes de septiembre 1979 y septiembre 2000.	51

Figura 17. Funciones canónicas 1 y 2 considerando las imágenes de septiembre 2003 y septiembre 2000.

54

Índice de Tablas

Tabla I. Características espectrales de las bandas del OCTS y del SeaWiFS.	20
Tabla II. Características espectrales de las bandas del CZCS.	20
Tabla III. Características técnicas de los sensores OCTS, SeaWiFS y CZCS.	21
Tabla IV. Sistema de coordenadas mundial Lat-Long.	22
Tabla V. Georreferencia local.	22
Tabla VI. Dominio clorofila aplicado a las imágenes mensuales de color.	23
Tabla VII. Clasificación de los periodos interanuales y estacionales (escenarios).	25
Tabla VIII. Dominio regiones aplicado a los compuestos regionalizados.	28
Tabla IX. Agrupamiento de las imágenes 1997-2002 para la regionalización.	32
Tabla X. Funciones canónicas extraídas para la época “nortes no El Niño” considerando las imágenes de marzo 1979 y marzo 2000.	43
Tabla XI. Cargas Canónicas para las funciones canónicas 1 y 3 ($R_{cc}^2 = 0.9904$, Lambda de Wilk 0.0009).	45
Tabla XII. Funciones canónicas extraídas para la época “nortes no El Niño” considerando las imágenes de marzo 2003 y marzo 2000.	46
Tabla XIII. Cargas Canónicas para las funciones canónicas 1 y 2 ($R_{cc}^2 = 0.9702$, Lambda de Wilk 0.0042).	48
Tabla XIV. Funciones canónicas extraídas para la época “no nortes no El Niño” considerando las imágenes de septiembre 1979 y septiembre 2000.	50
Tabla XV. Cargas Canónicas para las funciones canónicas 1 y 3 ($R_{cc}^2 = 0.9816$, Lambda de Wilk 0.0007).	52
Tabla XVI. Funciones canónicas extraídas para la época “no nortes no El Niño” considerando las imágenes de septiembre 2003 y septiembre 2000.	53
Tabla XVII. Cargas Canónicas para las funciones canónicas 1 y 2 ($R_{cc}^2 = 0.9545$ Lambda de Wilk 0.0027).	55