



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**APLICACIÓN DE SENSORES ACTIVOS Y
PASIVOS EN LA CIRCULACIÓN SUPERFICIAL
DE MESOESCALA EN LA PARTE SUR DEL
GOLFO DE MÉXICO (BAHÍA DE CAMPECHE).**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

EN

MANEJO DE RECURSOS MARINOS.

PRESENTA

FERNANDO DE JESÚS SÁNCHEZ LINDORO

LA PAZ, B. C. S., NOVIEMBRE DE 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 17 del mes Noviembre del año 2011
el (la) que suscribe ING. FERNANDO DE JESÚS SÁNCHEZ LINDORO alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro A100093 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. BERNARDO SHIRASAGO GERMÁN Y DR. MACLOVIO OBESO NIEBLAS
y cede los derechos del trabajo titulado:

"APLICACIÓN DE SENSORES ACTIVOS Y PASIVOS EN LA CIRCULACIÓN SUPERFICIAL
DE MESOESCALA EN LA PARTE SUR DEL GOLFO DE MÉXICO (BAHÍA DE CAMPECHE)"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: fersan_12@hotmail.com - bshirasago@ipn.mx - mniebla@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


ING. FERNANDO DE JESÚS SÁNCHEZ LINDORO
nombre y firma



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S. siendo las 12:00 horas del día 14 del mes de Noviembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"APLICACIÓN DE SENSORES ACTIVOS Y PASIVOS EN LA CIRCULACIÓN SUPERFICIAL DE MESOESCALA EN LA PARTE SUR DEL GOLFO DE MÉXICO (BAHÍA DE CAMPECHE)"

Presentada por el alumno:

SÁNCHEZ
Apellido paterno

LINDORO
materno

FERNANDO DE JESÚS
nombre(s)

Con registro:

A	1	0	0	0	9	3
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. BERNARDO SHIRASAGÓ GERMÁN
Director de Tesis

DR. MACLOVIO OBESO NIEBLAS
2º Director de Tesis

DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ

DR. JOSÉ LUIS ORTIZ GALINDO

DR. ÁNGEL RAFAEL JIMÉNEZ ILLESCAS

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi familia

A mis padres y a mi hermana, tanto por su apoyo moral y económico y por confiar siempre en mí.

A mi Marcela, por ese empuje que medio día a día con su alegría y su confianza en mí, por no dejar que nunca me diera por vencido y seguir adelante con mis sueños. Por aguantar mi desesperación en los momentos más difíciles y sobre todo por sus palabras de aliento.

A mis amigos, por estar siempre presentes, tanto en momentos buenos como difíciles.

Y finalmente a Dios, por darme salud y fuerza para salir adelante.

AGRADECIMIENTOS.

Primero que nada quiero agradecer al Instituto Politécnico Nacional CICIMAR-IPN y al exdirector Rafael Cervantes Duarte y a la directora Dr. Margarita Casas Valdez por haberme brindado el apoyo para la realización de mis estudios de maestría, facilitándome sus instalaciones para cumplir con el desarrollo de mi formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por los apoyos económicos brindados en el desarrollo de mi formación como estudiante, agradezco de igual forma al Programa Interinstitucional de Formación de Investigadores (PIFI).

De igual forma quiero dar mi más sincero agradecimiento a mis Directores de Tesis, Dr. Bernardo Shirasago German y *Dr. Maclovio Obeso Nieblas*, por todos los consejos, recomendaciones, sugerencias y su apoyo incondicional.

A los maestros Dr. Enrique Nava Sánchez, Dr. Sergio Troyo Diéguez y Dr. Ángel Jiménez Illescas por sus clases que me ayudaron a desarrollarme en mi formación como Maestro en Ciencias y a mi comité revisor por todas sus observaciones y sugerencias.

A mis queridos amigos, Juan, Diego, Alfredo, ya que fueron parte importante en mi vida personal y profesional, gracias.

Al todo el personal del CICIMAR (choferes y personal administrativo) por facilitarme todo lo indispensable en el desarrollo de mi tesis y mi estancia en esta institución, agradezco especialmente al señor Humberto Ceseña por estar siempre en la mejor disposición de ayudar, los cafés y los dulces.

ÍNDICE GENERAL	Página
ANEXOS	I
LISTA DE FIGURAS.	II
GLOSARIO.	VI
RESUMEN.	X
ABSTRACT.	XI
I. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 ANTECEDENTES.	3
1.1.1. Patrones de Circulación.	3
1.1.2. Sistema de Corrientes de Yucatán, de Lazo y de Florida.	4
1.1.3. Giros Anticiclónicos y Ciclónicos.	5
1.1.4. Frentes.	9
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	12
1.3. OBJETIVO GENERAL.	13
1.3.1. Objetivos Particulares.	13
II. AREA DE ESTUDIO.	14
2.1. Geografía y Topografía.	14
2.2. Tectónica.	16
2.3. Relieve Costero.	16

2.4. Relieve Submarino.	17
2.5. Aspecto Meteorológicos.	19
2.5.1. Temperatura del Aire.	19
2.5.2. Precipitación y Escurrimientos.	19
2.5.3. Viento.	20
2.5.4. Intercambio de Energía Aire-Mar.	21
2.6. Hidrología.	22
2.6.1. Corrientes.	22
2.6.2. Mareas.	24
2.6.3. Oleaje.	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS.	
3.1 Imágenes de satélites.	25
3.2. Metodología para el trabajo de gabinete.	26
3.3. Sensores Pasivos.	25
3.3.1. Imágenes SeaWIFS.	25
3.3.2. Imágenes NOAA-AVHRR.	27
3.3.3. Procesamiento de Imágenes NOAA-AVHRR.	27
3.4. Sensores Activos.	28
3.4.1. Imágenes SAR.	28
3.4.2. Procesamiento de Imágenes SAR.	29

3.4.3. Datos QuikSCAT.	28
IV. RESULTADOS.	
4.1. Temperatura superficial del mar- NOAA- AVHRR.	31
4.1.1 Promedios de Temperatura superficial del mar del mes de septiembre.	40
4.1.2. Promedios de Temperatura superficial del mar del mes de octubre.	46
4.2. Clorofila "a" del sensor SeaWIFS.	53
4.3. Análisis de Imágenes SAR en la Bahía de Campeche.	59
4.3.1. Imágenes SAR.	59
4.3.2. Banco de Campeche.	59
4.3.3. Escarpe de Campeche.	64
4.3.4 Zona profunda de la Bahía de Campeche.	68
V. DISCUSIÓN.	
5.1. Temperatura superficial del mar en la Bahía de Campeche, Septiembre-Octubre de 1999.	71
5.2. Concentración de Clorofila "a" (Chl) en la Bahía de Campeche, Septiembre-Octubre de 1999.	74
5.3. Análisis de imágenes SAR.	75
VI. CONCLUSIONES.	78
VII. RECOMENDACIONES PARA FUTUROS ESTUDIOS.	81
VIII. BIBLIOGRAFIA.	82

ANEXOS	Página
Anexo 1. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 1 al 8 de septiembre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.	93
Anexo 2. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 9 al 16 de septiembre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.	94
Anexo 3. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 17 al 24 de septiembre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente. 95	
Anexo 4. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 25 al 30 de septiembre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente. 96	
Anexo 5. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 1 al 8 de octubre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.	97
Anexo 6. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 9 al 16 de octubre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.	98
Anexo 7. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 17 al 24 de octubre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente	99
Anexo 8. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 25 al 31 de octubre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.	100

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1.	Promedio mensual de volumen de agua de ríos muestreados por C.F.E. para 1987.	
	A) Afluente del Río Papaloapan.	
	B) Afluente del Río Coatzacoalcos	10
Figura 2.	Promedio mensual del volumen de agua de ríos muestreados por C.F.E. para 1987.	
	A) Afluente del Río Grijalva.	
	B) Afluente del Río Usumacinta	11
Figura 3.	Ubicación geográfica de la Bahía de Campeche.	15
Figura 3a.	Mapa Batimétrico del Golfo de México.	18
Figura 4.	Promedio mensual de corrientes superficiales durante 7 años (septiembre-octubre) a lo largo de la plataforma occidental del Golfo de México.	23
Figura 5.	Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 03 de septiembre de 1999. Sensor AVHRR.	32
Figura 6.	Campos de vientos en la Bahía de Campeche, 3 de septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.	32
Figura 7.	Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 11 de septiembre de 1999. Sensor AVHRR.	33
Figura 8.	Campos de viento en la Bahía de Campeche, 11 de Septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente	34
Figura 9.	Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 16 de septiembre de 1999. Sensor AVHRR.	35

Figura 10.	Campos de vientos en la Bahía de Campeche, 16 de septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.	35
Figura 11.	Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 20 de septiembre de 1999. Sensor AVHRR.	36
Figura 12.	Campos de viento en la Bahía de Campeche, 20 de Septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.	37
Figura 13.	Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 24 de septiembre de 1999. Sensor AVHRR.	38
Figura 14.	Campos de vientos en la Bahía de Campeche, 24 de septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.	38
Figura 15.	Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 11 de octubre de 1999. Sensor AVHRR.	39
Figura 16.	Campos de vientos en la Bahía de Campeche, 11 de octubre de 1999. Sensor QuikSCA, paso ascendente.	40
Figura 17.	Promedios de Temperatura superficial del mar en la Bahía de Campeche, 23 de septiembre de 1999, con intervalos de 2 días. Sensor AVHRR.	42
Figura 18.	Promedios de Temperatura superficial del mar en la Bahía de Campeche, 27 de septiembre de 1999, con intervalos de 2 días. Sensor AVHRR.	43
Figura 19.	Temperatura superficial del mar (promedio) en la Bahía de Campeche, 28 de septiembre de 1999, con intervalos de 2 días. Sensor AVHRR.	44

Figura 20.	Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 21 al 28 de septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.	45
Figura 21.	Promedios de Temperatura superficial del mar (promedio), de los días 1, 2 de octubre de 1999, con intervalos de 6 días. Sensor AVHRR.	48
Figura 22.	Promedios de Temperatura superficial del mar (promedio), de los días 28 y 29 de octubre de 1999, con intervalos de 6 días. Sensor AVHRR.	49
Figura 23.	Promedios de Temperatura superficial del mar (promedio), de los días 30 y 31 de octubre de 1999, con intervalos de 6 días. Sensor AVHRR.	50
Figura 24.	Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 26 de septiembre al 02 de octubre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.	51
Figura 25.	Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 22 al 31 de octubre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.	52
Figura 26.	Distribución superficial de Clorofila “a”, en la Bahía de Campeche, del 29 de agosto al 13 de Septiembre de 1999, con intervalos de 8 días.	54
Figura 27.	Distribución superficial de Clorofila “a”, en la Bahía de Campeche, del 14 al 29 de Septiembre de 1999, con intervalos de 8 días.	55
Figura 28.	Distribución superficial de Clorofila “a”, en la Bahía de Campeche, del 30 de septiembre al 15 de Octubre de 1999, con intervalos de 8 días.	57

Figura 29.	Distribución superficial de Clorofila “a”, en la Bahía de Campeche, del 16 al 30 Octubre de 1999, con intervalos de 8 días.	58
Figura 30.	Serie SAR del 7 de octubre de 1999.	60
Figura 31.	a) Campos de vientos del 7 de octubre de 1999, b) Ubicación geográfica de la serie SAR (1-3), de paso ascendente del 7 de octubre de 1999.	61
Figura 32.	Imagen SAR del 7 de octubre de 1999.	62
Figura 33.	Serie SAR del 14 de Octubre de 1999.	63
Figura 34.	a) Campos de vientos del 14 de octubre de 1999, b) Ubicación geográfica de la serie SAR (4-7), de paso descendete del 14 de octubre de 1999.	64
Figura 35.	Serie SAR del 28 de septiembre de 1999.	65
Figura 36.	a) Campo de vientos del 28 de septiembre de 1999, b) Ubicación geográfica de la serie SAR (8-11), de paso descendente del 28 de septiembre de 1999.	66
Figura 37.	Serie SAR del 10 de Octubre de 1999.	67
Figura 38.	a) Campos de vientos del 10 de octubre de 1999, b) Ubicación geográfica de la serie SAR (12-14), de paso ascendente del 10 de octubre de 1999.	68
Figura 39.	Imágenes SAR (15-18) del 13 de octubre de 1999.	69
Figura 40.	a) Campos de viento del 13 de octubre de 1999. B) Ubicación geográfica de las imágenes SAR, en paso ascendente del 13 de octubre de 1999	70

GLOSARIO.

Anticiclónico. Se usa para definir el sentido de rotación de fenómenos oceánicos y atmosféricos contrario a la dirección del giro de los ciclones y al de la tierra; en el mismo sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur.

Ciclónico. Es el sentido de giro de un fluido igual al de los ciclones y de la tierra; en sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en el mismo sentido en el hemisferio sur.

Convergencia. Fenómeno que se presenta cuando aguas de diferente se unen en una línea o en un área, la cual es llamada línea de convergencia o zona de convergencia.

Crucero oceanográfico. Expedición de trabajo que se lleva a cabo en una embarcación para realizar mediciones oceanográficas.

Divergencia. Estructura de la corriente sobre la horizontal, de tal manera que los flujos se dispersan en diferentes direcciones partiendo de un centro o zona común.

El Niño. Se caracteriza por el debilitamiento a gran escala de los vientos Alisios y que produce un calentamiento de las capas superficiales del Océano Pacífico Ecuatorial en sus porciones este (frente a las costas de América) y central. Los eventos "El Niño" ocurren irregularmente en intervalos que varían entre 2 y 7 años, aunque en promedio puede presentarse uno cada 3 o 4 años. Duran entre 12 y 18 meses y son acompañados por cambios en el Índice de Oscilación Austral (IOA), también llamado Índice de Oscilación del Sur. Este índice refleja una variación interanual de la presión atmosférica al nivel del mar entre los hemisferios oriental y occidental.

Filamento. Extensiones longitudinales o lenguas que se desprenden de fenómenos oceanográficos, constituidos principalmente por las surgencias costeras, las cuales

transportan aguas características de dicha zona costera, como altas concentraciones de pigmentos fitoplanctónicos o aguas de mayor o menor temperatura.

Hidrografía. Disciplina que se ocupa de las mediciones y la descripción de las características físicas de los océanos, mares, lagos, ríos y las zonas costeras adyacentes a ellos.

Imagen de satélite. Imágenes obtenidas mediante sensores instalados en plataformas satelitales. Tanto la dimensión del área geográfica que representa cada celda, como la cantidad diferente de valores que pueda contener, varía dependiendo del origen de la imagen.

Intrusión. Es la entrada de un tipo de agua en un espacio donde existía otro tipo de agua diferente, conservando parcial o totalmente sus características por un tiempo generalmente corto.

Fetch. Área continúa de la superficie marina sobre la cual un viento de cierta dirección y velocidad sopla, generando oleaje en el mar.

Marea. Es la variación periódica del nivel del mar debido y a la atracción gravitacional entre el sol, la luna y la tierra, con variaciones que responden al movimiento relativo de ellos. Esta variación del nivel del mar se propaga como una onda a través de las cuencas oceánicas.

Marea semidiurna. Es la variación del nivel del mar provocado por la marea en un lugar que produce dos pleamares y dos bajamares en un período aproximado de 24 horas.

Macroescala. Se refiere a la extensión geográfica de los fenómenos naturales, la cual va de cientos a hasta miles de kilómetros con una duración en el tiempo de años.

Mesoescala. Se refiere a la extensión geográfica de fenómenos naturales, la cual va de decenas hasta cientos de kilómetros con una duración de semanas hasta un año.

Retroreflectancia. Propiedad de un material o elemento por la cual, cuando es directamente irradiado, refleja los rayos preferentemente en una dirección similar y contraria a la del rayo incidente. Esta propiedad se mantiene para una amplia gama de direcciones de los rayos incidentes.

Sensor. Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas.

Sensor Activo. Son aquellos que emiten energía sobre el objeto y reciben la señal reflejada por el mismo. Los sensores activos más comunes son los sensores de **RADAR (Radio Detection and Ranging)**, estos sensores trabajan en el rango de las microondas, razón por la cual es posible trabajar sobre cualquier condición atmosférica.

Sensor Pasivo. Son aquellos que utilizan fuentes externas de energía para obtener información de los objetos. La mayoría de los sensores utilizados para la observación de la tierra son pasivos, estos sensores generalmente trabajan sobre el rango del visible e infrarrojo dentro del espectro electromagnético. Dentro de estos sensores se encuentran sensores multiespectrales.

Surgencia. Los vientos generan corrientes horizontales que se mueven por la superficie de los océanos, pero también generan, cuando soplan paralelos a la costa y de manera indirecta, movimientos verticales de agua llamados surgencias. En el hemisferio norte, cuando el viento sopla sobre el océano, paralelo a la costa y hacia el ecuador en el hemisferio norte, el agua en la superficie no se mueve directamente hacia enfrente, sino aproximadamente 45 grados a la derecha de la dirección del viento.

Sigma-t (σ_t). Representa en forma abreviada el valor de la densidad de una muestra de agua de mar en función de su temperatura y salinidad *in situ* a presión constante e igual a cero $\sigma_t = (\rho(s,t,0) - 1) * 10^3$. Convierte un número como 1.02348 en 23.48 unidades que es más fácil de leer.

Vientos Alisios. Son los vientos que soplan regularmente en los océanos Pacífico y Atlántico de las zonas tropicales hacia el ecuador. En condiciones normales, la presión atmosférica reinante en el ecuador es inferior a la de los trópicos. El aire tiende, entonces, a circular en la dirección norte-sur (en el hemisferio norte) y sur-norte (en el hemisferio sur), pero al combinarse con la rotación de la Tierra, la dirección real en que soplan es noreste a suroeste en el hemisferio norte y de sureste a noroeste en el hemisferio sur. Su velocidad es de unos 20 Km/h.

RESUMEN.

Se realizó un estudio con varios sensores satelitales pasivos y activos en la Bahía de Campeche, con el objetivo de analizar la dinámica superficial de mesoescala de la zona, con datos diarios y promediados de Temperatura superficial del mar (TSM) del sensor NOAA-AVHRR, una composición de imágenes del sensor SeaWIFS de clorofila “a”, imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR) y campos de viento diarios procedentes del sensor QuikSCAT, de los meses de septiembre y octubre de 1999. En las imágenes de TSM de septiembre se aprecian filamentos de mayor temperatura asociados a los frentes generados por los ríos de la zona costera. En octubre se observó una circulación ciclónica bien definida generando una zona de convergencia en la región central de la bahía, al parecer producto de las corrientes procedentes del norte y este. Por otra parte, en las imágenes del SeaWIFS se observan patrones similares de circulación, con una mayor abundancia de clorofila “a” en la zona costera, asociado posiblemente a las descargas de los ríos y a la surgencia en el Banco de Campeche. Con respecto a los campos de vientos, éstos fueron predominantemente del noroeste y suroeste para el mes de septiembre, mientras que para octubre se detectó una importante zona de convergencia en la parte central de la bahía, posiblemente generada por los vientos del suroeste y sureste, presentes en esta época. Las imágenes SAR, fueron útiles en la detección de estructuras marinas y atmosféricas como la existencia de frentes de pluma de río observados los días 10 y 13 de octubre frente a la desembocadura de los Ríos Tonalá y el Sistema Grijalva-Usumacinta. Un frente atmosférico también fue observado el 7 de octubre y la presencia de varias celdas de lluvia localizadas en la serie del 14 de octubre, a pesar de la presencia de nubes, en contraste de las imágenes de los sensores AVHRR y SeaWIFS.

ABSTRACT.

A study was carried out with several active and passive satellite sensors, in Bahía de Campeche with the objective of analyzing the surface mesoscale dynamics of the zone, daily and averaged data of Sea Surface Temperature (SST) from NOAA-sensor AVHRR were used for this research, as well as composite of images from the SeaWIFS sensor chlorophyll "a", 16 images from Synthetic Aperture Radar (SAR) and wind fields from the sensor QuikSCAT day of September and October 1999. In September SST images can be seen warm filaments associated with fronts generated by the rivers of the coastal zone. In October there was a well-defined cyclonic circulation causing a convergence zone in the central region of the bay, apparently as a product of the currents from the North and East. On the other hand, it is observed in SeaWIFS images similar patterns of circulation, with a greater abundance of chlorophyll "a" in the coastal zone, possibly associated with rivers discharges and upwelling's in the Campeche Bank. With respect to the wind fields, these were predominantly northwest and southwest for September and during October an important convergence area was detected in the central part of the Bay, possibly generated by southwest and southeast winds prevailing in this period. SAR images were useful in detecting atmospheric and marine structures such as the existence of river plume fronts observed in October 10 and 13, at the mouth of the Rivers Tonalá and Grijalva-Usumacinta system. An atmospheric front was observed on October 7 and the presence of several rain cells located in the series of October 14, despite the presence of clouds, in contrast to the images of the AVHRR and SeaWIFS sensors.

1. INTRODUCCIÓN.

La Bahía de Campeche, es una región del suroeste del Golfo de México, la cual se caracteriza por una alta complejidad de fenómenos oceanográficos y procesos biológicos los cuales ocurren en un área de protección, reproducción y crianza de recursos pesqueros. Por esto, se tienen capturas de más de 1 millón de toneladas al año y en especial porque en esta bahía se encuentra la zona de mayor producción de petróleo del país. Esto hace de ella una región de gran importancia, lo que ha generado que se realicen una serie de estudios de carácter científico y del sector productivo (Trujillo-Bolio, 2005).

El Golfo de México y el Mar Caribe representan aproximadamente el 30% de los 11 500 Km nominales de las costas mexicanas, se presenta como una región muy importante del Océano Atlántico al cual está conectado. El intercambio de agua entre el Océano Atlántico y el Golfo de México, por medio del Canal de Yucatán y el Estrecho de Florida, son características que determinan fuertemente la circulación del golfo. Considerándolo como el noveno cuerpo de agua más grande del mundo (Lugo-Hubp, 1990). Éstas características determinan la circulación en la bahía. Dicho patrón de circulación, está condicionado por el forzamiento del viento, el transporte de masas que entran a través del Canal de Yucatán y las surgencias que ocurren en el norte y noroeste de la Península de Yucatán.

Se han realizado un gran número de estudios hidrográficos en la bahía con el objetivo de estudiar sus variaciones espacio-temporales de los principales parámetros físicos, como son la temperatura, la salinidad, sigma-t y el oxígeno disuelto, pero se conoce poco acerca de su dinámica (Salas de León *et al.*, 2007).

Uno de los fenómenos costeros más importantes de esta región, es la formación de frentes, los cuales son originados principalmente por la descarga de agua dulce de los ríos. Se ha visto durante muchos años, cerca de las zonas

frontales alta productividad primaria y concentración de otros organismos (Shirasago, 1996).

Otro de los fenómenos importantes de esta región es la formación del giro ciclónico, que es atribuido a diversos mecanismos: la interacción del agua de la surgencia de Yucatán con el Banco de Campeche al conservar su momento angular. (Cochrane, 1963), la variación del transporte a través del Canal de Yucatán (Monreal-Gómez & Salas de León, 1986), la geometría de la bahía y el rotacional ciclónico del esfuerzo del viento (Vázquez de la Cerda, 1993).

Dado que en la literatura se menciona que cada uno de los procesos de mesoescala, aportan diferentes variaciones espacio-temporales, en este trabajo analizó la dinámica superficial por medio de un enfoque de análisis multiespectral. De igual manera, se trató de mostrar que la dinámica costera es influenciada por procesos que ocurren a mayor escala e inclusive en otras partes del Golfo de México.

Para lograr lo anterior, se realizó el procesamiento de datos satelitales en diferentes bandas, debido a que la época en la que se llevó a cabo el estudio fue marcada por condiciones meteorológicas adversas, por lo que para poder identificar los diferentes fenómenos de mesoescala, se realizó un análisis multiespectral, lo que permitió identificar dichos elementos, a través de un juego de datos multibanda. La importancia de contar con planos de imágenes en distintas bandas espectrales, radica en que los elementos sobre la superficie terrestre reflejan la luz en distintas proporciones para cada banda (Shirasago, 1996).

Esta región está fuertemente influenciada por el Golfo de México, por lo tanto la variabilidad en el golfo, determina en gran medida la variabilidad de mesoescala en la Bahía de Campeche.

1.1 ANTECEDENTES.

La región sur del Golfo de México ha sido objeto de múltiples estudios que demuestran la alta variabilidad de sus condiciones oceanográficas, por lo que se hará una revisión del inicio de las primeras investigaciones y de los principales fenómenos oceanográficos que ocurren en el Golfo de México.

Las expediciones en el golfo iniciaron desde finales del siglo XV, pero fueron dirigidas principalmente con fines de exploración, colonización y conquista. Posteriormente fue hasta el siglo XIX cuando iniciaron las expediciones científicas las cuales han continuado hasta nuestros días (Shirasago, 1991).

Uno de los primeros estudios oceanográficos más relevante fue el realizado por Benker (1930), quien resumió todas las expediciones oceanográficas realizadas en todo el mundo entre los años 1800 y 1930, mencionando 133 expediciones a regiones Árticas, 36 Antárticas, 10 al Índico, 10 alrededor del mundo y sólo tres fueron en el Golfo de México. Parr (1935), analizó las primeras expediciones con fines hidrográficos basándose especialmente en datos recopilados en los cruceros “Mabel Taylor” y “Atlantis”, efectuados en 1932 y 1934 respectivamente. Esta investigación se realizó mediante diagramas T-S, donde se aprecia la distribución de las masas de agua en el golfo, Canal de Yucatán y Estrecho de Florida.

1.1.1. Patrones de Circulación.

Los primeros investigadores que establecieron características semipermanentes en la circulación del Golfo de México fueron Cochrane (1962; 1963;1966); Nowlin y McLellan (1967), ya que reportaron variaciones espacio-temporales que ocurren con el sistema de corrientes Yucatán-Lazo-Florida, en la parte oriental y una celda de circulación anticiclónica en la frontera occidental.

1.1.2. Sistema de Corrientes de Yucatán, de Lazo y de Florida.

La dinámica del Golfo de México está influenciada por la Corriente de Yucatán que se extiende desde el noroeste del Mar Caimán hasta el Canal de Yucatán con flujo hacia el noroeste. Cochrane (1962, 1963 y 1966) encontró una relación muy acentuada entre la topografía del canal y el flujo con un transporte promedio de 23.9 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3\text{S}^{-1}$). Por otra parte se ha establecido que el flujo de la Corriente de Yucatán varía temporalmente teniendo valores máximos en el mes de agosto y mínimos durante noviembre, con incrementos de marzo a mayo y decrementos de junio a noviembre. (Molinari *et al.*, 1977; Ochoa *et al.*, 2001; Sheinbaum *et al.*, 2002;).

Candela *et al.* (2003), reportaron una Función Empírica Ortogonal (FEO) basada en el análisis de 23 meses de mediciones usando correntómetros y ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) en el Canal de Yucatán, demostrando el papel que juega la plataforma continental en la formación de meandros en la circulación del Canal de Yucatán.

Se ha visto que la corriente del Lazo migra hacia el norte (intrusión) del Golfo de México, siendo ésta la que sufre mayores variaciones en el plano horizontal. Inicialmente se pensó que el desplazamiento cíclico de esta corriente era estacional, caracterizado por una intrusión máxima, con la separación de un remolino anticiclónico en el verano y otoño de hasta 250 Km de diámetro. Leipper (1970); Nowlin y Hubertz (1972); Maul (1977); Cochrane (1963), fueron los primeros en proponer que la trayectoria de la corriente de Lazo variaba cíclicamente en el transcurso del año. Leipper (1970), concluyó que los cambios en la trayectoria de la corriente son estacionales. Con su concepto “intrusión de primavera”, indica cuando la corriente penetra en el golfo y “otoño de dispersión” se refiere al movimiento de la corriente hacia el oeste o al desprendimiento de un giro.

Por otra parte, Reid (1972), utilizó un modelo empírico y encontró que la penetración hacia el norte depende de la estructura de la vorticidad relativa de la Corriente de Yucatán. Molinari *et al.* (1980) concluyeron que la intrusión estacional

variaba directamente con el transporte geostrofico a través del Canal de Yucatán, además que los transportes del Canal de Yucatán y el Estrecho de Florida se encontraban en fase y tenían la misma magnitud.

Por otra parte, la corriente de Florida es la continuación de la Corriente de Lazo, misma que sale a través del Estrecho de Florida para incorporarse nuevamente al sistema “*Gulf Stream*” y el flujo de esta corriente se presenta con mínimos en los meses de febrero y noviembre y un máximo en el mes de mayo, manteniendo una magnitud intermedia entre los meses de marzo-abril y junio-agosto”. (Molinari *et al.*, 1978). Por otro lado, Maul y Vukovich (1985,1993) no encuentran una relación estadística significativa entre el ciclo de intrusión de la Corriente de Lazo y el ciclo anual del transporte en el Estrecho de Florida.

1.1.3. Giros Anticiclónicos y Ciclónicos.

Uno de los principales factores que gobiernan la circulación general del golfo, es la formación de giros anticiclónicos provocados por la intrusión de la Corriente de Lazo (Nowlin y Hubertz 1972), entre otros han demostrado que las causas de estos grandes giros son el resultado del desprendimiento del meandro, formado por la intrusión de la Corriente de Lazo (Romanou *et al.*, 2004).

Los valores de transporte geostrofico de estos fenómenos mesoescalares, fueron estimados por Sturges y Blaha (1976), los cuales son aproximadamente de $10^7 \text{m}^3/\text{s}$, alcanzando velocidades de hasta 70 cm/s (Nowlin, 1972).

En cuanto a los estudios de giros se pueden mencionar los de Hellermann (1977; 1978) y Elliot (1982), quienes reportaron un giro ubicado entre 23.5°N y 95°W , ocasionado principalmente por el balance rotacional del viento con la vorticidad planetaria. Sturges y Blaha (1976), encontraron un giro anticiclónico moviéndose hacia el oeste después de separarse de la Corriente de Lazo, por lo que se demostró que el giro juega un papel muy importante en la distribución de sal y

calor de la parte oeste del golfo, además de que el rotacional del esfuerzo del viento era siempre positivo y no negativo.

Hurlburt y Thompson (1980,1982), usaron un modelo numérico de gravedad reducida y mostraron que la Corriente de Lazo puede penetrar al golfo, girar hacia el oeste y generar remolinos anticiclónicos con una frecuencia de aproximadamente 11 meses, sin que haya variación temporal del flujo en la entrada que podía afectar el periodo de desprendimiento de los remolinos. Ahora bien, en relación con la celda de circulación anticiclónica, Lugo-Fernández, A. (2007), propuso que ésta se debe a los remolinos que se desprenden de la Corriente de Lazo y que se propagan al Oeste.

Por otra parte, Sturgen y Hong (2000), basados en datos de Hellerman (1967), plantean una segunda hipótesis para explicar el giro anticiclónico en la región occidental del Golfo de México, sugieren que el rotacional del esfuerzo del viento sobre el Golfo de México es el principal mecanismo forzante para la circulación de esta zona. Martínez-López y Parés-Sierra (1998), en su trabajo incluyeron un modelo de corte de velocidad en la vertical, lo que les permitió una mejor representación (con respecto a un modelo barotrópico o de gravedad reducida) del flujo de energía del viento a las capas inferiores, así como de la influencia que las corrientes producidas por el viento y la Corriente de Yucatán ejercen sobre la corriente de mareas.

Estudios de Zavala-Hidalgo *et al.* (2003), han mostrado que los giros anticiclónicos tardan en desplazarse hacia el interior del Golfo de México un intervalo de tiempo que va desde los 3 hasta los 17 meses hasta golpear contra los márgenes continentales donde esté pierden energía. Oey *et al.* (2007); Chang y Oey (2010), exploraron el rol de los vientos locales en el Golfo de México en la alteración de la conducta de la Corriente de Lazo y el desprendimiento de los Eddies, a través del forzamiento del Modelo Oceánico de Princeton del Golfo de México, encontrando que los vientos producen una mayor eficiencia en el intercambio de masas entre el golfo y el Mar Caribe.

Por lo que concierne a la formación de giros ciclónicos en el Golfo de México estos se encuentran ubicados principalmente en la Plataforma de Texas-Louisiana, en la Florida y en la Bahía de Campeche. Ahora bien la Bahía de Campeche, presenta una gran influencia por la Corriente de Lazo, ya que una parte del flujo que penetra a través del Canal de Yucatán se desvía hacia el oeste y entra a ésta. (Monreal Gómez & Salas de León, 1990), presentando una circulación predominantemente ciclónica durante el otoño (Cochrane, 1968; Nowlin, 1972; Molinari *et al.*, 1977; Salas-de León *et al.*, 2007). Esta corriente tiene un transporte de 3 Sv (Molinari *et al.*, 1978).

Diversos mecanismos han sido propuestos para determinar la circulación del golfo, algunos lo atribuyen a la consecuencia del gran giro anticiclónico. Sin embargo, otros autores afirman que dicho patrón de circulación está condicionado por el forzamiento del viento, el transporte de masas que entran por el Canal de Yucatán y las surgencias que ocurren en noreste de la Península de Yucatán (Nowlin 1972; Merrell y Morrison 1981; Salas-de León y Monreal-Gómez 1997; Zavala *et al.*, 1996).

En cuanto estudios de percepción remota con imágenes de color del mar (clorofila "a"), encontramos los de Signoret *et al.*, (2006), que por medio de mediciones *in situ* y percepción remota, establecieron los patrones de distribución horizontal de la clorofila "a" a mesoescala, desde la costa norte del Estado de Veracruz y sur de Tamaulipas hasta la región más profunda del Golfo de México. Diversos autores señalan que los sensores del color del mar, sólo captan información de los pigmentos fotosintetizadores en la quinta parte de la capa eufótica, lo equivalente al 20% del estrato superior de la columna de agua (Sathyendranath & Platt, 1993; Falkowski & Raven, 1997).

Melo González *et al.* (2000), estudiaron la variación temporal y zonificación de los pigmentos fotosintéticos del fitoplancton en zonas del Golfo de México, Mar Caribe occidental y en el entorno de la Isla de Cuba a partir del procesamiento digital de imágenes del sensor de color del mar "Coastal Zone Color Scanner" (CZCS) instalado en el satélite Nimbus 7 entre los años 1978 y 1986. Los resultados del

comportamiento de los parámetros bio-ópticos y oceanográficos observados en las imágenes, mostraron una marcada estacionalidad del pigmento en el entorno de la Isla de Cuba. Sin embargo, los rangos de la variación de densidad del pigmento son más acentuados para el Golfo de México que para el Caribe Occidental, aumentando de este a oeste y de sur a norte. Por otra parte, Melo González (1995), concluyó que existe una amplia relación entre las anomalías de la temperatura superficial del mar, en las zonas de generación de “El Niño”, lo cual influencia la variación de la densidad de pigmentos superficiales de la región.

Sathydranath y Platt (1993), Falkowski y Raven (1997), concluyeron que los estudios de patrones de distribución vertical de la clorofila “a” en la columna de agua son indispensables para evaluar el potencial productivo de los océanos y sus implicaciones en las redes tróficas.

Mientras que Zavala-Hidalgo *et al.* (2006), estudiaron la surgencia estacional en el sur y el oeste de la plataforma del Golfo de México, utilizando datos de temperatura superficial del mar de 8 años, 7 años con imágenes de color del océano, campos de viento y análisis de modelos numéricos, identificando así, regiones y periodos de surgencias costeras en el suroeste de la plataforma del golfo. Ellos encontraron frentes de agua fría durante el invierno, producidos por el ingreso de agua de menor temperatura de la plataforma de Texas y Luisiana, no debido a la presencia de surgencias, mientras que en el este del Banco de Campeche, la presencia de la surgencia se observa debido a los vientos favorables todo el año generando temperaturas superficiales del mar frías y gran contenido de clorofila “a” a lo largo de la plataforma interior, durante los meses de mayo a septiembre.

1.1.4. Frentes.

Uno de los pioneros en realizar estudios de frentes, tanto descriptivos como dinámicos, en las islas japonesas fue Uda, (1958), llamándoles SIOME, observando una congregación de peces alrededor de estas zonas. Asimismo, Murray (1975) y Klemas (1980), han observado que el tamaño de la distribución de derrames de petróleo y otros contaminantes se ven seriamente afectados por la presencia de frentes, ya que son zonas de convergencia.

Según Bowman y Wayne (1978), los frentes representan la frontera entre dos masas de agua yuxtapuestas y de diferentes propiedades, con gradientes de temperatura, salinidad, densidad, etc., además de ser regiones de convergencia y de movimientos verticales relativamente fuertes. Asimismo Simpson y James (1986), describieron los frentes, como una región estrecha y extendida de gradientes horizontales intensificados de parámetros físicos, químicos o biológicos mismos que se presentan en todos los mares del mundo.

Por otra parte, Cruz-Ábrego y Flores-Andolais (1992), analizaron la distribución de moluscos en zonas de descarga de agua de los principales ríos del sur del Golfo de México y determinaron que las plumas de ríos afectan la estructura de las comunidades de moluscos debido a la inestabilidad ambiental característica de estas áreas.

Asimismo, Shirasago-German (1991), realizó un estudio en la Bahía de Campeche a partir de datos hidrográficos, durante las épocas de verano, otoño e invierno, y datos de volumen de agua de los ríos de la región (Fig. 1 y 2), observó un comportamiento similar entre la época de otoño e invierno y una diferencia marcada respecto al verano y también registró un frente permanente en la zona contigua a la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta, mientras que en las zonas circundantes de las desembocaduras de los ríos Coatzacoalcos y Papaloapan, los frentes se detectaron estacionalmente.

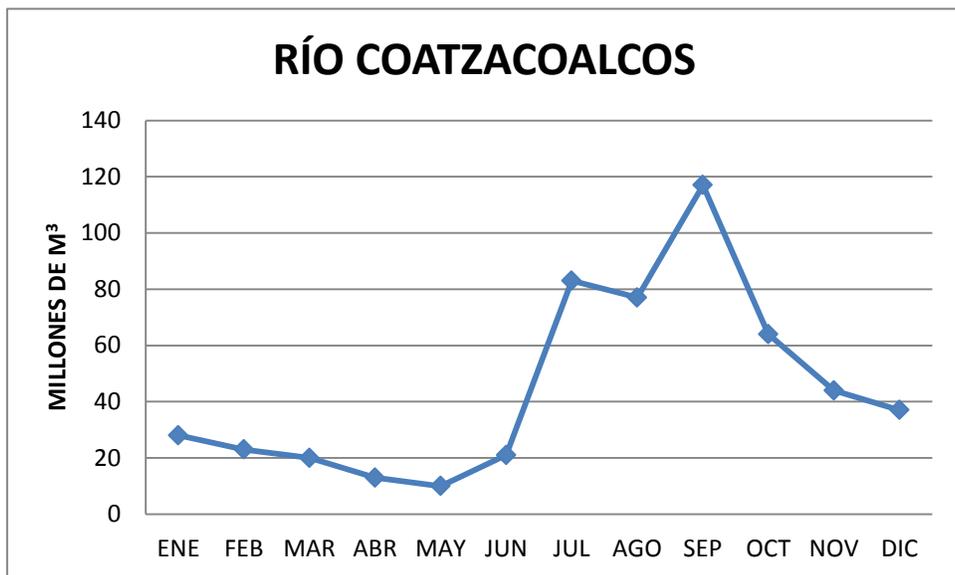
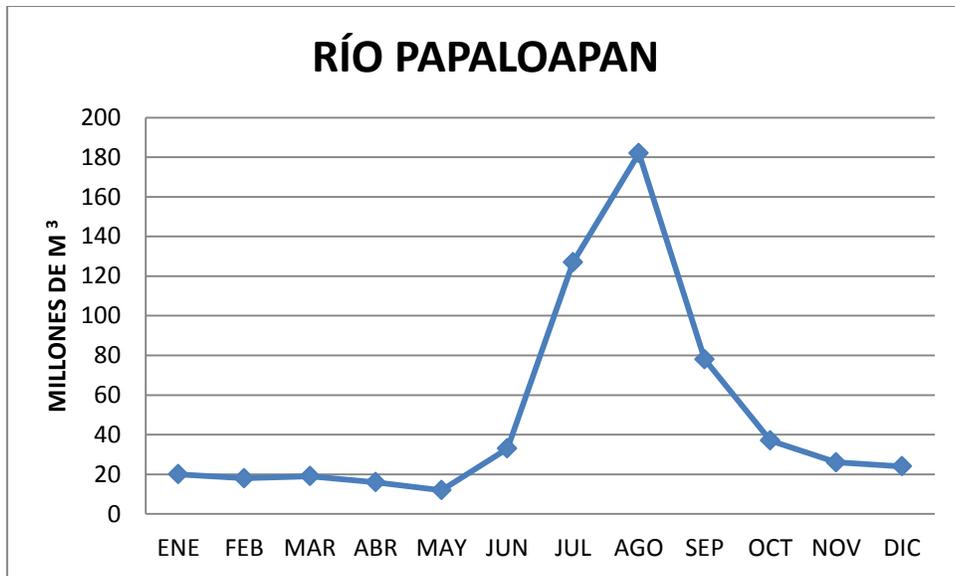


Figura 1. Promedio mensual de volumen de agua de ríos muestreados por C.F.E. para 1987.

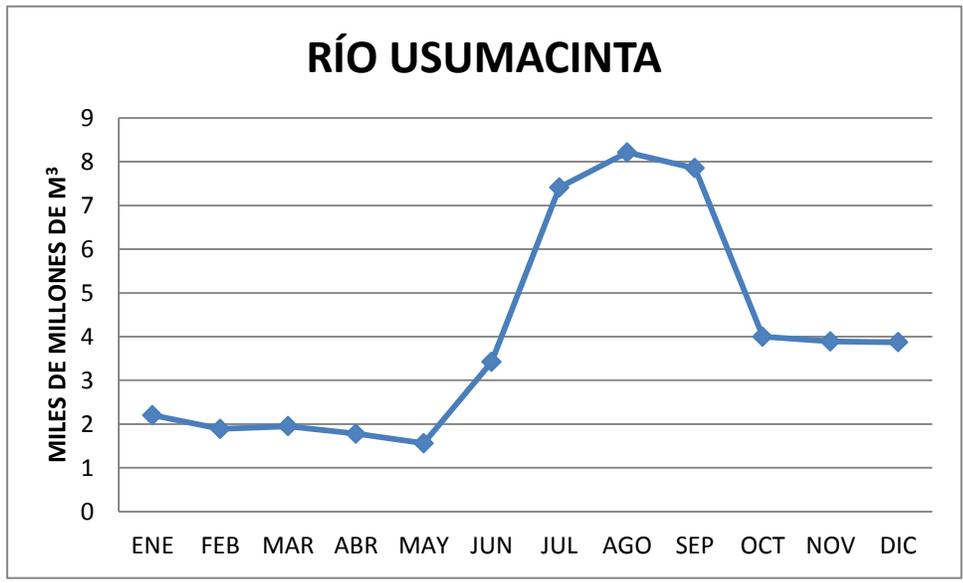
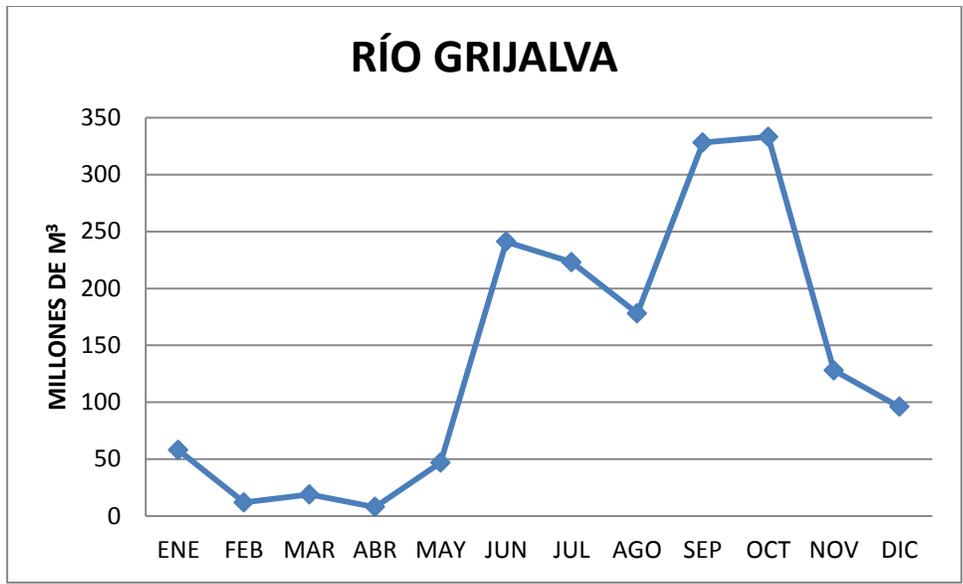


Figura 2. Promedio mensual del volumen de agua de ríos muestreados por C.F.E. para 1987.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Debido a la dificultad de realizar estudios con sensores remotos e instrumentación oceanográfica, en regiones o épocas en las que prevalecen condiciones meteorológicas adversas, se espera detectar fenómenos marinos de mesoescala con un estudio espacial multisensorial y multiespectral.

En el sur del Golfo de México, en especial la Bahía de Campeche, se han realizado estudios hidrográficos y de circulación para determinar su variabilidad, debido a que es una zona de gran interés económico y pesquero, en especial porque es donde se ubican las plataformas de explotación petrolera más importante de México, que es la Sonda de Campeche.

Sin embargo éstos no son suficientes, dada la importancia de esta zona, es por esto que el presente trabajo de investigación pretende contribuir a la determinación de la circulación marina y a la detección de fenómenos de mesoescala durante una época de fuertes lluvias y grandes descargas de los principales ríos de la región, a través de la aplicación de diferentes sensores activos y pasivos. Considerando que en nuestro país, existe un escaso conocimiento del sensor activo (SAR), será de gran utilidad el análisis de este tipo de datos satelitales.

1.3. OBJETIVO GENERAL.

Determinar la dinámica superficial de mesoescala de la Bahía de Campeche mediante datos de Temperatura superficial del mar y Pigmentos de Clorofila “a”, provenientes de los sensores AVHRR y SeaWIFS y compararla con lo observado en las imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR) de alta precisión.

1.3.1 Objetivos Particulares.

- Analizar la dinámica de la zona con imágenes de temperatura superficial del mar provenientes del sensor NOAA-AVHRR.

- Obtener información de la misma dinámica de la zona con imágenes de pigmentos de clorofila “a” del sensor SeaWIFS.

- Determinar los fenómenos observados en las imágenes SAR comparándolos con los registrados con sensores pasivos.

II. ÁREA DE ESTUDIO.

2.1 Geografía y Topografía.

La Bahía de Campeche situada en la zona subtropical entre 18°06' y 21°30' de latitud norte y 90°06' y 97°20' de longitud oeste al Sur del Golfo de México (Fig. 3). Sus aguas tienen profundidades típicas que van de los 200 m en su plataforma continental, así como profundidades que aumentan rápidamente hasta los 1000 m y alcanzando los 3000 m en el centro de la bahía (Behringer *et al.*, 1977). Tiene una extensión aproximada de 750 Km de oeste a este y de norte a sur cerca de los 350 Km conectándose así con el Golfo de México; el cual se considera una cuenca con dos fronteras abiertas, que se conectan con el Océano Atlántico y con el Mar Caribe a través del Canal de Yucatán localizado entre la Península de Yucatán y la Isla de Cuba; y el Estrecho de Florida localizado entre la Florida y la Isla de Cuba, respectivamente. El régimen de marea en la bahía es diurna desde la parte noreste de Yucatán hasta Río Coatzacoalcos y una marea mixta con dominancia diurna se encuentra desde el noroeste del Río Coatzacoalcos, hasta un poco al norte de Matamoros (Monreal Gómez & Salas de León, 1997).



Figura 3. Ubicación geográfica de la Bahía de Campeche.

El litoral del Golfo de México y del Caribe Mexicano, desde Tamaulipas (en la frontera con los Estados Unidos) hasta Quintana Roo (en la frontera con Belice) tiene en su conjunto una extensión de línea de costa externa cercana a los 2270 Km, sin embargo, si se considera la extensión de los márgenes internos de las lagunas, estuarios, desembocaduras y barreras costeras, a la cifra anterior deben sumarse 4900 Km más, alcanzando con ello 7670 Km (Yáñez- Arancibi *et al.* 2004). Por lo anterior, el Golfo de México es considerado el noveno cuerpo de agua más grande del mundo (Lugo-Hubp, 1990).

2.2. Tectónica.

Las provincias geológicas del Golfo de México y del Caribe, cuentan con esfuerzos tectónicos de separación cortical, identificados también como de tensión o distintivos, que están actuando en los márgenes continentales; éstos, a su vez, avanzan sobre los fondos más profundos de las cuencas oceánicas, como consecuencia del desplazamiento de la placa tectónica continental de Norteamérica hacia el poniente, y de la del Caribe hacia el oriente. En particular en el sur del Golfo de México, las cuencas terciarias de Veracruz, Tabasco y Campeche, subsidiaron en forma discontinua los bloques del basamento, a partir del Cretácico Superior, y principios del Terciario. El mismo fenómeno ocurrió en el margen noroeste, lo cual es evidente en las secuencias estratigráficas y por el estilo de fallamiento normal en bloques. El mecanismo de desplazamiento del bloque de Yucatán no está del todo entendido; sin embargo, se postula el movimiento del bloque yucateco hacia el norte para explicar los procesos que dieron lugar a la formación de las cuencas marginales del Terciario y a la formación y evolución del cañón de Campeche (Lugo-Hubp, 1990).

2.3. Relieve Costero.

La planicie costera del Golfo de México es muy variada por su morfología, que corresponde a una gran cuenca marginal al orógeno de la Sierra Madre Oriental, con espesores potentes de roca sedimentarias terciarias, con extensión e inclinación suave hacia el interior del Golfo de México. Se encuentra interrumpida por conjuntos montañosos, como la del Sistema Neovocánico y los volcanes de Los Tuxtlas. Los suelos son bien conocidos, debido a cientos de pozos petroleros de la región, lo que ha permitido a los geólogos definir tres grandes cuencas sedimentarias en esta

provincia: Burgos en el norte, Tampico-Misantla en el centro y Veracruz-Campeche en el Sur (López-Ramos, 1979).

La Bahía de Campeche consiste en capas sedimentarias del Jurásico Superior-Cretácico y del Terciario que descansan sobre rocas continentales del Paleozoico y Triásico-Jurásico Medio, con espesores conocidos de más de 6 Km.

Según (Lugo-Hubp, 1990), en la cuenca sedimentaria de Veracruz-Campeche, predominan los procesos de la acumulación fluvial, favorecidos por precipitaciones pluviales que se cuentan entre las más altas del país. Sobre la planicie, se asientan las elevaciones de los volcanes de Los Tuxtlas de rocas básicas cuaternarias, con cuatro conos volcánicos con un lago interior. Destacan el volcán San Martín, de 1 700 m.s.n.m., mismo que tuvo actividad en 1664 y 1793.

2.4. Relieve Submarino.

El fondo oceánico del Golfo de México presenta una variedad amplia de estructuras, convirtiéndolo en un caso excepcional en el mundo. El relieve que presenta esta cuenca oceánica, es una clara secuencia de las estructuras: plataforma continental, talud continental, pie del continente y planicie abisal (Padilla y Sánchez, 1986).

La plataforma continental tiene una anchura de 72 a 80 Km en la desembocadura de Río Bravo y se estrecha gradualmente hasta 6-16 Km frente a la zona volcánica de San Andrés Tuxtla, Veracruz. A partir de ese momento, se amplía gradualmente para alcanzar 220-260 Km en el extremo septentrional de la Península de Yucatán. La pendiente de la península está constituida principalmente por depósitos terrígenos hasta Campeche, donde cambia a sedimentos carbonatados en lo que es la estructura de la península.

El talud continental es heterogéneo en su relieve, en el extremo sudoriental del Golfo de México, se conoce un relieve montañoso, con elevaciones de más de 1 000 m, aunque dominan las de menos de 500 m, con diámetros del orden de 1 Km; se alteran con depresiones de más de 600 m de profundidad relativa. El Cañón de Campeche, de unos 45 Km de longitud, corta esta ladera (Fig. 3a). El límite inferior del talud continental alcanza unos 3 500 m de profundidad. Estas elevaciones son debido a domos salinos (Ewing & Antoine, 1966).

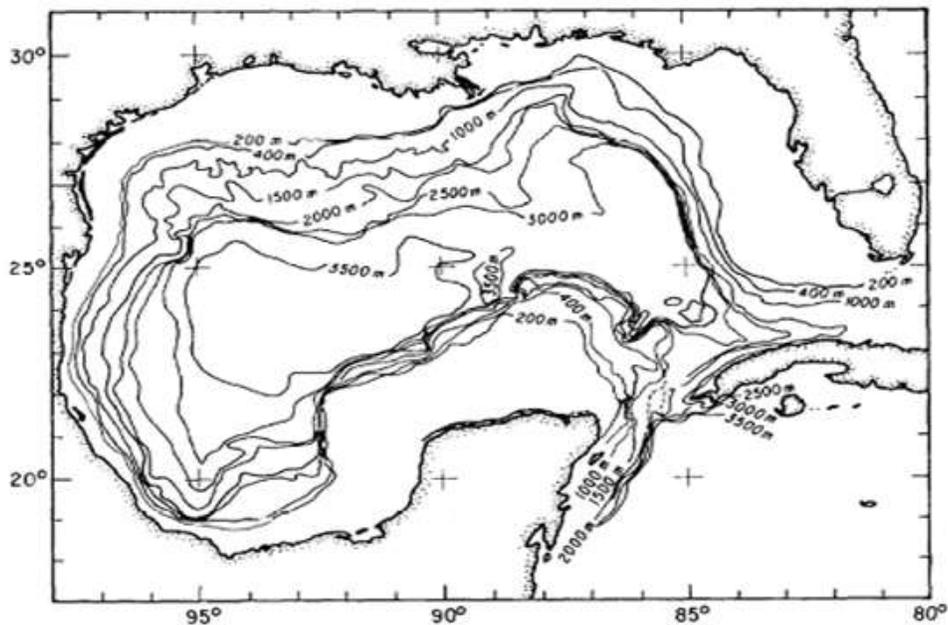


Figura 3a. Mapa Batimétrico del Golfo de México.

En la parte oriental del Golfo de México, en el paralelo 20, el talud continental es un escarpe entre las cotas de 2 400 y 3 600 m.b.n.m., bordeando la plataforma continental de la Península de Yucatán por el occidente y el norte. El pie del continente es una superficie de inclinación suave que sigue a profundidad al talud continental, con pendientes de 1.5° . La amplia extensión del Golfo de México, está rodeada por la planicie abisal de la cuenca de Sigsbee. Esta presenta profundidades máximas de 3 741 m y 3 735 m, con sedimentos pliocénicos, cuaternarios del tipo turbiditas y pelágicos (de Cserna, 1989).

2.5. Aspectos Meteorológicos.

2.5.1. Temperatura Del Aire.

La masa de aire que limita a la Bahía de Campeche, presenta un clima cálido subhúmedo con 53.5% y cálido húmedo 41%, una temperatura media anual de 23.5 °C, la temperatura máxima promedio es de alrededor de 32 °C y se presenta en los meses de abril y mayo; la temperatura mínima promedio es de 13 °C y se presenta en el mes de enero (INEGI, 2011).

2.5.2. Precipitación y Escurrimientos.

La estacionalidad climática meteorológica en las costas del golfo se caracteriza por tres periodos constantes que se traslapan de manera relativa: un periodo de secas de febrero a mayo: uno de lluvias de junio a octubre, con presencia de depresiones tropicales, y uno de frentes fríos o “nortes” de octubre a febrero. Con una precipitación anual que varía entre los 1500 y 2500 mm respectivamente.

Entre los ríos de mayor relevancia destacan los siguientes: Pánuco, Coatzacoalcos, Papaloapan, Grijalva-Usumacinta, Frontera, Champotón y Bravo. En este litoral se ubican los ríos más caudalosos (Grijalva-Usumacinta-Papaloapan). Teniendo una gran influencia en las corrientes al descargar los ríos aguas de muy baja salinidad, éstas entran en contacto con el agua de mar (1025 kg.m^3), la cual es más pesada debido al contenido de las sales. Lo que hace que el agua del río (1000 kg m^3) flote y, cuando está en movimiento, tienda a moverse hacia la derecha por el efecto de la fuerza de Coriolis. En la región sur del golfo, el Río Grijalva es el más importante de México. En la región de Tamaulipas y Veracruz, las corrientes inducidas por los ríos y las producidas por los vientos tienen la misma dirección durante el otoño e invierno. Convirtiéndola en una zona confluencia de corrientes costeras provenientes de la plataforma de Tamaulipas, Veracruz y de Campeche,

que tiene una importante influencia de ríos, en donde se observan importantes flujos de la plataforma hacia la zona oceánica.

El Banco de Campeche, tiene una fuerte influencia de los vientos y está caracterizada por una surgencia costera provocada por los vientos que soplan paralelos a la costa, hacia el oeste sureste. Aunque no está afectada por la descarga de los ríos, hay aportes de agua dulce del fondo marino. Las corrientes estacionales no cambian de dirección, pero se ven fuertemente afectadas por los nortes (INEGI, 2010).

2.5.3. Viento.

Los vientos son de gran importancia sobre la plataforma continental, impulsando corrientes predominantes a lo largo de la costa. En el oeste del Golfo de México, estas corrientes varían a lo largo del año, ya que los vientos cambian de dirección, siendo predominantemente del sureste durante el verano y del noreste en otoño e invierno (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003).

Los vientos en el golfo durante el verano tienen una dirección perpendicular sobre la plataforma de Tamaulipas y Veracruz. En promedio, el rotacional del viento es positivo en la región norte y noroeste del golfo y negativo en la región suroeste, de la Bahía de Campeche (Sturges, 1993; Vázquez de la Cerda, 1993). Estas características inducen a la formación de un giro anticiclónico en el noroeste y una corriente occidental de frontera sobre el talud continental y un giro ciclónico en la Bahía de Campeche.

Los vientos son de gran importancia en la mezcla vertical del golfo, en invierno los nortes y en el verano las tormentas tropicales y los huracanes, haciendo más profunda la capa de mezcla, incorporando así, una gran cantidad de nutrientes en la zona fótica.

Los vientos dominantes son las oleadas o rachas constantes de alisios que provienen del sector nororiental durante todo el año, generando olas con periodos típicos de entre cinco y siete segundos, cuyas crestas oscilan alrededor de 1.5 m de altura.

Los huracanes ocurren durante el verano y causan intensas tormentas cuyas trayectorias ciclónicas normalmente inciden sobre la costa noroccidental, afectando a menudo la Península de Yucatán y la plataforma continental adyacente. Las tormentas afectan menos en las costas Centro y Centro-Sur del Golfo.

Los fenómenos de los “nortes” se desarrollan normalmente entre octubre y marzo y cada año se presentan entre 15 y 20, con una duración de uno a cinco días. Los vientos frecuentes exceden los 40 Km/h y en ocasiones rebasan los 100 km/h.

2.5.4. Energía Aire-Mar.

La relación que existe océano-atmosfera, es conocida como el límite dinámico, sirviendo como el enlace del intercambio de energía calorífica entre la atmósfera y los océanos. Así como los océanos, la atmósfera terrestre juega un rol muy importante, debido al vasto fluido que cubre la tierra sólida (y líquida) subyacente. Debido a su dinámica, la atmósfera se encuentra siempre en movimiento, permitiéndole un contacto permanente con la superficie terrestre y con el agua de los océanos (Obeso-Nieblas, 2003). La gran relación que existe entre los procesos oceánicos y procesos atmosféricos, debido a que dependen cada uno de la física y química del otro (leyes mecánicas y la transmisión de calor) (Weihaupt, 1984).

La temperatura es una medida de la energía térmica adquirida por el océano, por lo tanto, la temperatura promedio de los océanos se mantiene constante, el calor ganado y el perdido deben estar balanceados en algún período (Brown *et al.*, 1995).

En la Bahía de Campeche y sus alrededores, la radiación máxima se da al finalizar el verano y la mínima al inicio del invierno.

2.6. Hidrología.

Durante un estudio hidrológico realizado en verano de 2001 en la Bahía de Campeche, se observó un calentamiento de las aguas superficiales del golfo alcanzado su mayor temperatura, aparentemente asociado a la latitud, alrededor de los 28°C en la costa nororiental (Fernández-Guiarte *et al.*, 1992), incrementándose a 27.7-28.9° C en el sector central y suroriental, respectivamente (Toledo-Ocampo, 1996). Los niveles de salinidad superficial muestran una distribución espacial general: ≈ 32 ups en la costa norte y hasta ≈ 36 ups en el Banco de Campeche (De la Lanza-Espino, 2001).

En invierno en la costa nororiental existe un gradiente de temperaturas que varían de los 19.5 a 22.5° C, incrementan en la porción central y respectivamente, en la costa nororiental; se incrementan en la porción central y costa oriental de Yucatán hasta los 24°C. En las aguas superficiales de la costa del Mar Caribe ascienden a 25 y 25.5°C (Fernández-Eguiarte *et al.*, 1992). En esta misma época la salinidad se distribuye entre un mínimo de 31 ups en el sector septentrional del golfo, hasta un máximo de 36.68 ups frente a las costas de Campeche (Toledo-Ocampo, 1996).

2.6.1. Corrientes.

Las corrientes reportadas en estudios realizados en el verano de 1997 en la Bahía de Campeche, se midieron a partir de datos de correntómetros en cuatro anclajes del 1 marzo al 17 de junio del mismo año. Los datos fueron filtrados y transformados al dominio de la frecuencia mediante la transformada rápida de

Fourier. Los resultados mostraron que las corrientes más intensas se presentan en la parte este de la bahía, con una dominancia de la componente este-oeste y dirección predominante paralela a la costa. La amplitud de estas corrientes de marea fue pequeña comparada con la amplitud de las corrientes submareales. Durante el periodo de estudio, se observaron varios episodios de corrientes inerciales. Las corrientes sub-superficiales no mostraron alta relación con las superficiales y se observó un desfase importante, indicando el modo baroclínico de las corrientes inerciales (Expósito-Díaz *et al.*, 2009). Zavala-Hidalgo *et al.* (2003), obtuvieron por medio de un modelo numérico de alta definición la circulación temporal en la plataforma oeste del Golfo de México y reportaron una circulación de norte a sur en la región occidental del golfo, mientras en la costa oriental una corriente de este a oeste, generando una importante zona de convergencia en la región sur de la bahía (Fig. 4).

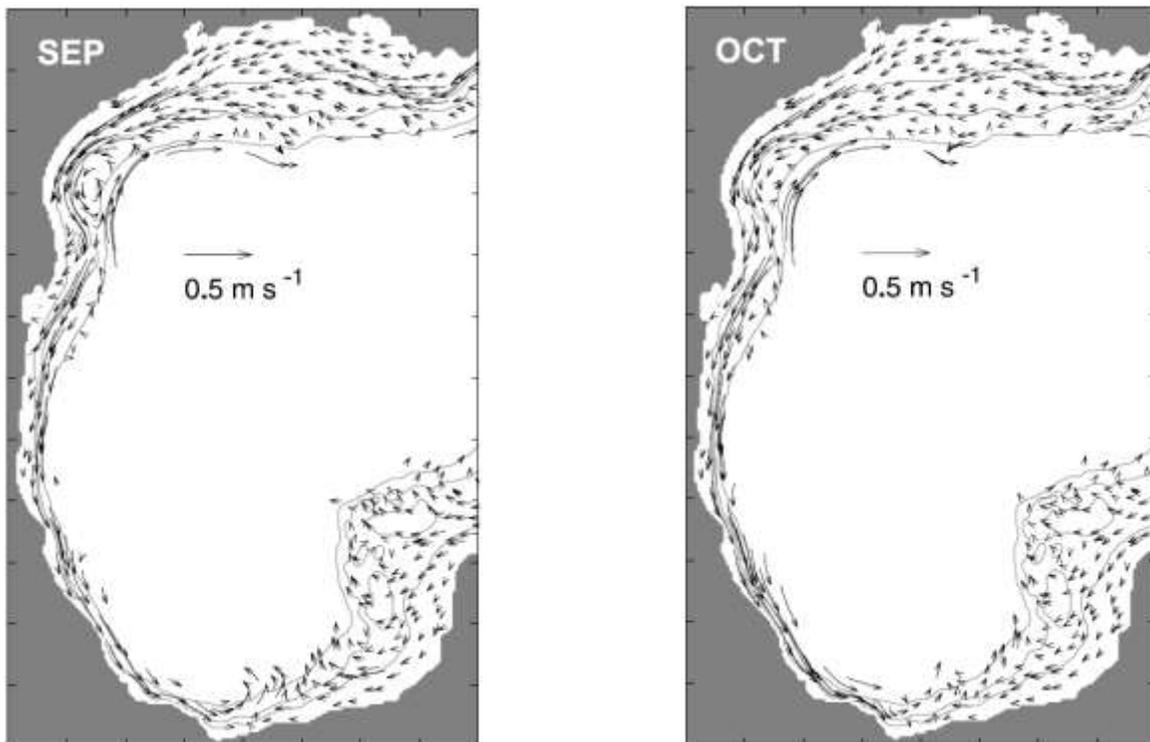


Figura 4. Patrón de circulación de las corrientes superficiales (septiembre-octubre) a lo largo de la plataforma occidental del Golfo de México.

2.6.2. Mareas.

Las mareas en el Golfo de México son el resultado del forzamiento indirecto de las oscilaciones de marea en el Océano Atlántico y del forzamiento astronómico directo sobre él. Se ha determinado que la respuesta del Golfo de México a la marea semidiurna (M_2) no presenta resonancia (Hansen, 1974) y que las amplitudes típicas para esta cuenca son del orden de 1 cm en las regiones profundas, de 7 a 9 cm en el margen occidental y de 17 a 33 cm para las costas localizadas sobre las amplias plataformas continentales.

2.6.3. Oleaje.

Según Lankford (1997), existen tres tipos de régimen de oleaje que tiene lugar en el Golfo de México y Mar Caribe: a) olas y marejadas de tormenta asociadas con ciclones tropicales; b) olas y marejadas de tormenta con frentes fríos conocidos en México como “nortes”; c) olas y marejadas generadas dentro del límite de la tirada de viento o fetch en la superficie del golfo. De esta forma, el oleaje incide predominantemente del este-noroeste con una frecuencia de un poco más del 60% del total anual.

III. MÉTODOS Y MATERIALES.

3.1. Imágenes de satélite.

Las primeras imágenes tomadas desde cohetes espaciales dieron el inicio de la percepción remota espacial dando como resultado una herramienta fundamental en la investigación marina. Dichas reproducciones fueron parte del programa espacial de los Estados Unidos iniciado en 1946 (Lowman, 1965), pero fue hasta los programas “Gemini” y “Apolo”, donde se obtuvieron un gran número de fotografías multispectrales de la superficie oceánica. Pero no fue hasta los 60’s con la puesta en órbita del Programa de Observaciones de Satélite por Infrarrojo (TIROS), cuando el primer satélite meteorológico TIROS-N, proporcionó la gran capacidad de obtención sistemática de imágenes para el estudio de la atmósfera, continentes y océanos (IOCCG, 1999).

Las técnicas de percepción remota de la superficie del océano han sido ampliamente utilizadas para identificar y evaluar la evolución de fenómenos espacio-temporales en los océanos, con una mayor resolución espacial, espectral y temporal, con mayor disponibilidad y bajo costo, con respecto a la obtenida por medio de tecnología convencional utilizada en barcos, boyas e inclusive aviones (Shirasago-German, 1996). Las imágenes de infrarrojo, visible y radar, se usan ampliamente con el objetivo de estimar la Temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofilas y vientos sobre la superficie del mar (Gaxiola-Castro & Müller-Karger, 1998).

3.2. Metodología de para el trabajo de gabinete.

Para analizar la circulación superficial de la región a la hora de detectar estructuras de mesoescala se obtuvieron en el Instituto de Geografía de la UNAM (Universidad Autónoma de México), 61 imágenes diarias y 12 imágenes promediadas de TSM, ocho imágenes promediadas de Clorofila “a”, con una resolución espacial de 1.1, 4 y 9 Km respectivamente, para el período septiembre – octubre de 1999, así como 18 imágenes SAR suministradas por la Agencia Espacial Europea del 28 de septiembre y del 7 al 14 de octubre de 1999, con una resolución espacial de 10 metros.

La información anterior fue complementada con datos de vectores de viento provenientes del sensor QuikSCAT, con una resolución espacial de 25 Km obtenidos del portal de Internet de PO.DAAC (Physical Oceanography. Distributed Active Archive Center).

El análisis de las imágenes se realizó con el sistema de procesamientos de imágenes e información, Er Mapper 7.01, con el que se realizaron las tareas: visualización de Imágenes, correcciones geométricas y georreferenciación. Además, permitió relacionarlas con datos de TSM, clorofila “a” y archivos vectoriales de vientos.

3.3. Sensores Pasivos

3.3.1. Imágenes SeaWIFS.

Se obtuvieron Imágenes de promedios semanales de 9 Km (L3), las cuales fueron manipuladas con el programa de visualización de datos satelitales WIM, el cual permitió, hacer los recortes necesarios y visualizar diferentes tablas de colores para tener una mayor claridad visual a la hora de identificar diferentes fenómenos superficiales en la región de estudio.

3.3.2. Imágenes NOAA-AVHRR.

Las imágenes NOAA son del tipo HRPT (High Resolution Picture Transmission) las cuales tuvieron que ser corregidas geográficamente, para posteriormente analizar las estructuras oceanográficas recurrentes y de entre ellas se seleccionaron una serie de imágenes libres de nubosidad en ciertas áreas de la región de estudio, que permitieron estudiar los fenómenos existentes en ellas.

3.3.3. Procesamiento de Imágenes NOAA-AVHRR y SeaWIFS.

Las imágenes NOAA fueron procesadas con el procesador de imágenes satelitales ER Mapper 7.01 que se caracteriza principalmente por soportar una gran cantidad de formatos de lectura. Lo cual permitió abrir los archivos HDF, visualizar, mejorar, georreferenciar, integrar e imprimir el resultado del tratamiento.

A las imágenes obtenidas a través de Facultad de Geografía de la UNAM, con una resolución espacial de 1.1 Km en el nadir, se les realizó el siguiente tratamiento; primero se aplicó algoritmo que básicamente nos permitió realizar algunas funciones

que incluyen la transformación de datos, filtrado, corrección geométrica, herramientas de análisis espectral y tablas de visualización de color. Debido a que dichas imágenes se encuentran en escala de grises, se les aplicó un cambio de tabla de visualización para poder discernir los fenómenos presentes. El siguiente paso fue transformar el histograma para poder variar los diferentes valores y poder visualizar de una manera más clara cada uno de los fenómenos que inicialmente no se podían discernir, después se aplicó un escaterograma con el objetivo de visualizar los valores de datos de una banda contra cada uno de los de otras bandas para poder graficar visualmente. El escaterograma básicamente nos permitió escoger entre dos bandas de la imagen para comparar una banda del eje X y otra para el Y.

Finalmente, se realizó la georreferenciación de las imágenes, que incluye cualquier cambio en la posición que ocupan los píxeles en la imagen, contrario a una corrección radiométrica, ya que aquí no se pretende modificar su número digital (ND) de los píxeles, sino su posición, sus coordenadas. Esto suele hacer para corregir cartográficamente una imagen o cuando se desea superponer dos o más imágenes.

3.4. Sensores Activos.

3.4.1. Imágenes SAR.

Las imágenes SAR.PRI (Precision Image) del satélite ERS-2 utilizadas en el presente trabajo son del tipo HDF (Hierarchical Data Format), grabadas en CD's y con las siguientes características: el número de píxeles por línea es de 5006, el número de líneas es de 6300, su tamaño de pixel es de 20 m, en rango y 15.9 en acimut, el número de bits por pixel es de 16 (2 bytes), una cobertura de 100 Km y por último cada imagen cuenta con un total de 63 Mbytes aproximadamente.

Asimismo, se aplicaron en algunas imágenes SAR correcciones de iluminación por la visión oblicua del satélite, a partir de la distancia "slant range", así como de reducción de "speckle" mediante un filtro adaptativo.

3.4.2. Procesamiento de Imágenes SAR.

Las imágenes SAR fueron procesadas de igual forma con el procesador de imágenes ER Mapper 7.01, usado para mostrar y mejorar imágenes de datos raster. Las imágenes SAR también tuvieron que ser procesadas para su mejoramiento, lo cual incluyó una gran variedad de filtros para el suavizamiento, incremento del contraste y el brillo, etc., dichos filtros fueron seleccionados a partir de las librerías que brinda el sistema y que incluye aquellos para realizar promedios, mejoramiento de ejes, operaciones geofísicas, eliminación de ruidos, etc., una vez eliminado el ruido de las imágenes se procedió de igual forma a georreferenciar dichas imágenes.

3.4.3. Datos QuikSCAT.

Se obtuvieron datos de viento del satélite QuikSCAT (QS) del nivel 3 por medio del portal de internet <http://podaac.jpl.nasa.gov/QuikSCAT>. El periodo de observación del QS cubrió cada uno de los días de la época de estudio y gran parte de la zona de la Bahía de Campeche. Las mediciones del satélite consisten en datos de viento diarios a 10 m sobre el nivel del mar y están distribuidos sobre una malla uniforme de 0.250 x 0.250 (~25 Km). El conjunto de datos Nivel 3, está constituido por valores raster como: la velocidad del viento escalar, meridional y zonal de los componentes de la velocidad del viento, la velocidad del viento al cuadrado y la hora determinada en la fracción del día. Los datos se obtienen en mapas separados, paso ascendente y paso descendente. Es importante mencionar que el QS tiene limitaciones cerca de la línea de costa, debido a errores de contaminación por su cercanía al continente y otros factores de variaciones de pequeña escala (*Pickett et al., 2003*), por lo que no existe información en una franja de ~30 Km cercana a la costa.

El esfuerzo del viento ($N\ m^{-2}$) para cada punto de la malla de QS fue procesó por medio de un software con lenguaje de programación desarrollado en la plataforma del lenguaje C++ para Windows, con el cual se elaboraron los vectores de vientos derivados de los datos Level-3 del escaterómetro, posteriormente se graficaron con el software Surfer versión 9.0

IV. RESULTADOS.

4.1. Temperatura superficial del mar- NOAA- AVHRR y QuikSCAT.

En primer lugar mostraremos una serie de imágenes de temperatura superficial del mar (TSM) correspondientes a la primera quincena del mes de septiembre, donde apreciamos una serie de estructuras características de la zona: La corriente costera en la parte occidente del Golfo de México y la surgencia al norte del Banco de Campeche.

En la Figura 5, de la imagen NOAA-AVHRR del 03 de septiembre de 1999, observamos en la región costera de Tamaulipas y Veracruz una franja de menor temperatura (27 °C), mientras que, en la región occidental y oriental de la Bahía de Campeche se aprecia una gran nubosidad. Por otro lado, al norte de la Península de Yucatán las temperaturas oscilaron alrededor de los 25 °C y 26 °C. Los vientos (Fig. 6), fueron provenientes del noroeste durante el día, con velocidades entre los 10 y 15 m/s en la región central de la bahía (Ver anexo 1).

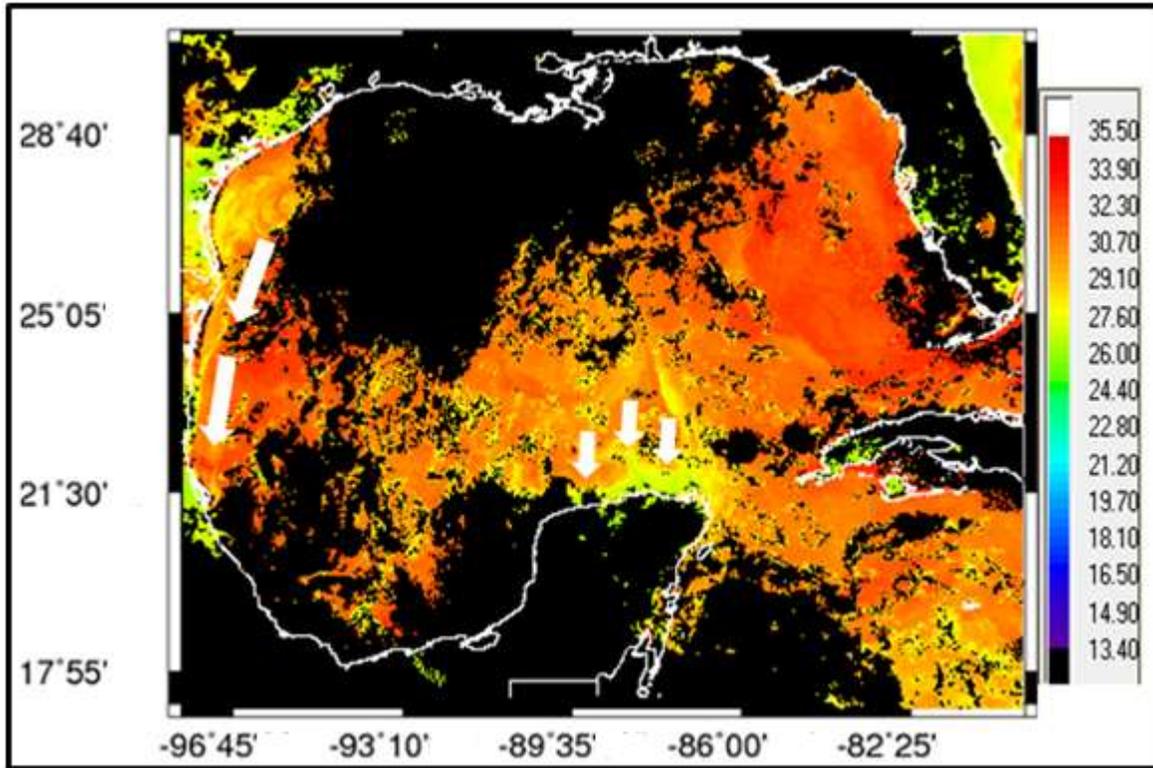


Figura 5. Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 03 de septiembre de 1999. Sensor AVHRR.

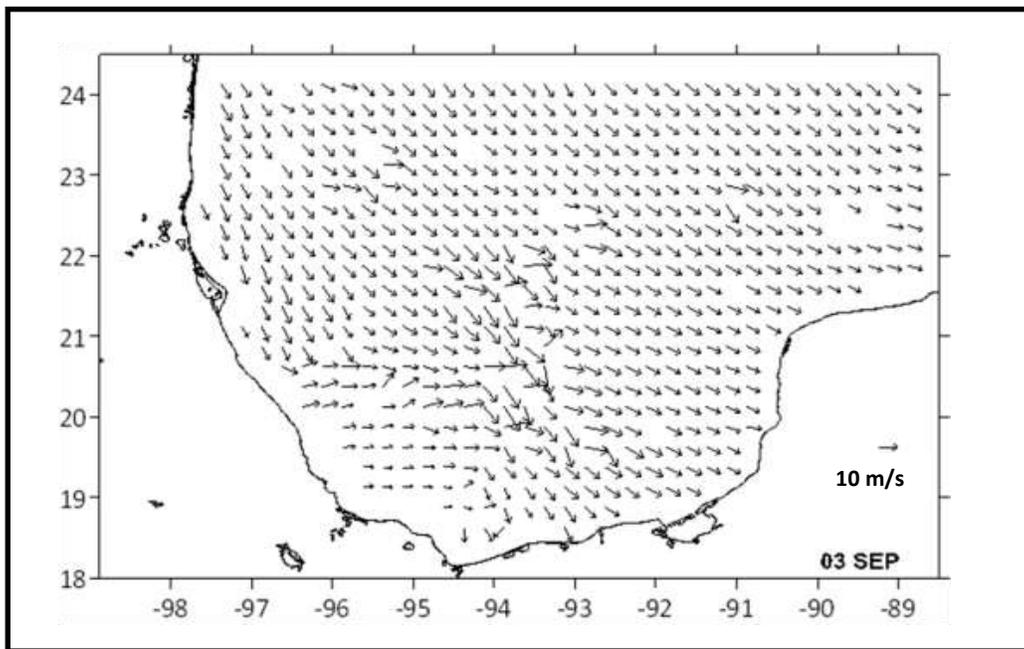


Figura 6. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, 3 de septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.

En la Figura 7, del 11 de septiembre de 1999, prevalece en la costa occidental a la altura de Tamaulipas y Veracruz una franja costera con una temperatura alrededor de los 27 °C, la mayor parte de la bahía se encuentra cubierta por nubes, en la región occidental podemos apreciar al parecer el inicio de un movimiento de tipo ciclónico. En la Figura 8, se muestran los vientos del 11 de septiembre, en la parte oriental y central de la bahía los vientos fueron del noreste y este, mientras que en la costa norte veracruzana los vientos fueron del sureste, produciendo una rotación anticiclónica (vorticidad positiva) próxima a los 22 °N, 93.5 °W (Ver Anexo 2).

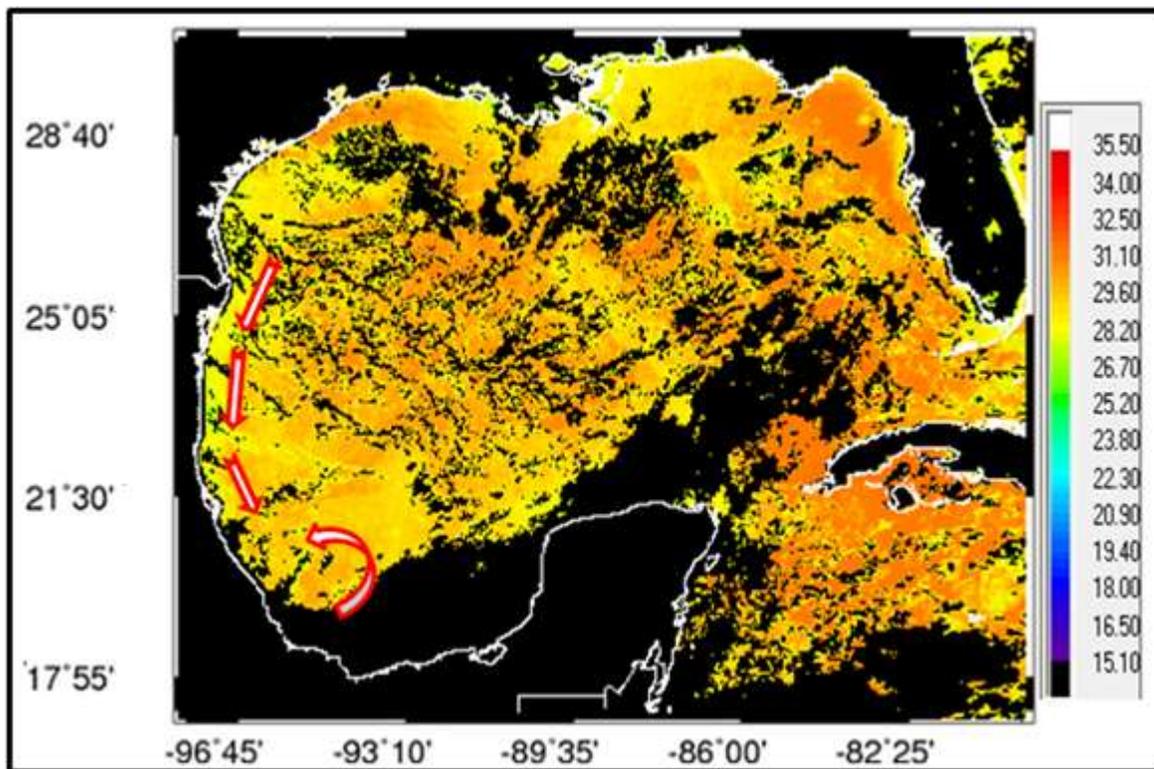


Figura 7. Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 11 de septiembre de 1999. Sensor AVHRR.

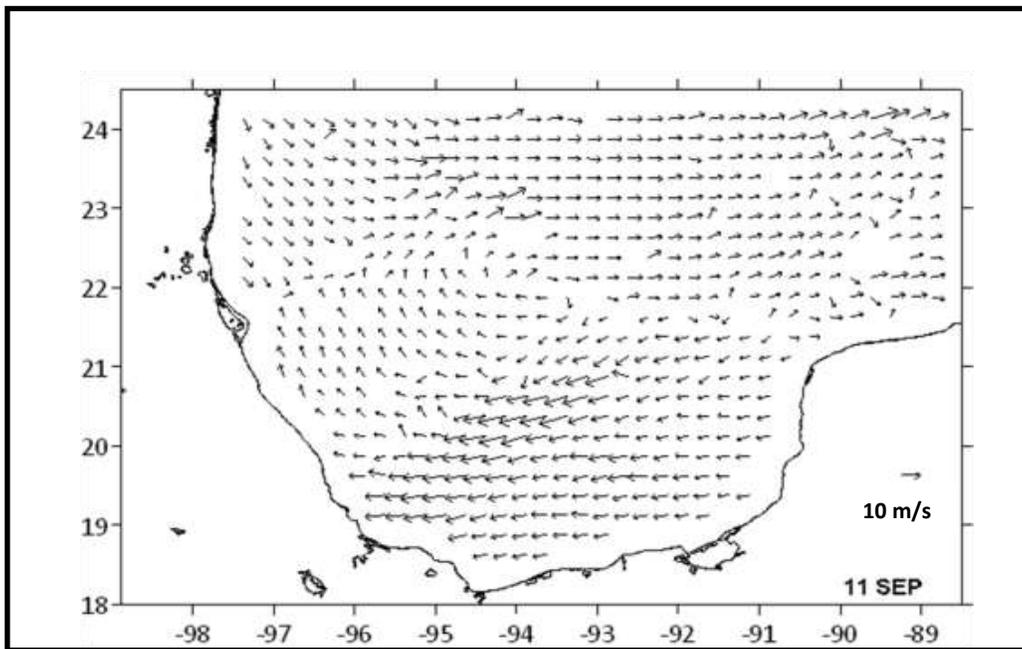


Figura 8. Campos de viento en la Bahía de Campeche, 11 de Septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.

En la imagen del 16 de septiembre de 1999 (Fig. 9), continúa la presencia de una región costera de menor temperatura en la porción occidental frente a las costas de Tamaulipas y Veracruz, mientras que en la región sur de la bahía se aprecia una disminución de la temperatura. Por otro lado, en el Banco de Campeche se registraron temperaturas alrededor de los 26 °C. En la figura 10 se muestran los vectores de viento del 16 de septiembre, en la parte oriental de la bahía los vientos fueron del suroeste a lo largo de los 20 °N y 21 °N, lamentablemente en la parte occidental no se contó con datos (Ver anexo 2).

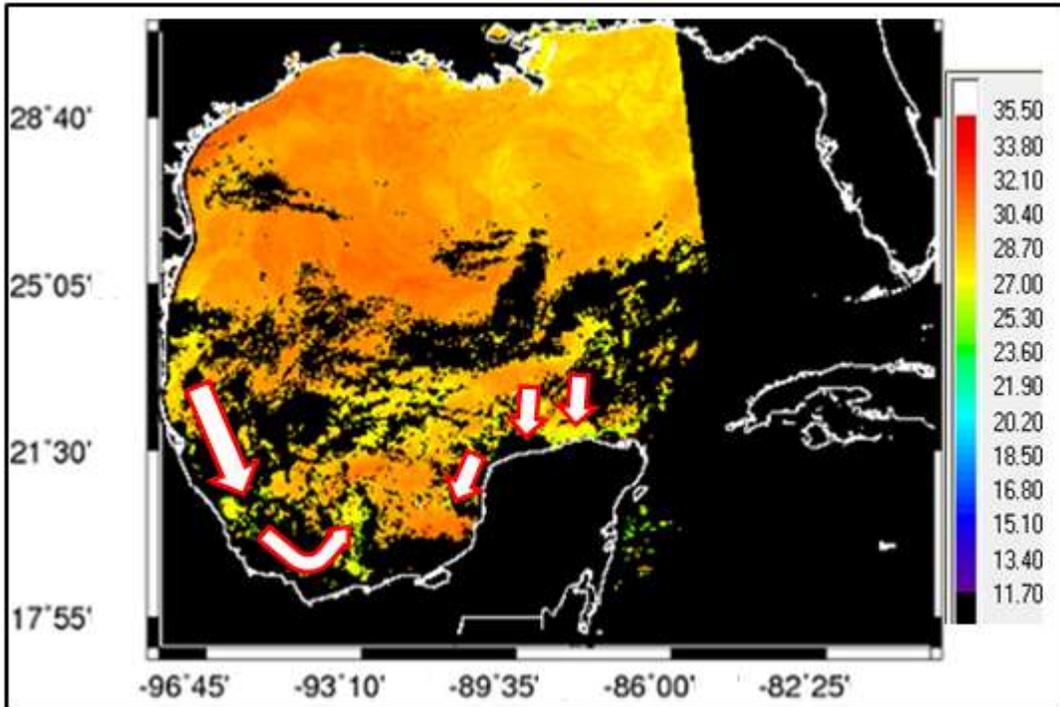


Figura 9. Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 16 de septiembre de 1999. Sensor AVHRR.

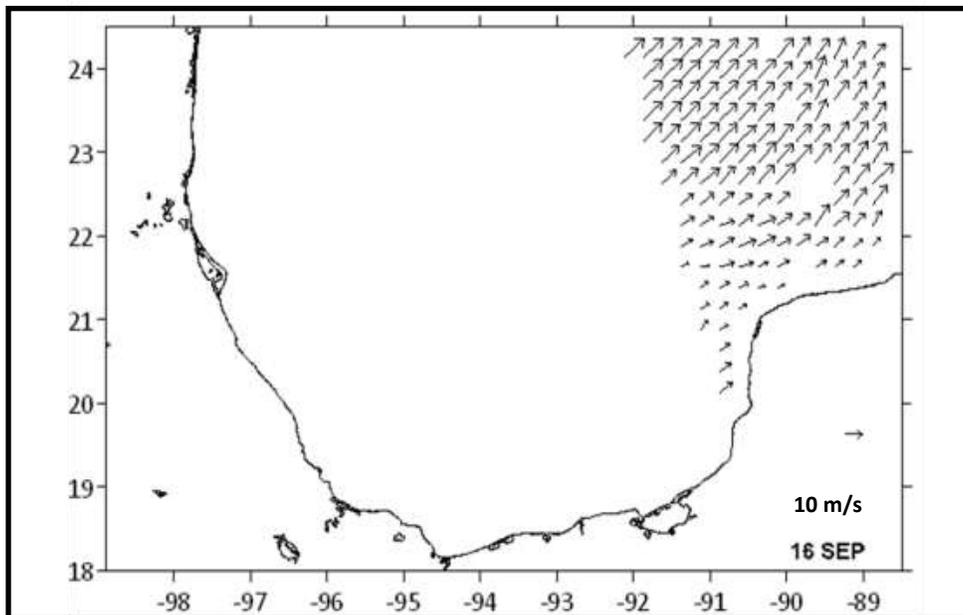


Figura 10. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, 16 de septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.

En la Figura 11, de la imagen NOAA-AVHRR del 20 de septiembre de 1999, observamos en toda la costa occidental una franja con una temperatura alrededor de los 28 °C, mientras que en la región oriental y sur de la bahía se aprecia una franja con temperaturas entre 27 °C y 28 °C, con la precedencia de una estructura al parecer tipo ciclónica en la porción occidental de la bahía frente las costas de Veracruz. Por otro lado, en el Banco de Campeche se registraron las menores temperaturas en esta imagen. En la mayor parte de la bahía no se registraron datos de viento, excepto en el Escarpe de Campeche, procedentes del sureste (Fig. 12, Anexo 3).

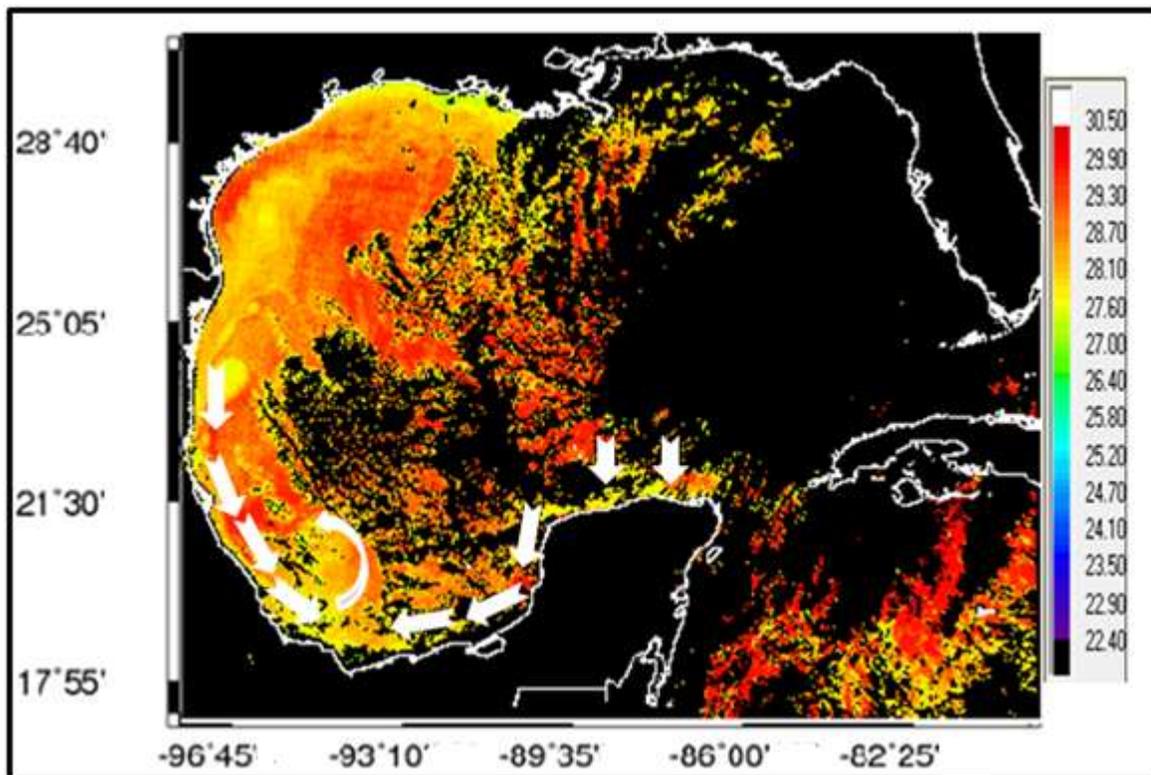


Figura 11. Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 20 de septiembre de 1999. Sensor AVHRR.

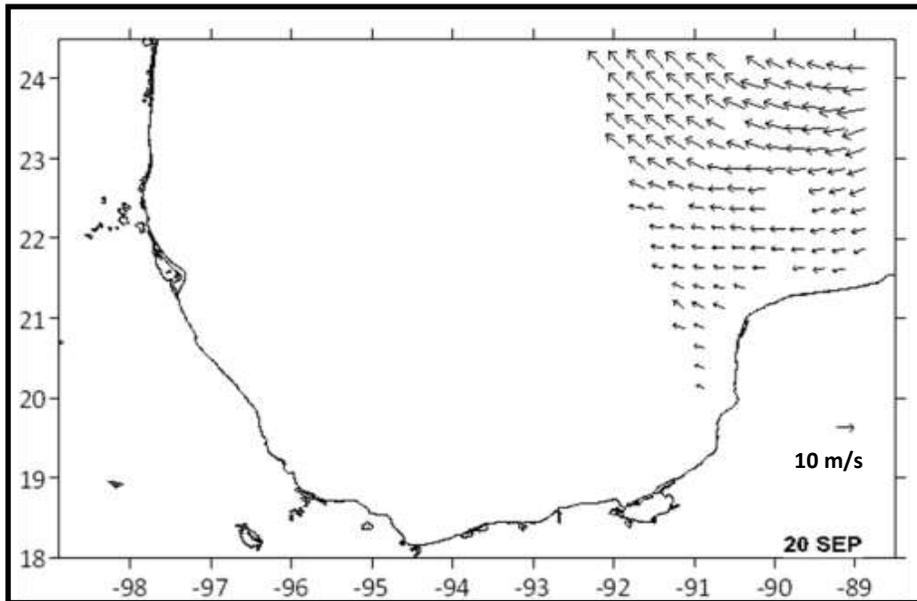


Figura 12. Campo de vientos en Bahía de la Campeche, 20 de septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.

En la imagen NOAA-AVHRR del 24 de septiembre (Fig. 13), en la costa occidental continúa una franja costera con una temperatura alrededor de los 27 °C y en la zona central de la bahía se observa al parecer la presencia de una estructura ciclónica. Destaca la presencia de nubes frente a la costa sur de Veracruz, Tabasco y Campeche. En esta fecha el sensor QuikSCAT no registro datos de viento en el área de estudio (Fig.14, Anexo 3 y 4).

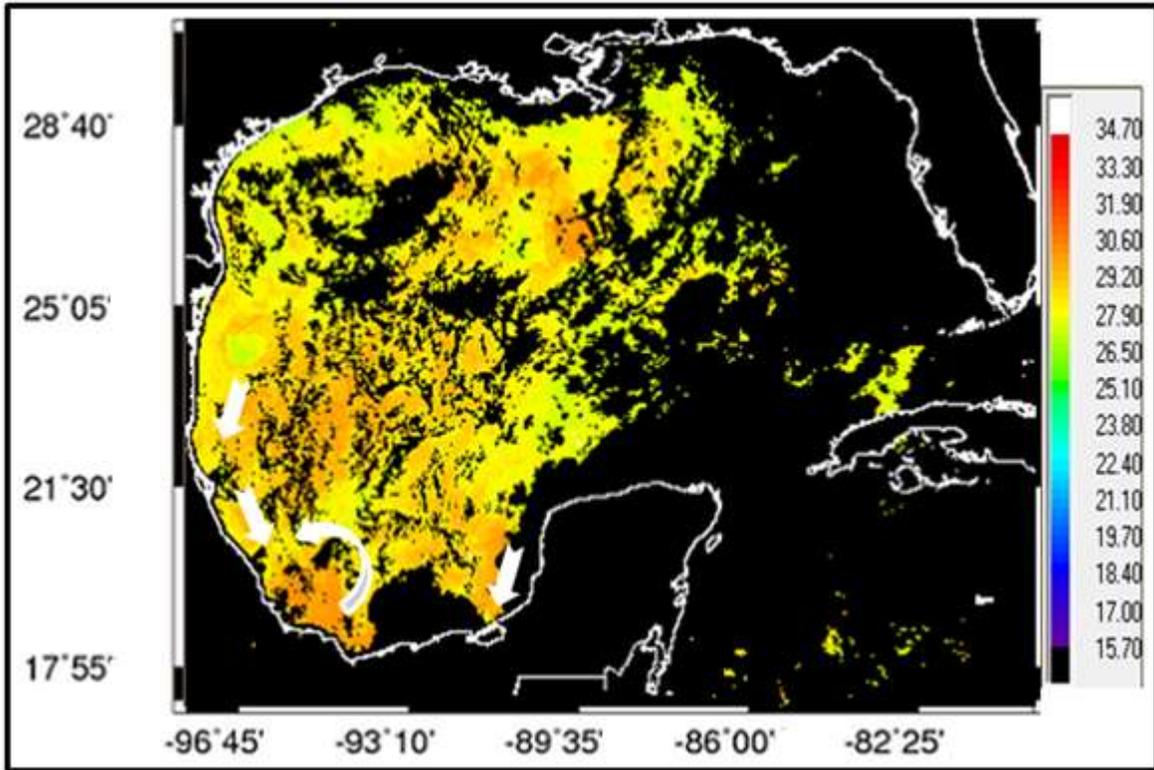


Figura 13. Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 24 de septiembre de 1999. Sensor AVHRR.

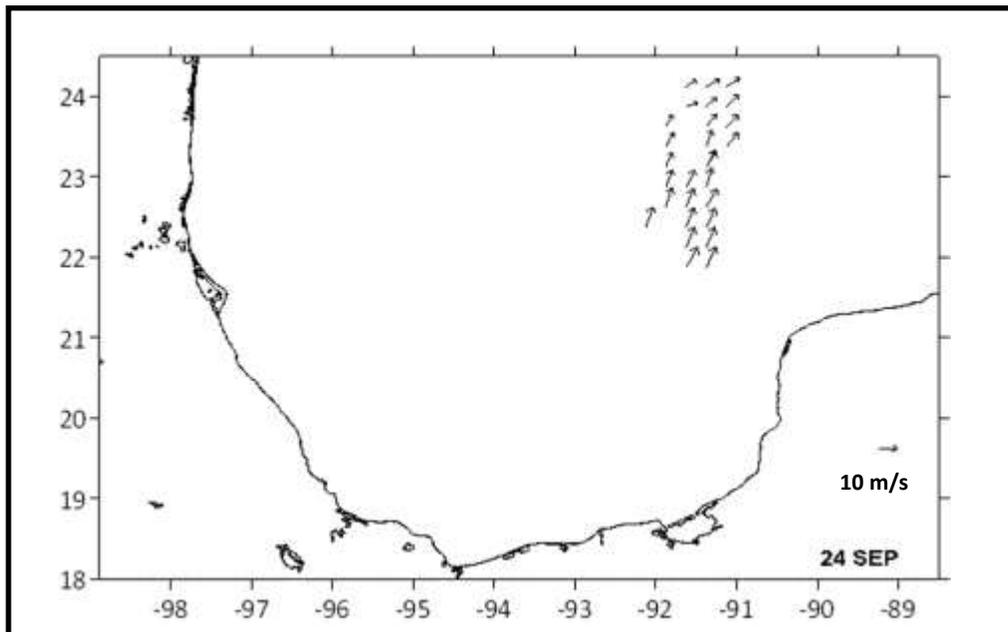


Figura 14. Campo de vientos en Bahía de la Campeche, 24 de septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.

En la imagen del 11 de octubre de 1999 del sensor NOAA-AVHRR (Fig.15) podemos observar aguas con una temperatura de 27.2 °C en las costas de Campeche y Tabasco, rasgo que podemos considerar típico para esta región, por otro lado, en la zona profunda de la porción occidental de la bahía se aprecia una temperatura de 27 °C. Por último, frente a la costa sur de Veracruz se registró un filamento con una temperatura de 26 °C. La figura 16, del 11 de octubre presento vientos del oeste que superan los 10 m/s en la parte occidental, en la región central frente a las costas veracruzanas en 18.5 °N, 94 °W (Ver anexo 5 y 6).

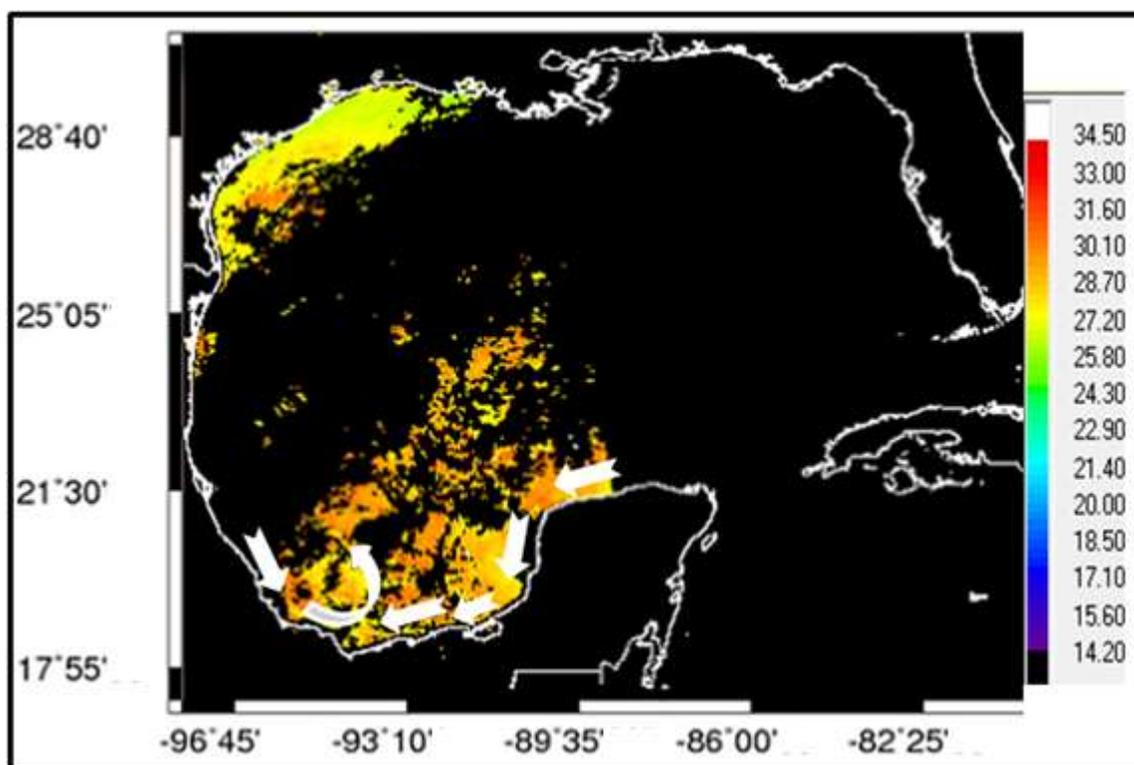


Figura 15. Temperatura superficial del mar en Bahía de Campeche, 11 de octubre de 1999. Sensor AVHRR.

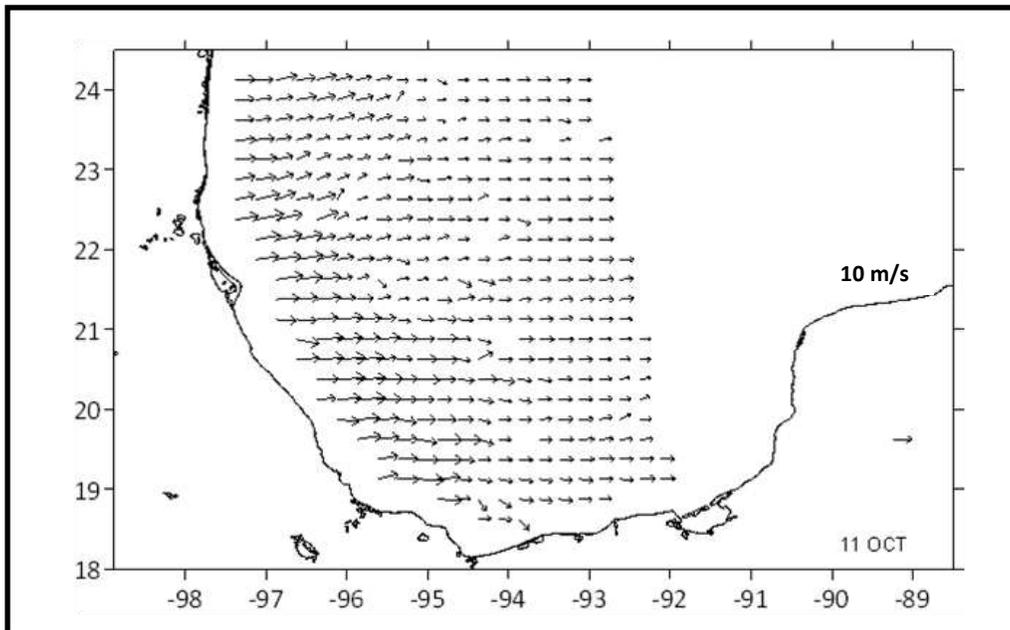


Figura 16. Campos de vientos en Bahía de la Campeche, 11 de octubre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.

4.1.1. Promedios de Temperatura superficial del mar del mes de septiembre.

Como hemos indicado, pretendemos comprobar que todas las estructuras oceanográficas observadas en las imágenes diarias de TSM, las podemos encontrar en las imágenes promediadas. Las imágenes seleccionadas para este estudio, son promedios con intervalos de dos días finalizando los días 23, 27 y 28 de septiembre de 1999 (Fig. 17, 18 y 19).

El primer rasgo distintivo que podemos apreciar en las imágenes promediadas del 23 de septiembre de 1999, es la presencia de una franja de mayor temperatura frente a la costa occidental del golfo rasgo que podemos considerar típico para la región. Con respecto a la costa veracruzana, frente a la desembocadura del río

Papaloapan, podemos observar en las imágenes del 27 y 28 de septiembre, la presencia de filamentos con una temperatura de 32 °C, mientras que en las costas de Campeche y Tabasco se aprecian en la región costera una temperatura alrededor de 28 °C. Finalmente para el 28 de septiembre, se registró una disminución de la temperatura en la bahía, destacando la presencia de una región con temperaturas entre los 26 °C y 27 °C en la parte profunda de la región occidental de la bahía. En la figura 20, se muestran los vientos del 21 al 28 de septiembre de 1999, en donde el esfuerzo medio del viento en la Bahía de Campeche fue positivo, del 21 al 23 de septiembre. Para la región central y occidental los vientos fueron persistentes del sureste y este con una zona de divergencia frente a las costas de Tabasco que generó una estructura de tipo anticiclónica. Para el 24 de septiembre no existen registros, mientras que el día 25 y 26 los vientos presentaron una dirección noreste, los cuales cambian su dirección para el oeste para el día 27 de septiembre y finalmente el 28 de septiembre no se registraron datos en la zona de estudio, excepto frente a las costas de Campeche con una dirección del noroeste (Ver anexo 3 y 4).

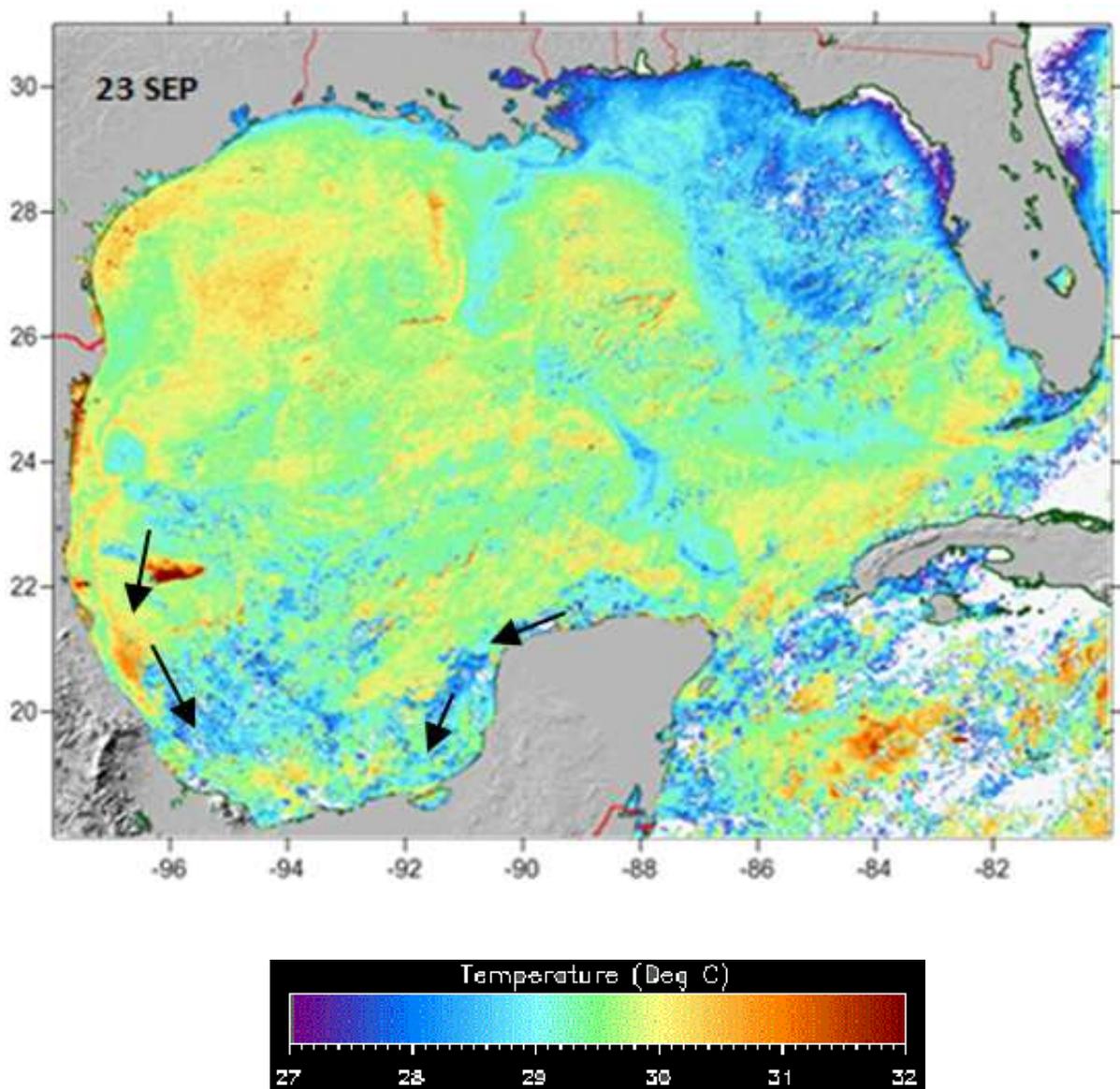


Figura 17. Temperatura superficial del mar (promedio) en la Bahía de Campeche, 23 de septiembre de 1999, con intervalos de 2 días. Sensor AVHRR.

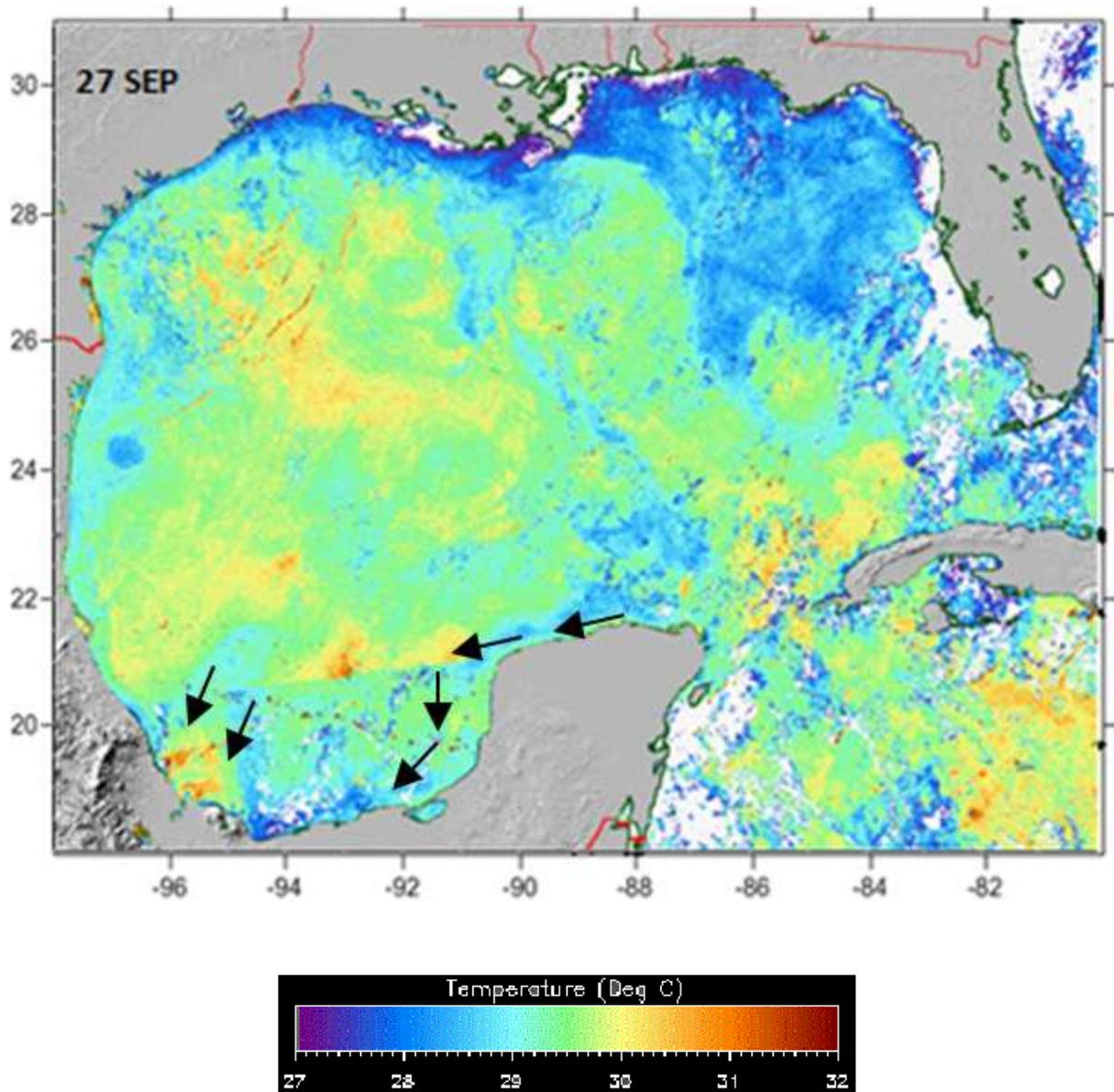


Figura 18. Temperatura superficial del mar (promedio) en la Bahía de Campeche, 27 de septiembre de 1999, con intervalos de 2 días. Sensor AVHRR.

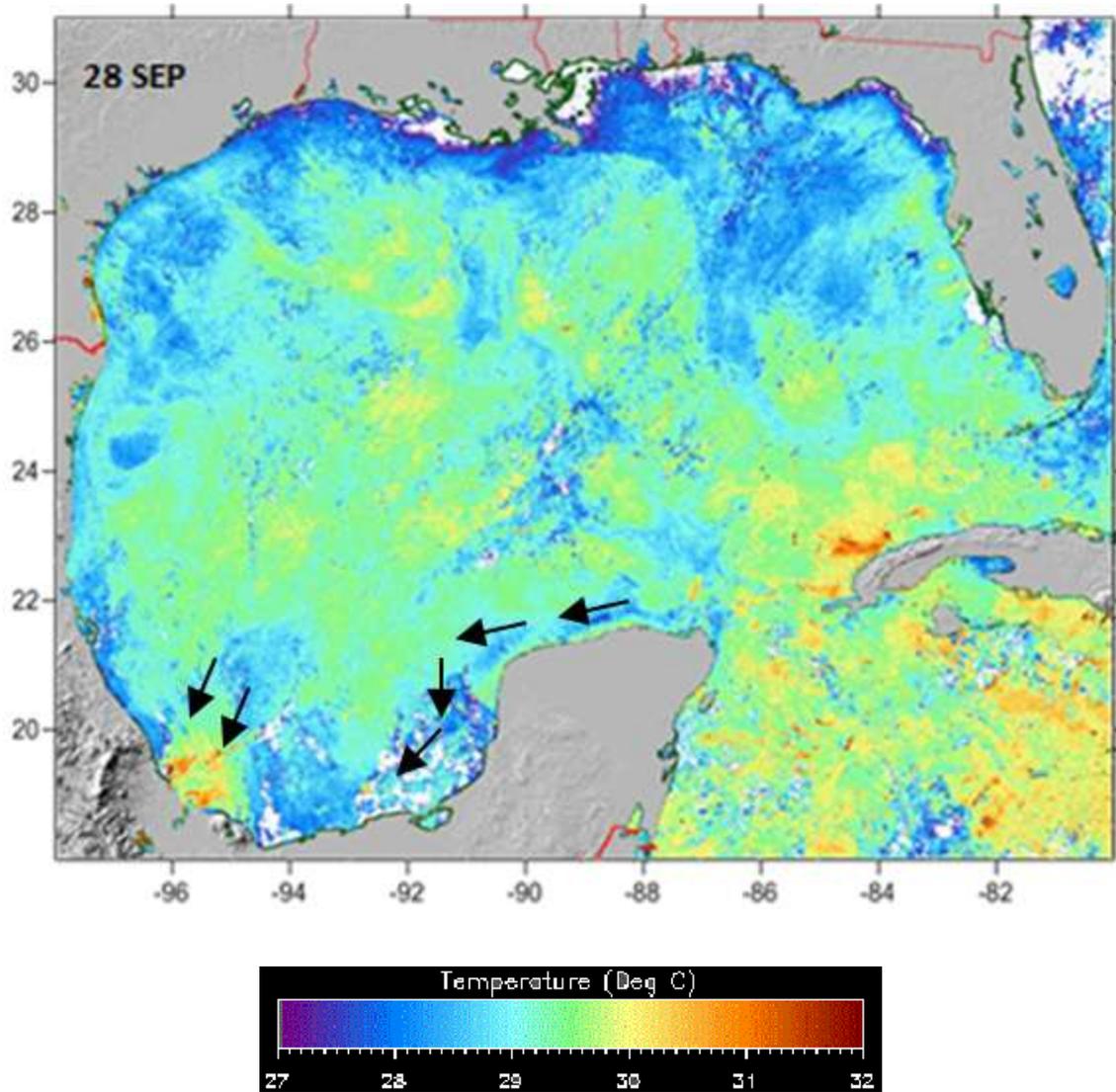


Figura 19. Temperatura superficial del mar (promedio) en la Bahía de Campeche, 28 de septiembre de 1999, con intervalos de 2 días. Sensor AVHRR.

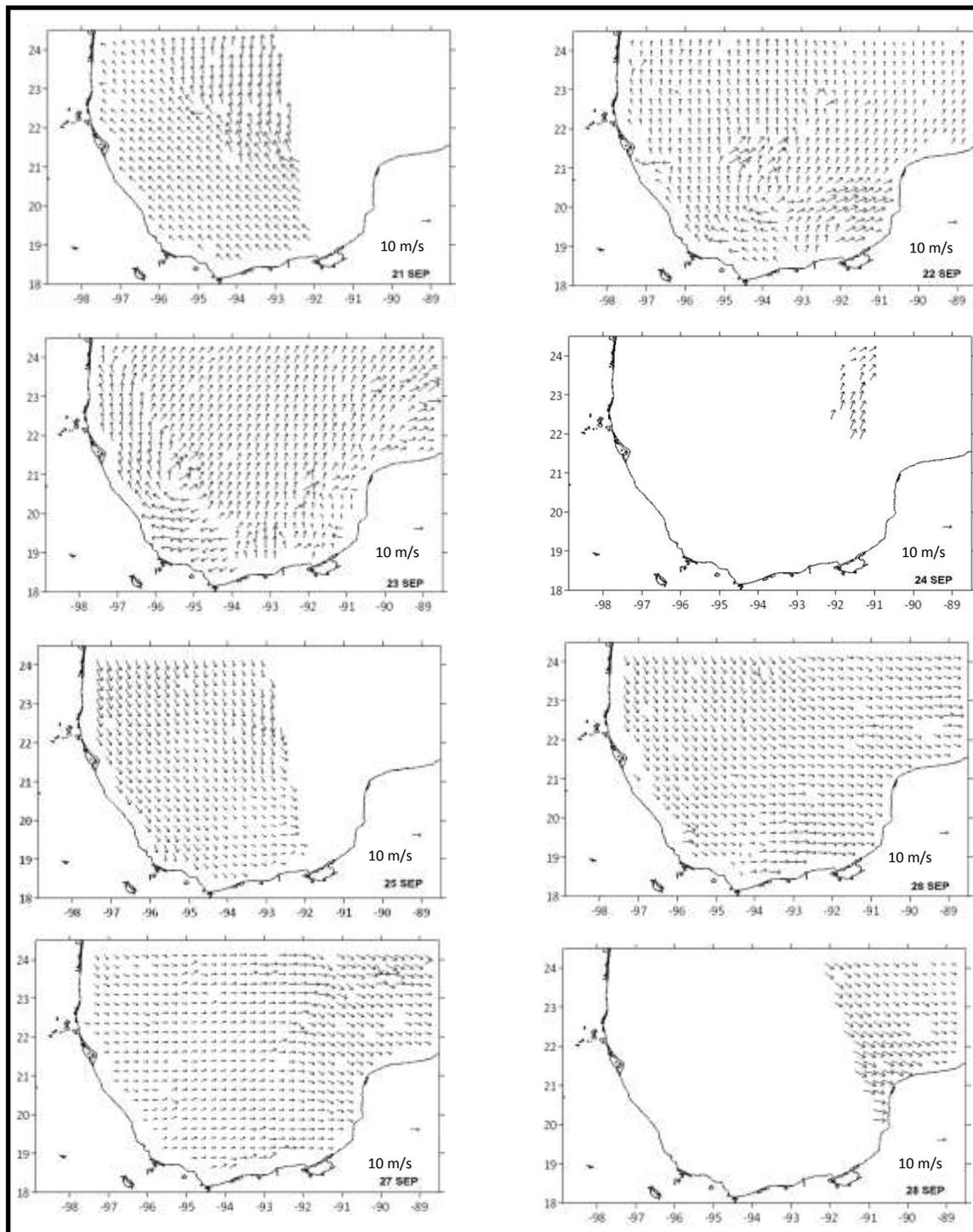


Figura 20. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 21 al 28 de septiembre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.

4.1.2. Promedios de temperatura superficial del mar del mes de octubre.

En este apartado se describe el consecutivo de imágenes de las figuras 21, 22, 23 (1, 2, 28, 29, 30 y 31 octubre de 1999), con un intervalo de tiempo de 6 días. Adicionalmente se describen también los datos de viento del 26 de septiembre al 2 de octubre (Fig. 24) y del 22 al 31 de octubre (Fig. 25) proporcionados por el PODDACT (Ver anexos 5 al 8).

En este periodo podemos observar la presencia de una franja costera de menor temperatura, bien definida a lo largo de la costa de Veracruz y Tabasco. En cuanto a las costas de Campeche y Tabasco se aprecia una franja de mayor temperatura en relación a la plataforma occidental. También se aprecia la presencia de dos filamentos, uno frente la desembocadura del Río Papaloapan en las costas de Veracruz y otro ubicado frente a las costas de Campeche y Tabasco, con un aumento importante en la temperatura. Es de resaltar una región con menor temperatura en la parte profunda de la bahía frente a las costas de Veracruz y Tabasco. Entre tanto, en las costas de la Península de Yucatán se aprecia una franja con temperaturas mínimas. Los datos de viento del 26 de septiembre al 02 de octubre de 1999 (Fig. 24), fueron procedentes del noroeste y suroeste. Para el 1 de octubre los vientos presentaron una divergencia en la parte alrededor de los 19°N , 94°W , generando una circulación anticiclónica del viento y con un rotacional positivo en la región occidental, mientras que en la zona oriental los vientos fueron procedentes del oeste. En cuanto al periodo del 22 al 31 de octubre (Fig. 25), el 22 de octubre, los vientos fueron procedentes del sur en la región del Banco de Campeche, mientras que en el resto de la bahía no se obtuvieron datos. El 23 de octubre, los vientos fueron del sureste en la región profunda de la bahía, este patrón de viento fue observado también el 24 de octubre, entre tanto, el 25 de octubre, los vientos fueron procedentes del sureste en la región occidental, mientras que la costa de Campeche observamos vientos del suroeste que generó una zona de divergencia. Para el 26 de octubre, no se cuenta con datos en la región de estudio excepto en el Banco de Campeche, donde los vientos fueron del suroeste. En los días 28 y 29 de

octubre, los vientos fueron del noroeste en la parte occidental y en la región oriental presentaron una dirección oeste, en cuanto al 30 de octubre solamente se obtuvieron datos frente a la costa de Campeche con una dirección del oeste. Por último, el 31 de octubre los vientos fueron procedentes del sureste en la zona profunda de la bahía, no se registraron de datos en el Escarpe de Campeche.

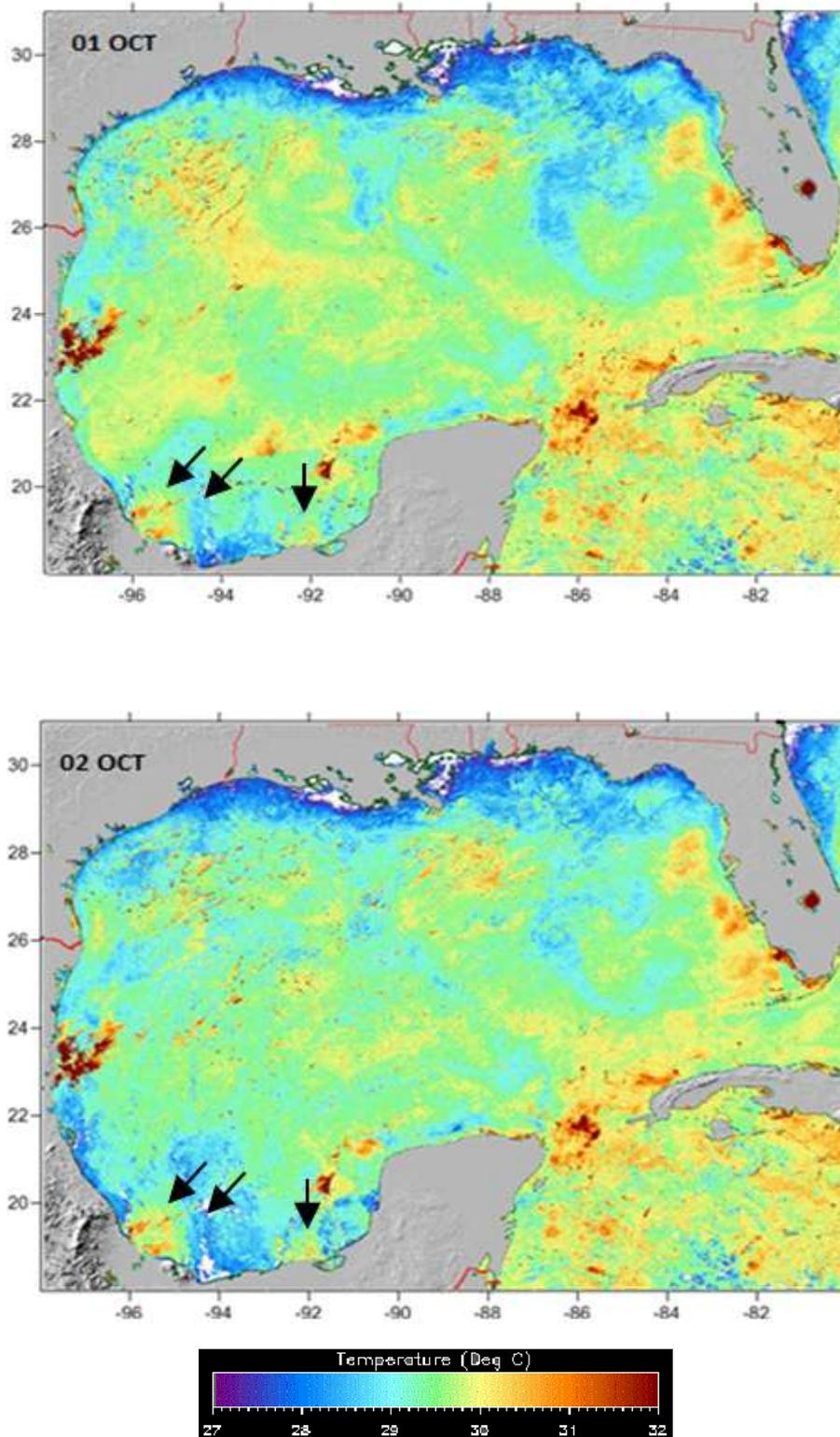


Figura 21. Temperatura superficial del mar promedio en la Bahía de Campeche, 1 y 2 de octubre de 1999, con intervalos de 6 días. Sensor AVHRR.

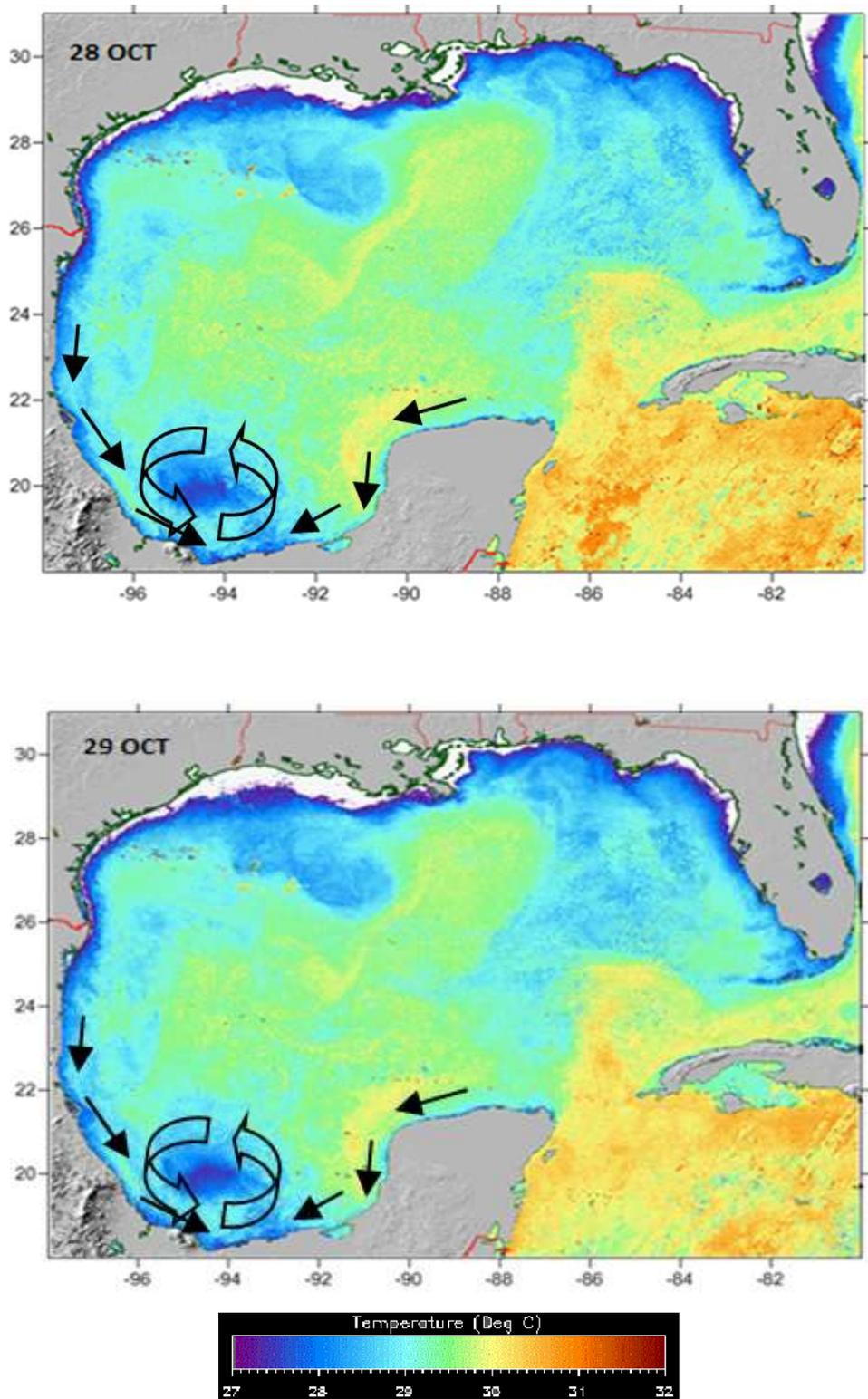


Figura 22. Temperatura superficial del mar promedio en la Bahía de Campeche, 28 y 29 de octubre de 1999, con intervalos de 6 días. Sensor AVHRR.

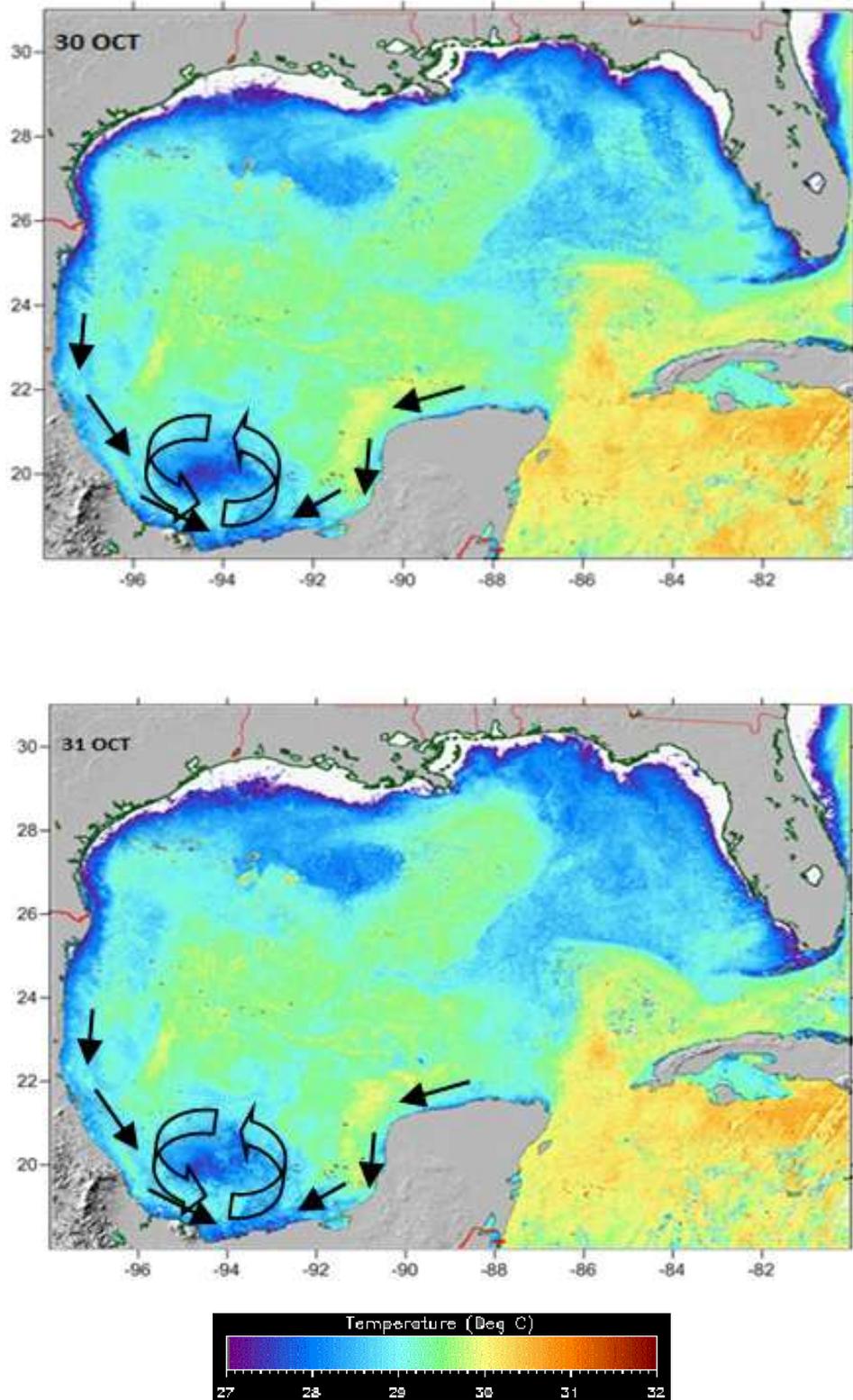


Figura 23. Temperatura superficial del mar promedio en la Bahía de Campeche, 30 y 31 de octubre de 1999, con intervalos de 6 días. Sensor AVHRR.

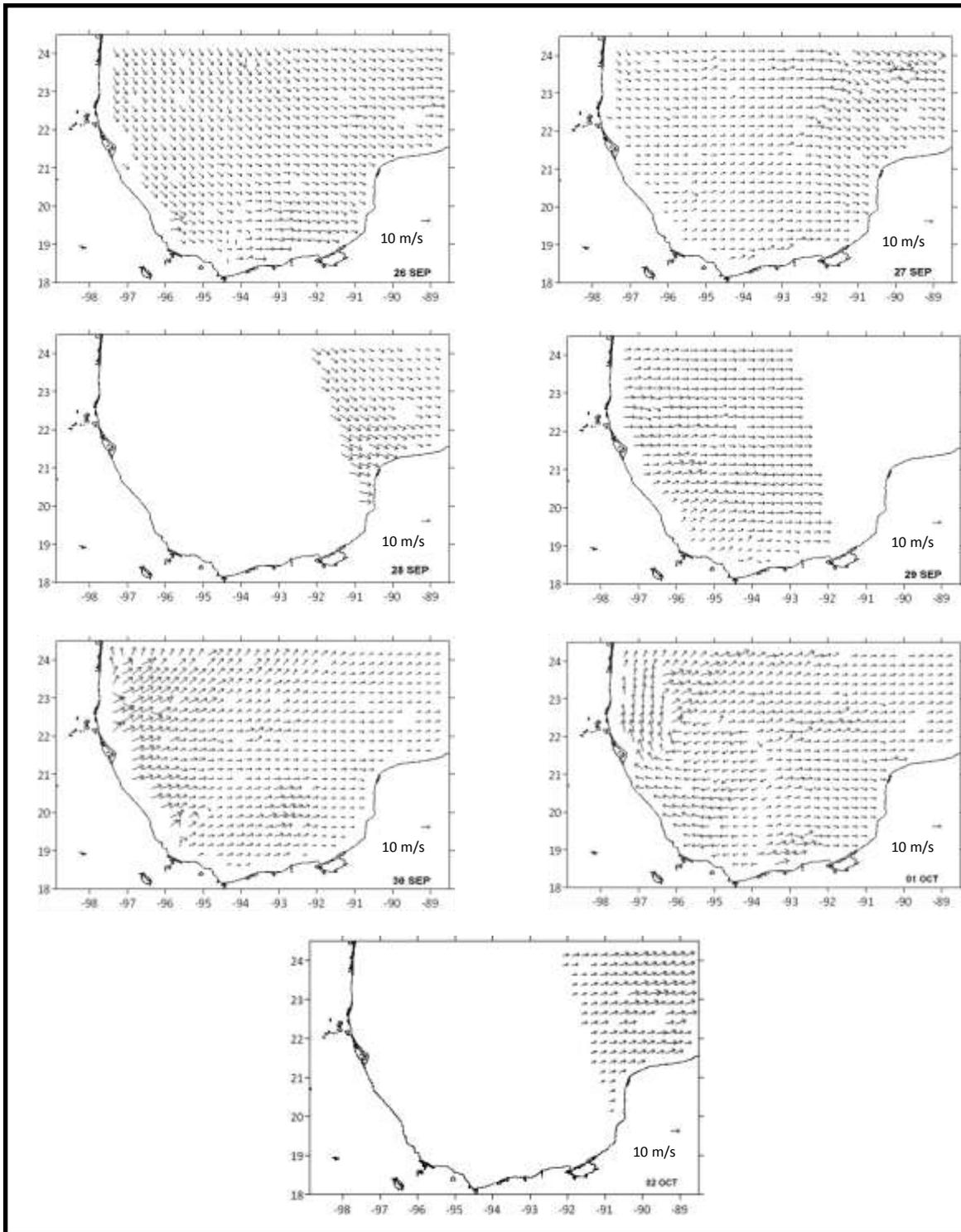


Figura 24. Campos de viento en la Bahía de Campeche, del 26 de septiembre al 2 de octubre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.

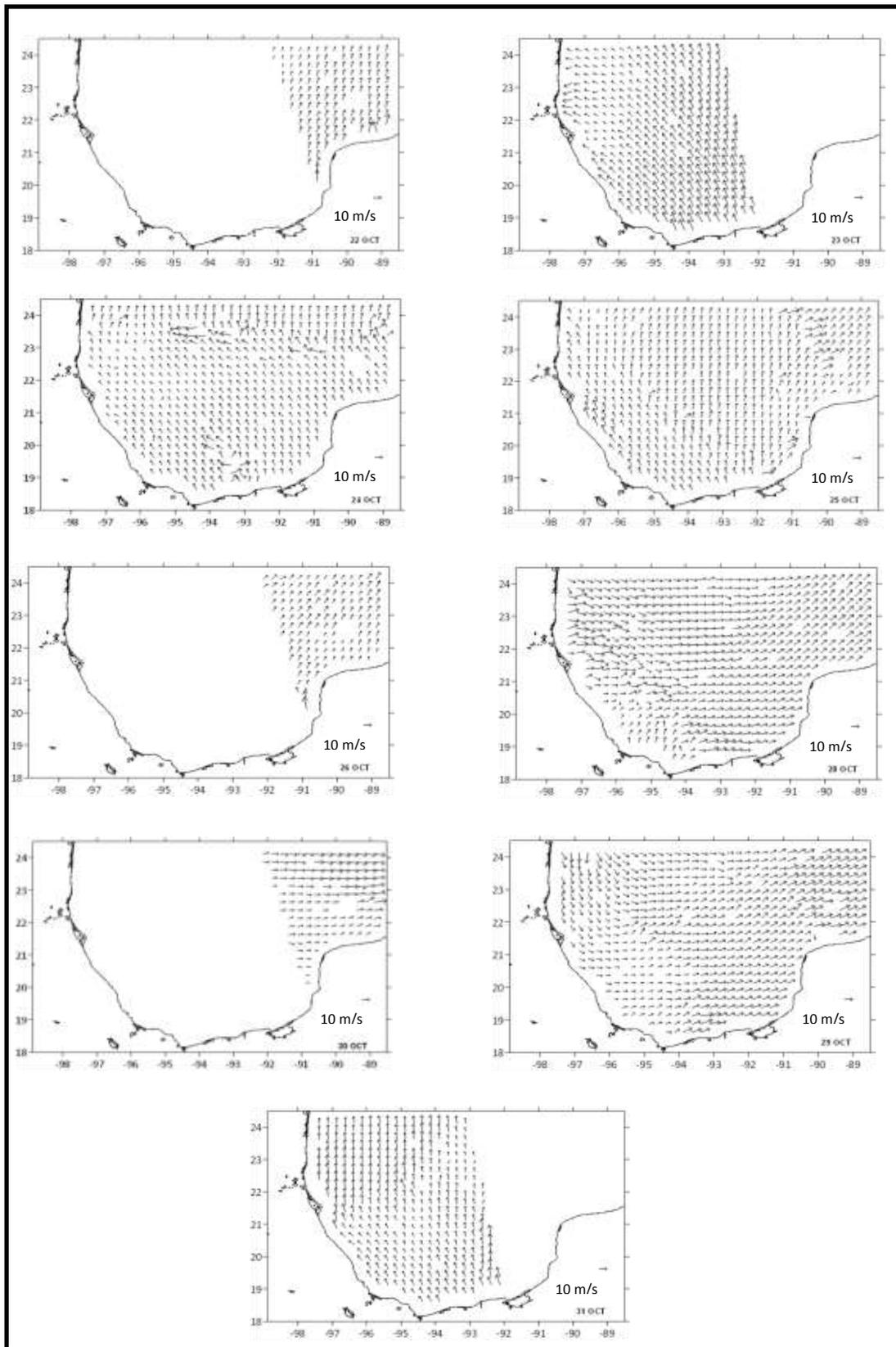


Figura 25. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 22 al 31 de octubre de 1999. Sensor QuikSCAT, paso ascendente.

4.2. Clorofila “a” del sensor SeaWIFS.

En la Figura 26 y 27, correspondientes del periodo 29 de agosto al 29 de septiembre se observan en las imágenes valores de Clorofila *a* entre 5 y 7 mg/m³ en toda la región costera de Tabasco y Campeche, con una saturación de nubes en la región central de la bahía. Por otra parte, durante este periodo podemos observar dos tipos de filamentos de clorofila *a*: en la costa frente a los ríos más importantes de la región y otros filamentos que logran alcanzar la zona profunda de la bahía con una menor concentración. En la imagen correspondiente al periodo del 22 al 29 de septiembre, se aprecia el mayor afloramiento de clorofila *a*, en la parte sur y oriental de la bahía con valores alrededor 10 mg/m³., frente a las costas de Tabasco y Veracruz. Por último, en la parte profunda occidental de la bahía se observa la presencia al parecer de una estructura de tipo ciclónica.

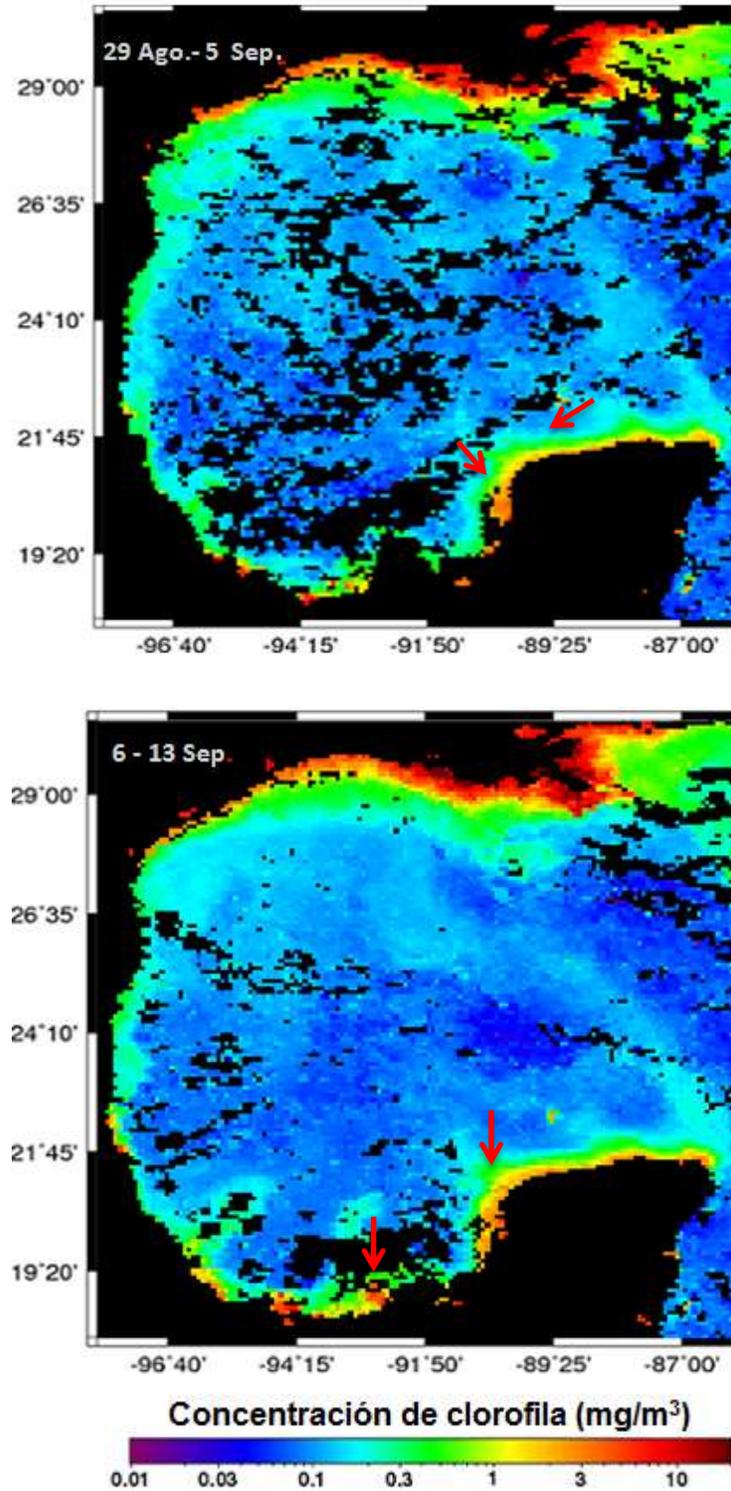


Figura 26. Distribución superficial de clorofila "a", en la Bahía de Campeche, del 29 de agosto al 13 de Septiembre de 1999, con intervalos de 8 días.

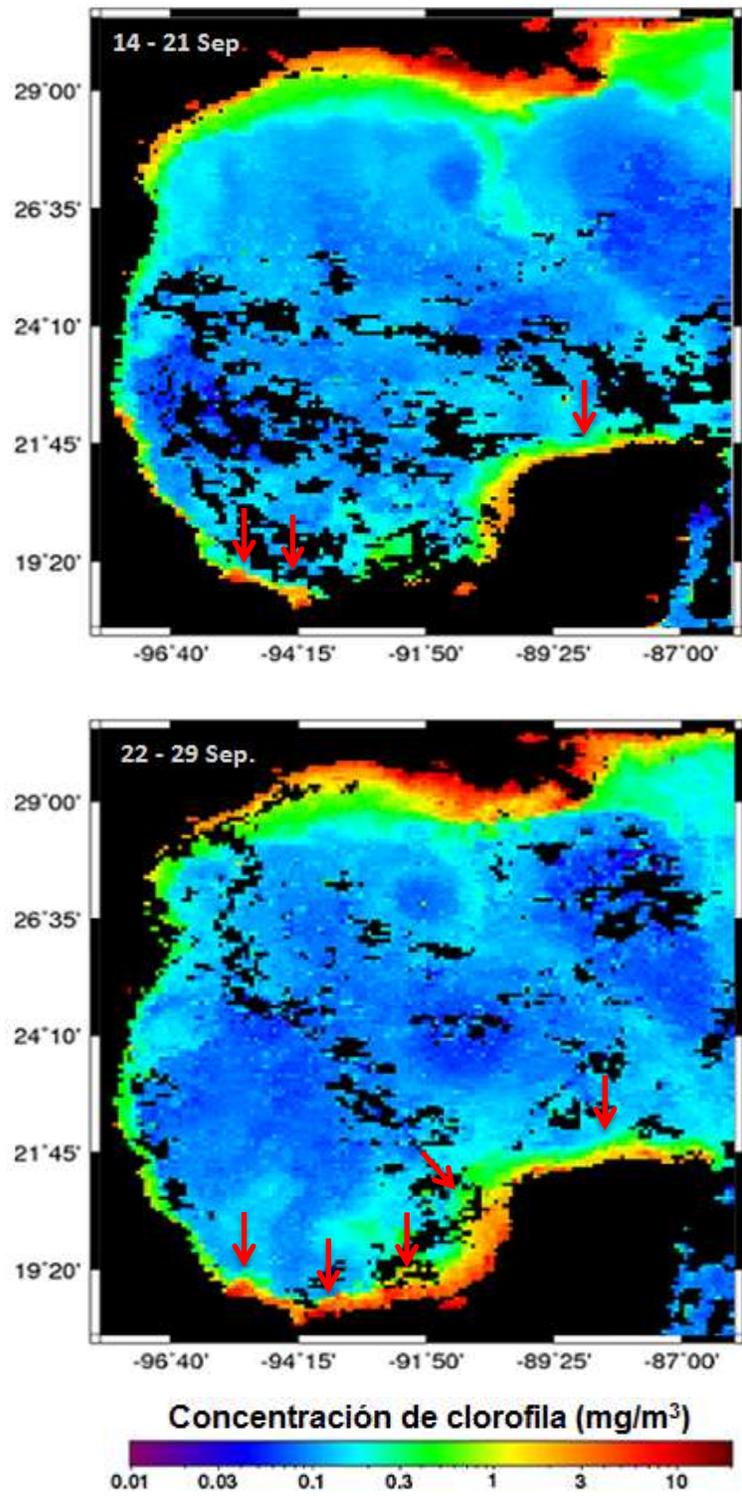


Figura 27. Distribución superficial de clorofila "a", en la Bahía de Campeche, del 14 al 29 de Septiembre de 1999, con intervalos de 8 días.

En las Figuras 28 y 29, que representan al periodo del 30 de septiembre al 30 de octubre, se registraron las mayores concentraciones de clorofila "a" con valores que oscilan entre los 7 y 11 mg/m³ en la zona costera frente a los estados de Campeche, Tabasco y sur de Veracruz, con una importante saturación de nubes del 30 de septiembre al 7 de octubre en la zona occidental del área de estudio. Por otra parte, podemos apreciar que la concentración de clorofila *a*, está fuertemente relacionada a los contornos batimétricos del área de estudio, ya que se observaron las mayores concentraciones de este pigmento fitoplanctónico en la zona costera frente a las desembocaduras de los principales ríos de la región y en el Escarpe y Banco de Campeche.

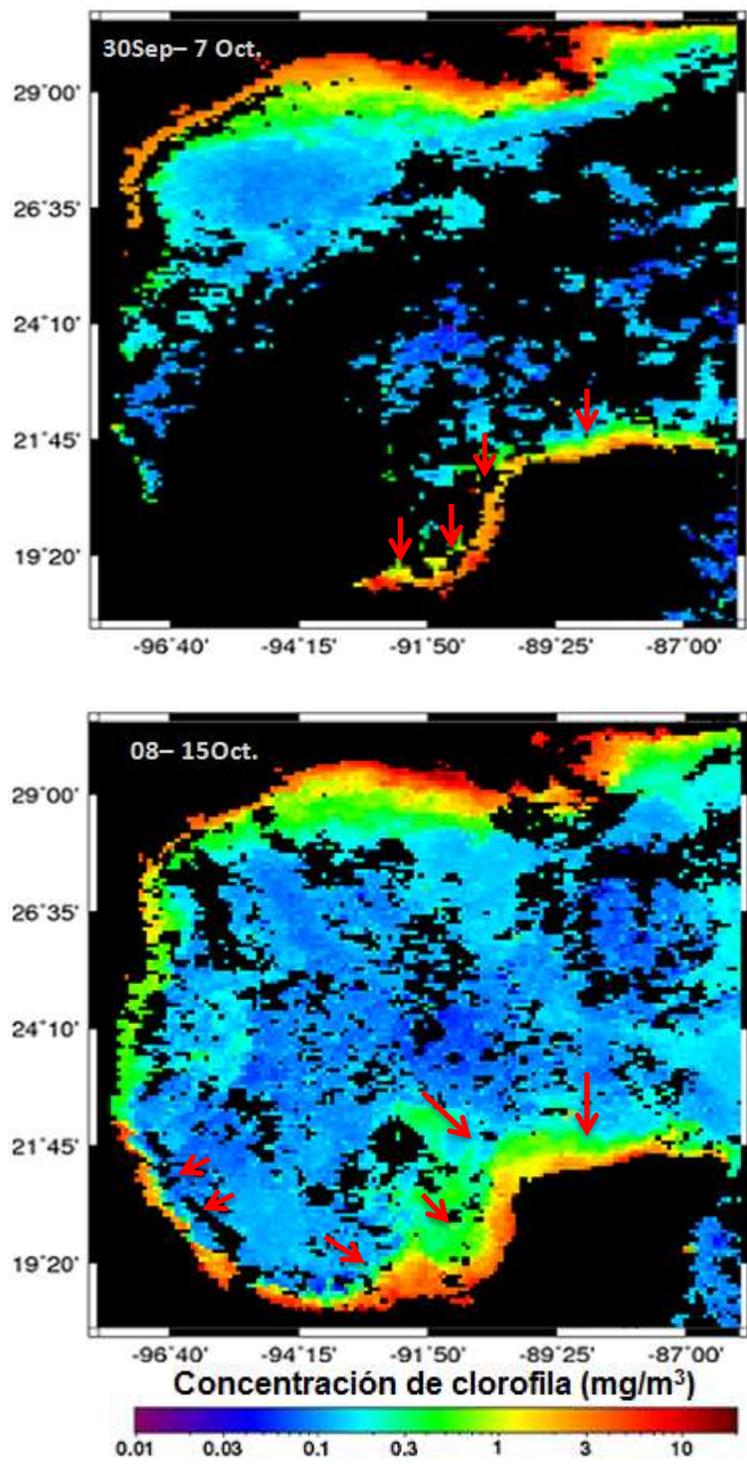


Figura 28. Distribución superficial de clorofila "a", en la Bahía de Campeche, del 30 de septiembre al 15 de Octubre de 1999, con intervalos de 8 días.

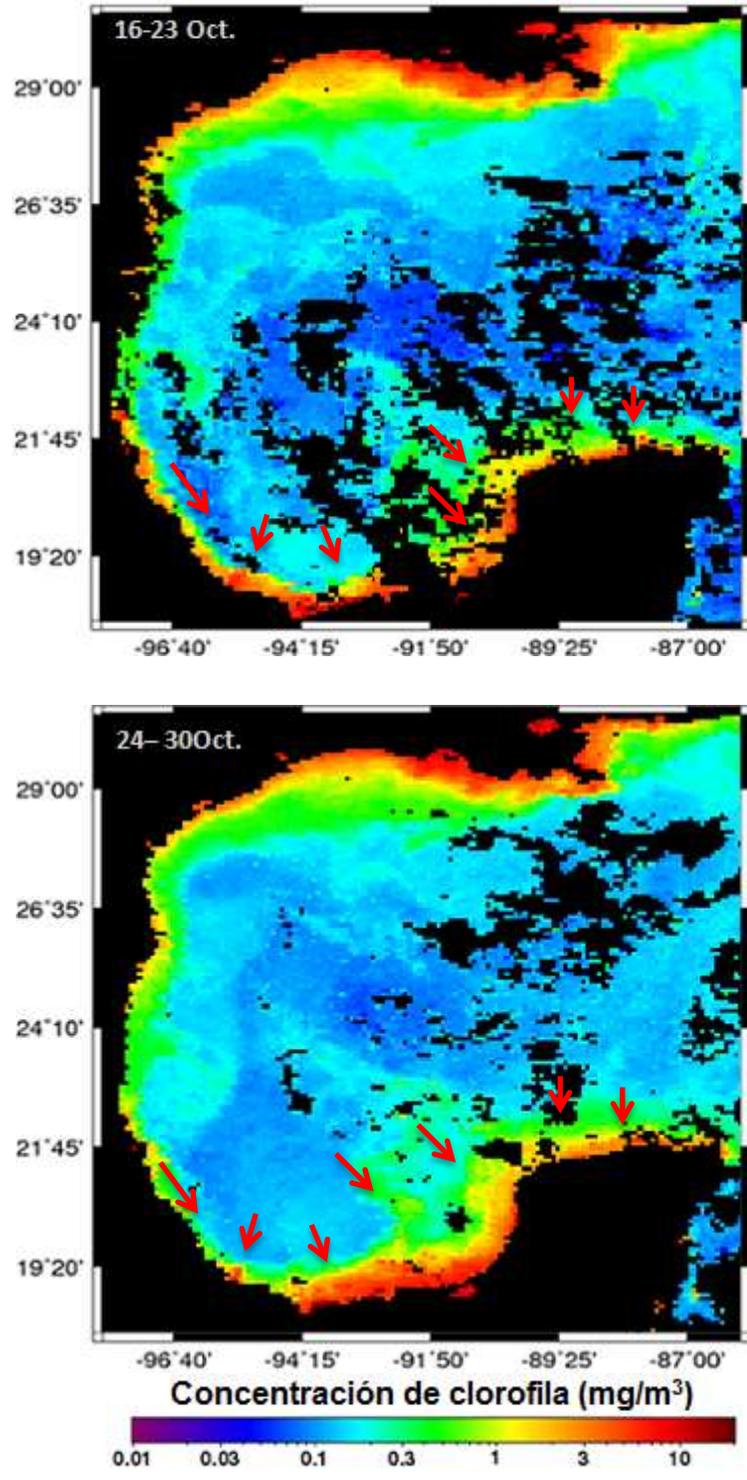


Figura 29. Distribución superficial de clorofila "a", en la Bahía de Campeche, del 16 al 30 de Octubre de 1999, con intervalos de 8 días.

4.3. Análisis de Imágenes SAR en la Bahía de Campeche.

4.3.1. Imágenes SAR.

Las imágenes SAR se presentan de forma individual y en series, cubriendo la zona en pasos ascendentes y descendentes sobre la Bahía de Campeche. Junto con ella se muestran los campos de vientos.

Banco de Campeche.

En la serie SAR del 7 de octubre de 1999 (Fig. 30), se observa una zona de alta retroreflectancia en la parte norte, mientras que en la parte sur apreciamos una importante franja de baja retroreflectancia con una dirección del noroeste-sureste, por último, se destaca la presencia de líneas de baja retroreflectancia en la región central y norte de la serie. En la figura 31, se presentan los campos de vientos del 07 de octubre de 1999, con velocidades superan los 5 m/s en la región central de la bahía, mientras que en la costa de oeste los vientos alcanzaron velocidades superiores a los 10 m/s.

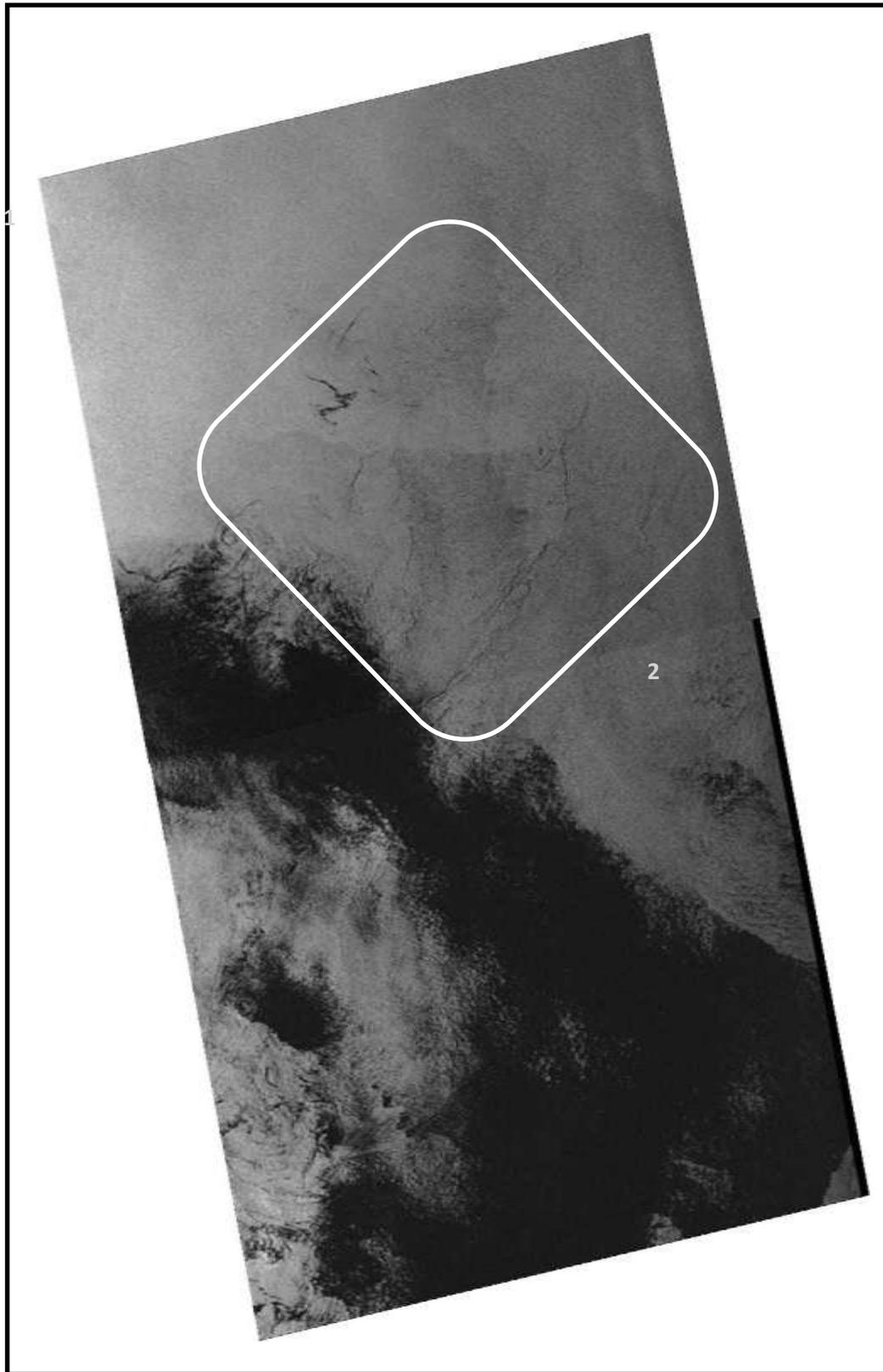


Figura 30. Serie SAR del 7 de octubre de 1999.

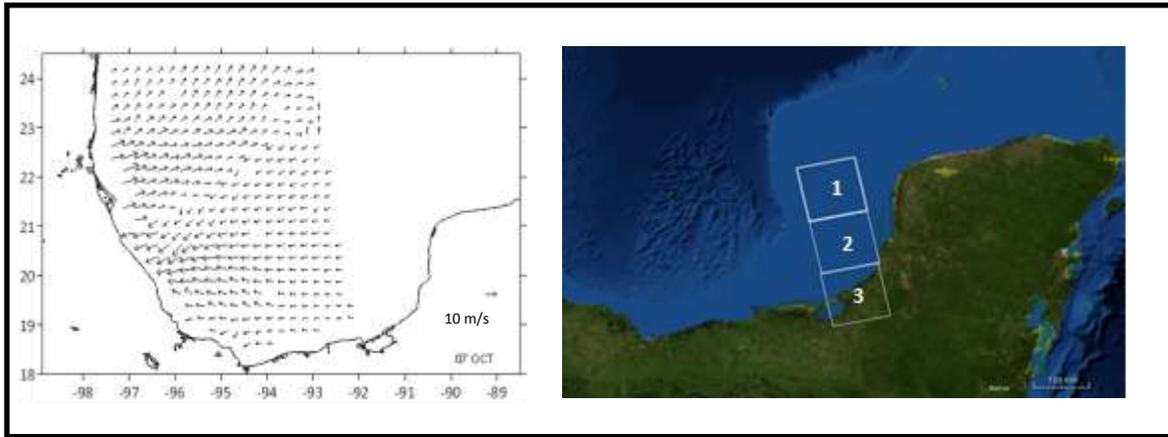


Figura 31: a) Campo de vientos del 7 de octubre de 1999, b) Ubicación geográfica de la serie SAR (1-3), de paso ascendente del 7 de octubre de 1999.

La Figura 32, del 7 de octubre, se observaron amplias zonas de baja retroreflectancia en las costas de Campeche, mientras que en Laguna de Términos y en la costa adyacente se registraron valores altos de retroreflectancia. Además, se pudo apreciar un filamento de mayor retroreflectancia en la zona costera de Campeche en la parte superior de la imagen. No se obtuvieron datos de vientos para la región cubierta por las imágenes SAR de esta fecha (Fig. 30).

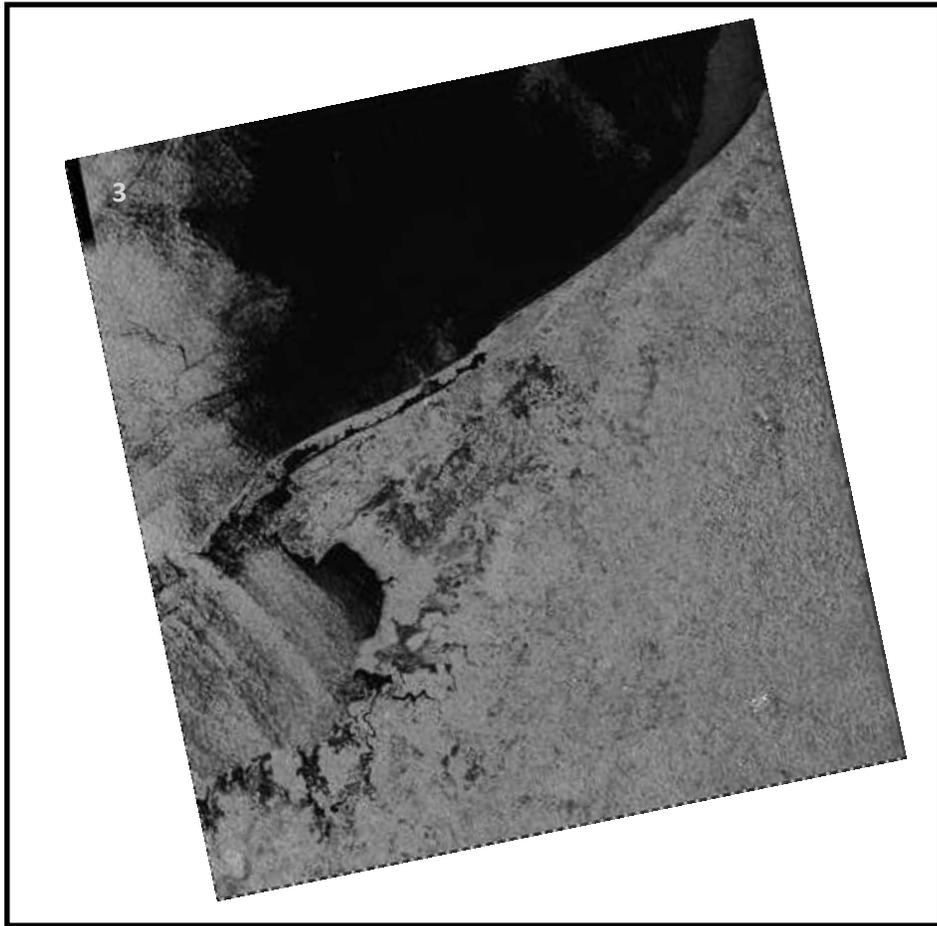


Figura 32. Imagen SAR del 7 de octubre de 1999.

En la Figura 33, del 14 de octubre de 1999, se ven reflejados fenómenos oceanográficos y atmosféricos prevaecientes en la epoca de estudio. Se detecta una alternancia de valores altos y bajos de retroreflectancia en la boca oeste de Laguna de Términos. Asi mismo, en la mayor parte de la serie de imágenes, se aprecian claramente inestabilidades de baja y alta retroreflectancia. En la figura 34, se presentan los campos de vientos del 14 de octubre de 1999, con velocidades que superaron los 10 m/s en la región de la Bahía de Campeche procedentes del sur, suroeste.

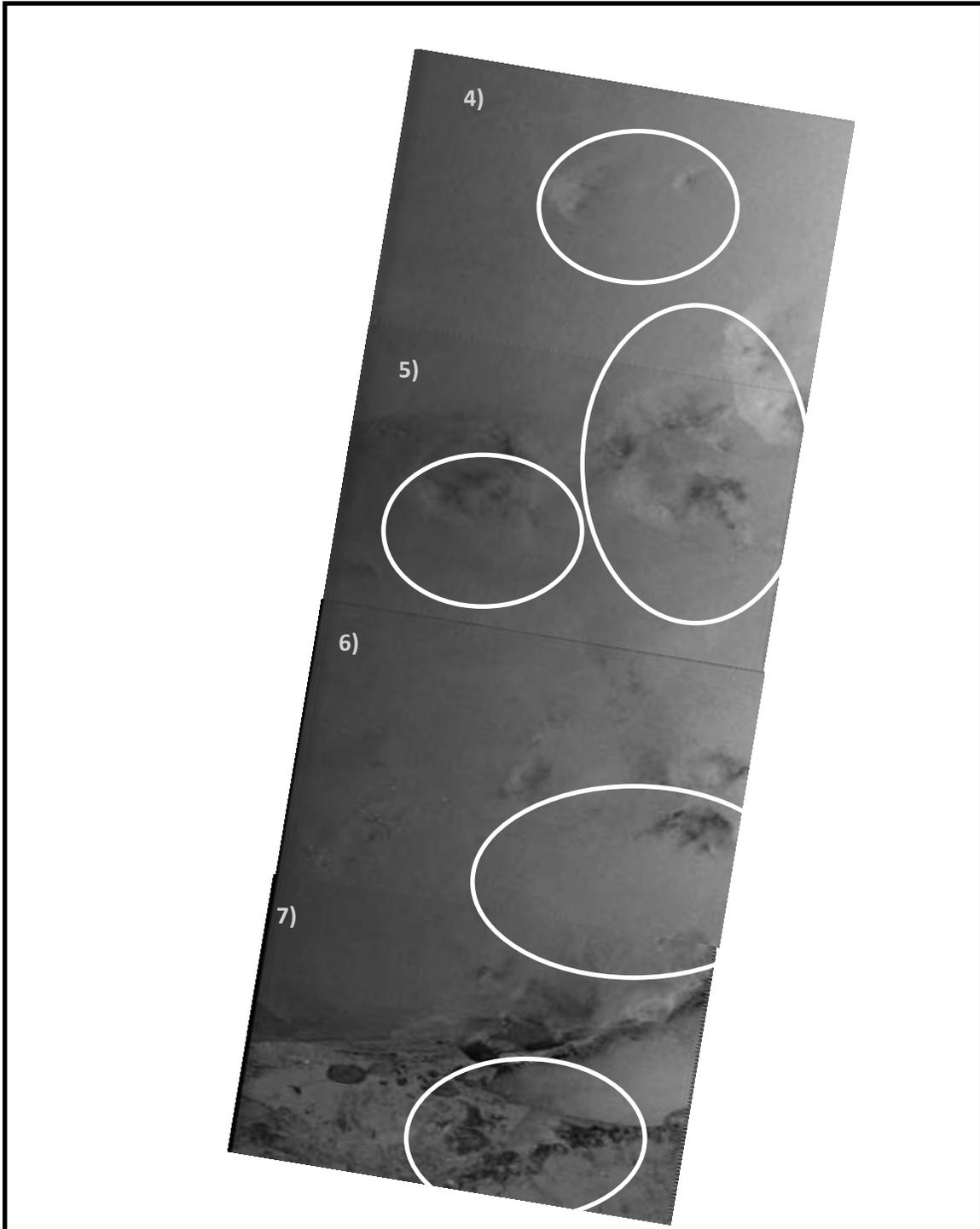


Figura 33. Serie SAR del 14 de octubre de 1999.

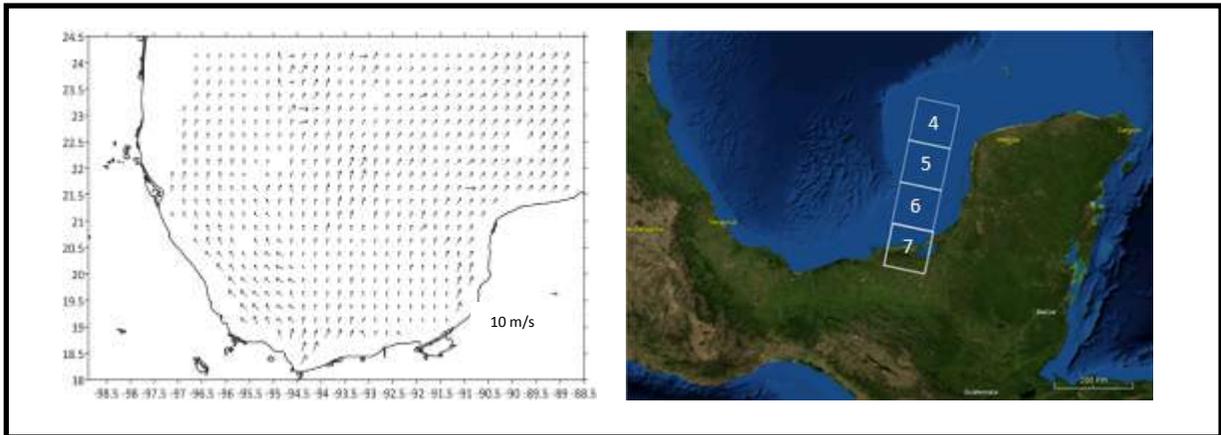


Figura 34: a) Campo de vientos del 14 de octubre de 1999, b) Ubicación geográfica de la serie SAR (4-7), de paso descendente del 14 de octubre de 1999.

4.3.3. Escarpe de Campeche.

En la Figura 35, del 28 de septiembre de 1999, se aprecian múltiples líneas de baja y alta retroreflectancia que se manifiestan como líneas oscuras alternadas con líneas blancas, paralelas entre sí sobre el Escarpe de Campeche. Por otra parte, en la zona costera frente a las desembocaduras del Sistema Grijalva-Usumancita, se aprecian dos estructuras de menor reflectancia en forma de un abanico con dirección hacia el noroeste.

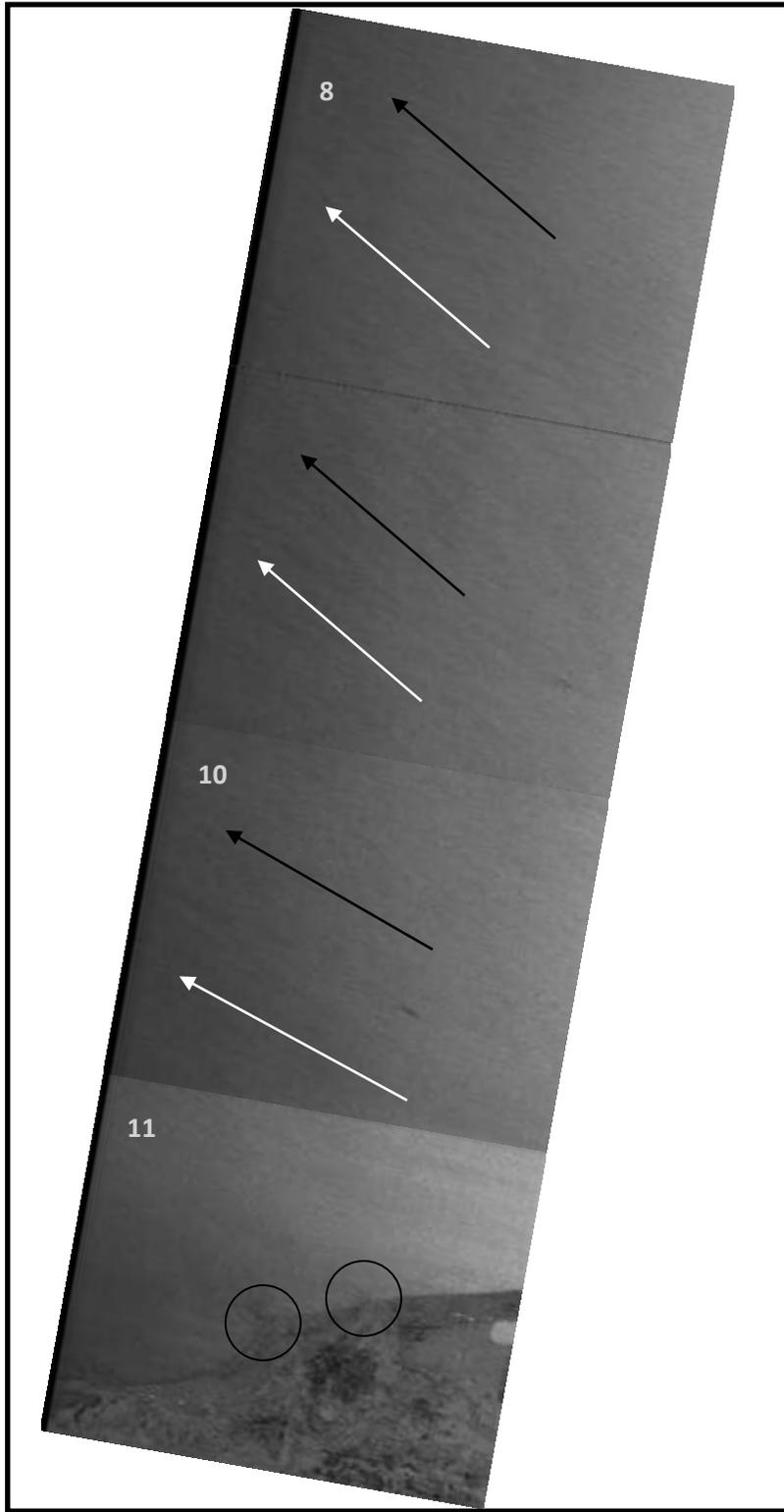


Figura 35. Serie SAR del 28 de septiembre de 1999.

En la figura 36, se presentan los campos de vientos del 28 de septiembre de 1999, se aprecian vientos predominantes del oeste y el suroeste con vientos poco intensos velocidades que superaron los 5 m/s en la región de la Sonda de Campeche.

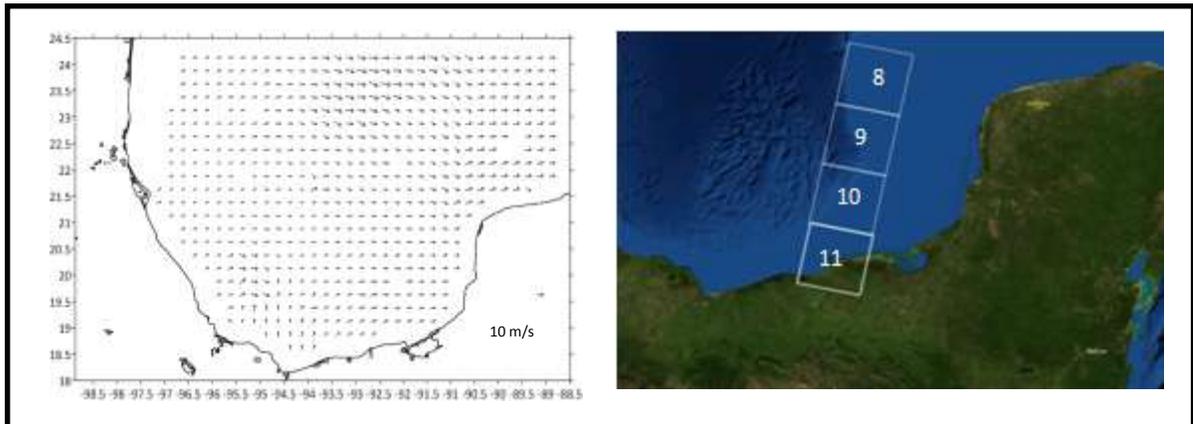


Figura 36: a) Campo de vientos del 28 de septiembre de 1999, b) Ubicación geográfica de la serie SAR (8-11), de paso descendente del 28 de septiembre de 1999.

En la serie de imágenes SAR (Fig. 37) se observaron un par líneas de baja retroreflectancia perpendiculares a la desembocadura del Sistema Grijalva-Usumacinta. Por otra parte, observamos líneas de mayor y menor retroreflectancia perpendiculares entre sí procedentes de la región oriental de la bahía. Finalmente, en el resto de la serie se encontraron valores altos en la retroreflectancia. En la figura 38, se presenta la ubicación de cada una de las imágenes SAR y el campo de viento, correspondiente al 10 de octubre de 1999. No se registraron datos en la zona de interés, excepto en el Escarpe de Campeche donde los vientos fueron procedentes del suroeste con velocidades superiores a los 10 m/s.

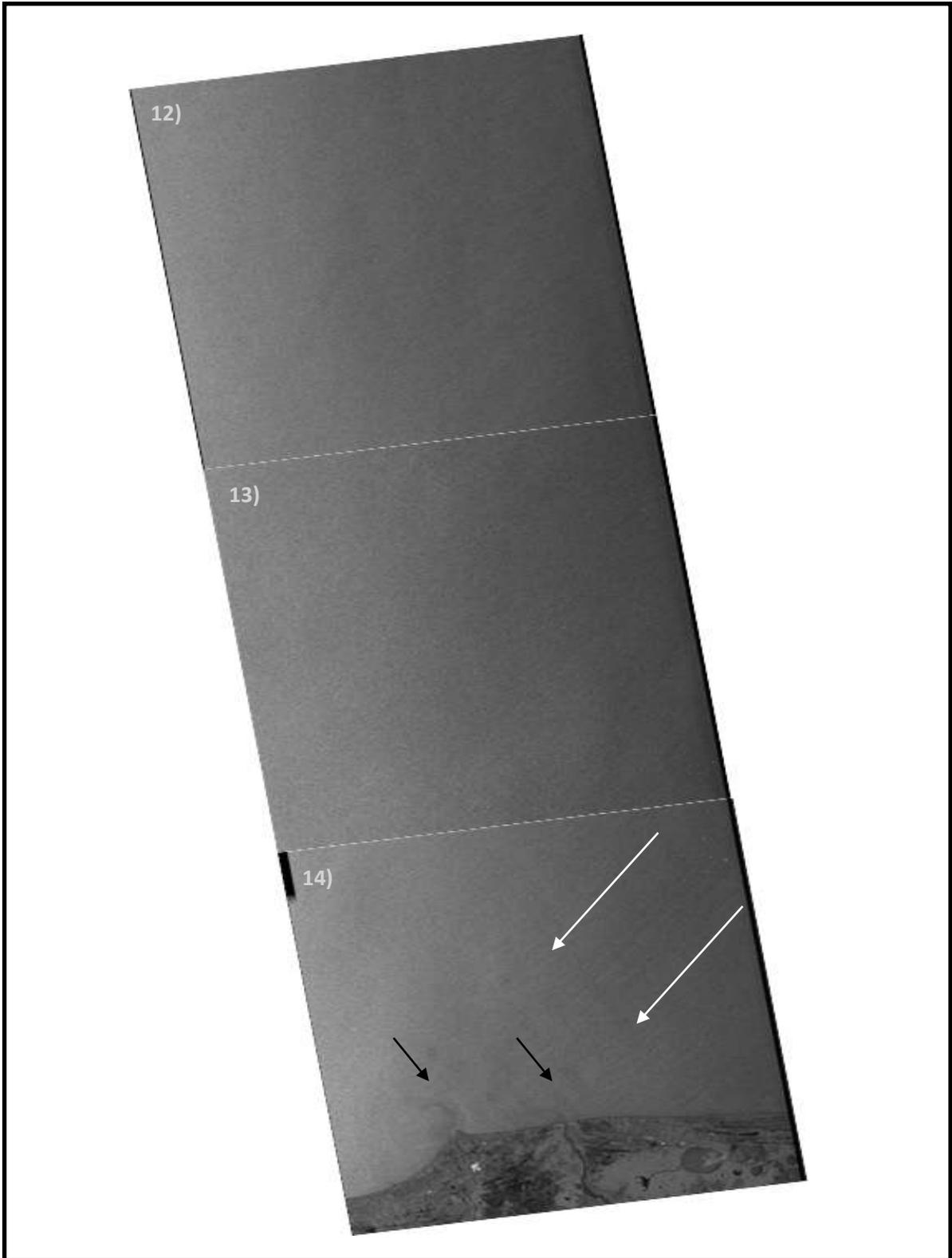


Figura 37. Serie SAR del 10 de Octubre de 1999.

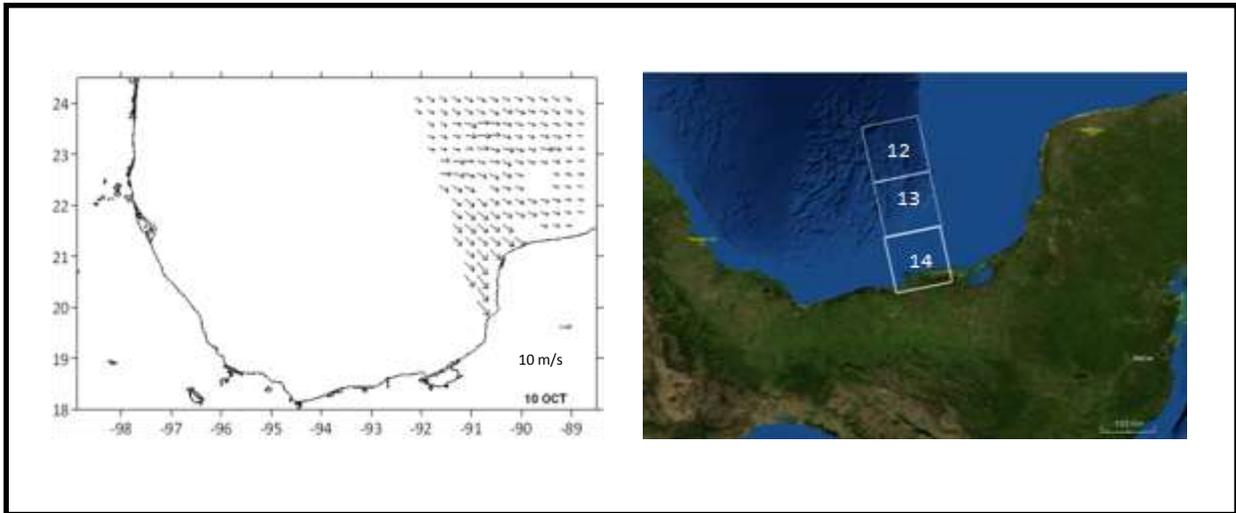


Figura 38: a) Campo de vientos del 10 de octubre de 1999, b) Ubicación geográfica de la serie SAR (12-14), de paso ascendente del 10 de octubre de 1999.

4.3.4. Zona profunda de la Bahía de Campeche.

En la zona profunda ubicada en la región central de la Bahía de Campeche, contamos con una serie de imágenes SAR compuesta por cuatro imágenes (Fig. 39), del 13 de octubre de 1999. En la zona costera se aprecia una franja con valores altos y bajos de retroreflectancia que distinguimos por la desviación que sufre hacia este, perpendicular a la línea de costa. En la sub-imagen 17, se aprecia un pequeño giro ciclónico asociado a líneas de alta retroreflectancia en su exterior y líneas de baja retroreflectancia en el interior. Por último, se puede ver una diferencia de retroreflectancia considerable debida a un gradiente importante en los vientos.

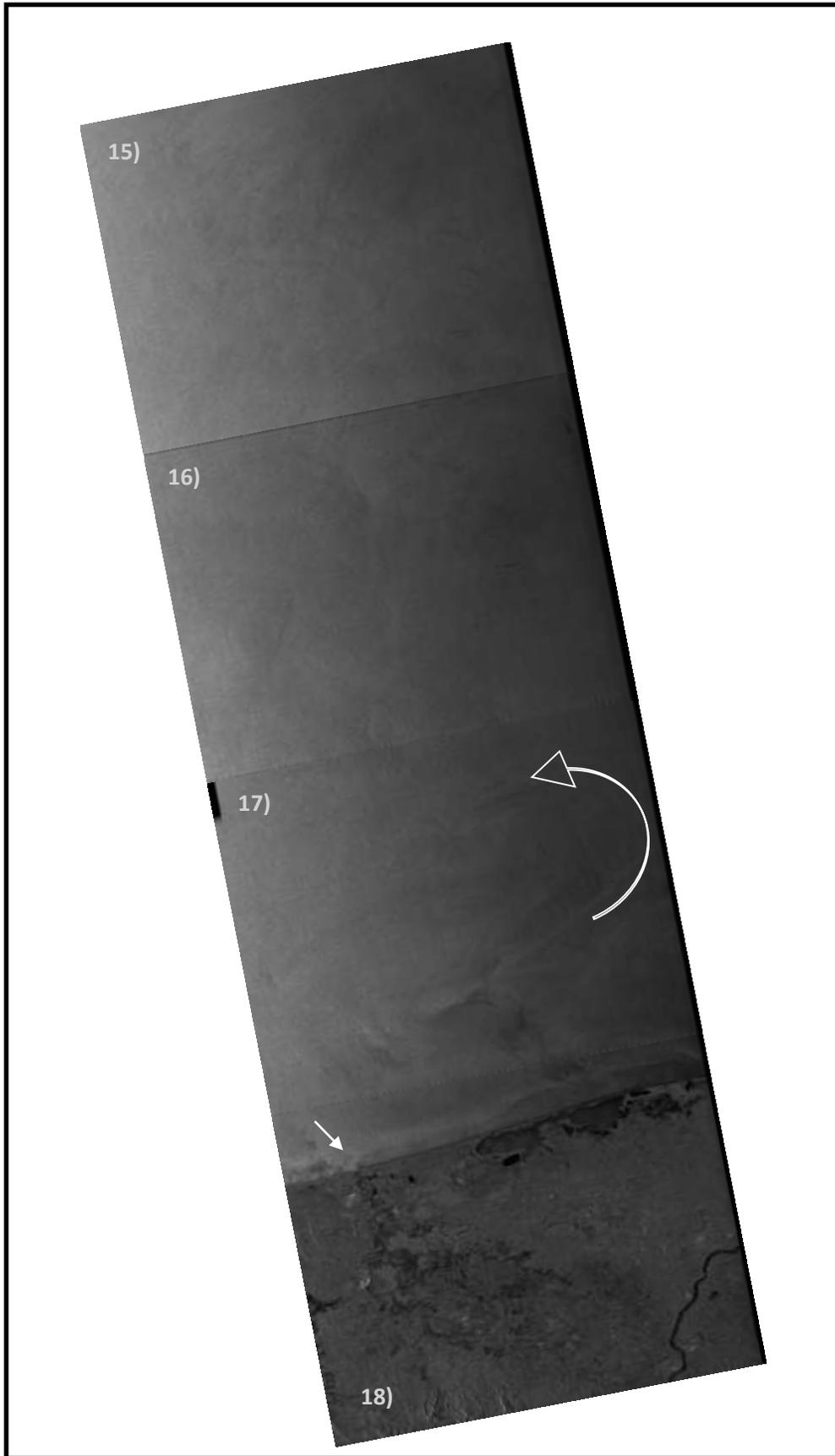


Figura 39. Imágenes SAR (15-18) del 13 de octubre de 1999.

En la figura 40, se presenta la ubicación de cada una de las imágenes que componen la serie y los campos de vientos del 13 de octubre de 1999. Se registraron vientos superiores a 10 a 15 m/s en la costa occidental de Veracruz procedentes del sureste, en la zona donde se encuentra ubicada la serie SAR los vientos fueron del norte con velocidades alrededor de los 12 m/s y en la zona oriental los vientos fueron en su mayoría del sur y suroeste, (Ver anexo 1 al 8) donde se muestra una variabilidad en la dirección de los campos de vientos a lo largo de la época de estudio con una dirección predominantemente del noroeste.

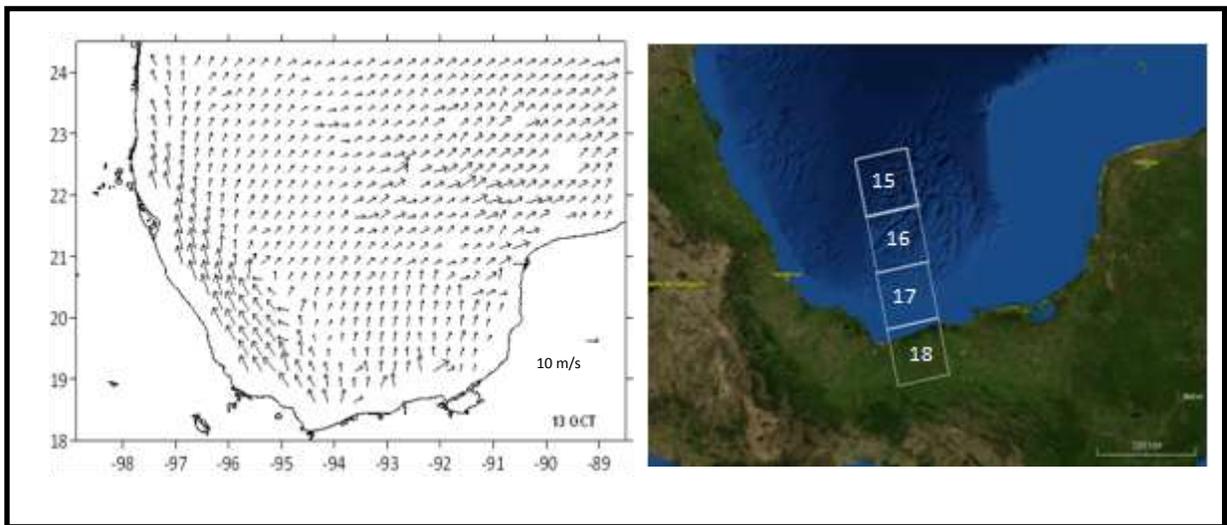


Figura 40: a) Campos de vientos del 13 de octubre de 1999. b) Ubicación geográfica de las imágenes SAR, en paso ascendente del 13 de octubre de 1999.

V. DISCUSIÓN.

5.1. Temperatura superficial del mar en la Bahía de Campeche, Septiembre-Octubre de 1999.

La franja de menor temperatura observada en la imagen NOAA del 03 de septiembre, al parecer es originada por la corriente costera de norte a sur en la plataforma occidental, lo cual coincide con lo reportado por Zavala-Hidalgo *et al.* (2003) quienes a través de un análisis de datos hidrográficos, satelitales y de nivel del mar a lo largo de 7 años, reportaron una circulación promedio de norte a sur en la plataforma occidental de Tamaulipas y Veracruz en el mes de septiembre. La gran nubosidad que se aprecia en esta fecha es congruente con lo esperado para esta época del año. Los valores de menor temperatura registrados al norte de la Península de Yucatán fueron originados por la surgencia del Banco de Campeche reportado por Piñeiro *et al.* (2001).

Las condiciones que se observaron en la plataforma occidental el 11 de septiembre responden al parecer a la corriente costera de norte a sur, la cual fue reportada por Zavala-Hidalgo *et al.* (2003). Por otro lado, el inicio de la circulación ciclónica en la porción occidental al parecer es consecuencia de la circulación costera proveniente del norte del golfo y de la interacción con la topografía, lo cual ha sido reportado por Salas-de León *et al.* (2007), quienes analizaron las corrientes geostroficadas en la Bahía de Campeche.

El 16 de septiembre de 1999, continúa la corriente en la plataforma occidental en la dirección norte-sur, esta circulación ha sido mencionada en el trabajo de Martínez-López *et al.* (1998), quienes aplicaron un modelo numérico barotrópico tridimensional para estudiar la circulación en esta región, describiendo una circulación costera en la plataforma occidental con dirección norte a sur. Los valores

de temperatura obtenidos en el Banco de Campeche responden a la surgencia generada en esta región, esto coincide con lo reportado por Aguirre (2002) quien analizó el desplazamiento de la surgencia hacia el oeste siguiendo el contorno de la Península de Yucatán hasta las costas de Tabasco.

La circulación superficial observada el 20 de septiembre de 1999, en la parte occidental y oriental de la bahía, al parecer converge frente a la costa sur de Veracruz dando origen a la estructura ciclónica, esto coincide con lo reportado por Monreal-Gómez y Salas-de León (1990), quienes atribuyen la formación de este giro ciclónico a la variación del transporte a través del Canal de Yucatán y la geometría de la bahía. Asimismo, Martínez-López *et al.* (1998) reportaron una corriente localizada en el Banco de Campeche dirigida al oeste y una circulación en la región occidental, la cual se extiende desde la región occidental de la desembocadura del Río Mississippi hasta las costas del norte de Veracruz.

Las peculiares características observadas el 24 de septiembre de 1999, en la plataforma occidental responden a la influencia de la circulación con dirección de norte a sur, que al parecer es la responsable de la formación de la estructura ciclónica en la región occidental de la Bahía de Campeche. Características similares han sido reportados por Monreal-Gómez y Salas-de León (1990), Martínez-López *et al.* (1998) y Zavala-Hidalgo *et al.* (2003). Por otro lado la cobertura de nubes que se aprecia en la imagen es típica para esta época del año.

Entre tanto, las condiciones que se registraron el 11 de octubre de 1999, fueron originadas al parecer por la circulación de la costa oriental y la costa occidental en la bahía, las cuales convergen en la parte sur de la bahía y posiblemente son las responsables de la temperaturas registradas en la zona occidental, este comportamiento concuerda con lo reportado por Monreal-Gómez y Salas-de León (1990) y Zavala-Hidalgo *et al.* (2003). En cuanto al filamento en la costa sur de Veracruz, se cree que es generada por la descarga de los Ríos Coatzacoalcos y Tonalá, este comportamiento es contrario a lo reportado por (Shirasago, 1991), quien señala que durante otoño, el Río Coatzacoalcos presenta

un débil gradiente y el Río Papaloapan no presenta ninguna afluencia continua con una manifestación importante en el ambiente marino.

Las temperaturas registradas en la costa occidental de la región de estudio correspondiente al periodo del 21 al 28 de septiembre son consecuencia al parecer de las condiciones hidrodinámicas que prevalecieron en esta región (circulación con una dirección de norte a sur), una situación similar ha sido reportada por , Martínez-López *et al.* (1998); Zavala-Hidalgo *et al.* (2003). Respecto a los filamentos en la costa Veracruzana estos fueron generados por las descargas del Río Papaloapan, esto fue confirmado por mediciones *in situ* por Shirasago, (1991). Por otro lado, la temperatura registrada en la costa de Campeche y Tabasco es originada al parecer por el arribo de la corriente costera procedente del Banco de Campeche. En relación a la disminución de temperatura en la región profunda de la bahía, probablemente es originada por estructura de tipo ciclónica, ya que como se saben tienen un núcleo frío. Estas características han sido reportadas por Piñeiro *et al.* (2001) y Candela *et al.* (2003).

Las estructuras detectadas durante el periodo del 26 de septiembre al 31 de octubre, al parecer representan las condiciones promedio que prevalecen en la región de estudio en donde destaca en la plataforma occidental una franja bien definida de menor temperatura producto de la acción de la circulación costera con dirección norte a sur y del arribo de una circulación procedente del Banco de Campeche que convergen frente a las costas de Tabasco y Veracruz, en la parte profunda de la bahía generando una circulación de tipo ciclónico lo cual es confirmado por el importante núcleo frío que se registró, en este estudio y en anteriores llevados a cabo en esta región. Monreal-Gómez y Salas-de León (1990), Shirasago (1991) y Piñeiro *et al.* (2001). Los filamentos que se aprecian durante este periodo fueron generados por las descargas de los Ríos Papaloapan y Sistema Grijalva-Usumacinta, lo cual ha sido reportado por Shirasago (1991), Salas-de León y Monreal-Gómez (1997). El comportamiento de los vientos fue muy variable durante

este periodo al parecer por la influencia de las tormentas tropicales y el inicio de los “nortes” en la región, situación que ha sido analizada por Expósito-Díaz *et al.* (2009).

5.2. Concentración de clorofila “a” (Chl) en la Bahía de Campeche, Septiembre-Octubre de 1999.

Los valores de clorofila *a* registrados en el periodo del 29 de agosto al 29 de septiembre de 1999, en la región costera de la bahía pueden ser atribuidos a dos mecanismos principalmente: las descargas de los ríos en la región, que durante esta época del año históricamente son registradas como máximas y por otro lado a la acción de los vientos que mezclan la columna de agua, generando un enriquecimiento generalizado de nutrientes. Estos vientos al parecer son debidos, a la interacción de las tormentas tropicales características de la región en esta época del año, con el inicio de los “nortes” provenientes de las altas latitudes. Esto coincide con lo reportado por Melo-González *et al.* (2000) y Zavala-Hidalgo *et al.* (2003, 2006), quienes lo relacionan con el proceso de fertilización inducida por los fuertes vientos o “nortes” que se registran en esta temporada y que son el resultado del intercambio de aire frío y seco provenientes del norte del continente y las masas de aire propias del Golfo de México, de origen marítimo y tropical, esto provoca una fuerte frontogénesis, produciendo vientos que circulan de norte principalmente entre los meses de otoño-invierno, las cuales que alcanzan hasta los 80 Km/h.

Los máximos valores de clorofila *a* registrados durante el periodo del 30 de septiembre al 30 de octubre de 1999, al parecer son característicos de esta época del año en esta región de estudio y responden a los procesos hidrometeorológicos que se presentan regularmente año con año, los cuales son originados por la combinación de las tormentas tropicales que originan las máximas precipitaciones y por consiguiente incrementan las descargas de los ríos en la zona costera y a la influencia de los “nortes” que generan fuertes vientos en esta región, los cuales

profundizan la capa de mezcla provocando el enriquecimiento de estas aguas. Esto coincide con lo reportado por Monreal-Gómez *et al.* (1997) quien encontraron que los valores altos de clorofila *a* durante el periodo de septiembre-diciembre, podían estar asociados a los procesos de fertilización inducidos por los frentes fríos que afectan esta región durante otoño-invierno.

5.3. Análisis de imágenes SAR.

La zona de alta retroreflectancia que apreciamos en la parte norte en la serie del 7 de octubre de 1999, con base a la información con la que cuento al parecer fue generada por el aumento de la velocidad de los vientos. Por otra parte, la franja de baja retroreflectancia puede ser atribuida a un frente de vientos, producto de la convergencia de por lo menos dos masas de aire con diferentes características atmosféricas. En relación a las líneas de baja retroreflectancia paralelas entre sí en la parte central y norte de la serie, fueron generadas al parecer por el campo de corrientes que domina esta zona y que al parecer provienen del Banco de Campeche. Esto coincide con lo reportado en el catálogo de características del Radar de Apertura Sintética de la Agencia Espacial Europea (1994), quienes reportan los frentes de viento generados por zonas de baja presión por medio de un análisis de imágenes SAR y campos de viento en las costas escandinavas. Por otro lado Johannessen *et al.* (1994), mostraron por medio de imágenes SAR los límites de las corrientes superficiales asociadas con valores de baja y alta retroreflectancia paralelos entre sí. Entre tanto, Shirasago (1996) presenta imágenes SAR del Mar de Alboran, casi totalmente saturadas con valores altos de retroreflectancia generadas por la presencia de fuertes vientos.

La baja retroreflectancia en la zona costera de Campeche pudo ser generada por los vientos débiles que se presentaron en la zona, mientras que en la Laguna de Términos y su zona costera los valores altos de retroreflectancia posiblemente fueron generados por la presencia de fuertes vientos. La franja de alta retroreflectancia en la costa de Campeche probablemente fue generada por la circulación costera en la

región que al parecer es la corriente del norte de la Península de Yucatán, condiciones análogas fueron reportadas por estudios realizados por Shirasago (1996), en una serie de imágenes SAR del 4 de octubre, quien muestra la entrada al Mar de Alboran de una corriente proveniente del estrecho de Gibraltar identificada por la alternancia de valores altos y bajos de retroreflectancia.

La variación en la retroreflectancia en la boca oeste de Laguna de Términos, posiblemente es generada por la descarga de sedimentos provenientes de los ríos de la región, por otra parte las inestabilidades que se registraron en el resto de la serie pudieran ser atribuidas a presencia de múltiples celdas lluvias de diferentes dimensiones en la zona. Esto ha sido reportado por Melsheimer *et al.* (1999), quienes por medio de un estudio con imágenes SAR en el Mar del Sur de China, encontraron estas estructuras, definidas como celdas de lluvia. Estas modifican la rugosidad superficial, así como la turbulencia generada en las capas superficiales, atenuando las ondas cortas.

Las líneas paralelas de alta y de baja retroreflectancia que se aprecian en la parte central y norte de la serie, probablemente son generadas por la acción de las corrientes de talud presentes en el área de estudio. Por otro lado, las estructuras apreciadas en la desembocadura del Sistema Grijalva-Usumacinta son generadas al parecer por la descarga de ríos en esta región, que atenúan las ondas capilares por el contenido de material en suspensión, generando zonas de baja retroreflectancia con una estructura de abanico que se orienta hacia el noroeste al parecer siguiendo los contornos batimétricos. Esto coincide con lo reportado por Shirasago (1996) quien encontró una corriente de talud en las imágenes SAR del Mar de Alboran el 15 de mayo de 1992.

En la serie SAR correspondiente al 10 de octubre de 1999, las líneas de baja retroreflectancia frente a la desembocadura del Sistema Grijalva-Usumacinta fueron generadas por un frente de pluma de río o descarga de sedimentos con una distancia alrededor de los 5 Km, las líneas de alta y baja retroreflectancia ubicadas en la región costera probablemente fueron generadas por la circulación de la zona. Por último, las zonas de alta retroreflectancia son al parecer producto de un importante

gradiente en los vientos. Esto coincide con lo reportado por Melsheimer *et al.* (1999), quienes reportaron zonas de alta retroreflectancia en el Mar Sur de China, asociado al cambio en la velocidad del viento y así mismo, reportado por Shirasago (1991), quien reportó que en otoño, el sistema Grijalva-Usumacinta continua manifestando su influencia en el ambiente marino con una distancia de 20 m fuera de la línea de la costa.

Entre las observaciones más importantes del 13 de octubre de 1999, destacaron: la presencia de una franja asociada a valores altos y bajos de retroreflectancia generado por las descargas del Río Tonalá con una dirección hacia el este. Es importante mencionar que el amortiguamiento (zona de baja retroreflectancia) en la zona costera observado a través de la línea de costa al sur de Veracruz que se extiende a más de 70 Km, posiblemente sea generado, por las concentraciones de pigmento por arriba de los 10 mg/m^3 en esta parte de la bahía. El giro ciclónico ubicado frente a las costas de Veracruz probablemente es generado por el forzamiento del viento a lo largo de todo el remolino. Estos registros coinciden con los reportados por Lichy *et al.* (1981); Beal *et al.* (1997); Martínez-Díaz-de-León *et al.* (1999), quienes afirman que los remolinos tienen una fuerte señal térmica que pueden expresar mediante el cambio del forzamiento del viento o por cambio en el forzamiento del viento a lo largo de todo el remolino. Por otra parte, Scott, (1986) y Johannessen *et al.* (1994), reportaron que la permanencia de material orgánico en el océano, en forma de película superficial, no depende sólo de la concentración de la película, sino también de la velocidad del viento. Algunos de los resultados han mostrado que, para vientos a más de 7 m s^{-1} , la mezcla oceánica superficial inducida por el viento redistribuye las capas oleosas de la superficie, evitando el amortiguamiento de las ondas de centímetros de longitud.

VI. CONCLUSIONES.

De entre las principales conclusiones y aportaciones de este trabajo, podemos destacar las siguientes:

1. Los fenómenos frecuentemente detectados con imágenes AVHRR fueron filamentos de mayor temperatura superficial frente a las costas del Estado de Veracruz, la intrusión de la Corriente de Yucatán en la Bahía de Campeche, la corriente proveniente del alto golfo y por último la existencia del giro ciclónico reportado anteriormente por diferentes autores, siendo este uno de los principales mecanismos de circulación en la bahía.
2. Se han presentado condiciones meteorológicas adversas y a pesar de ello se pudo observar por medio de imágenes de TSM, la corriente costera de menor temperatura en la costa oeste y una corriente cálida en la costa este, con una importante zona de convergencia en la zona central de la Bahía de Campeche.
3. La influencia de la Corriente de Yucatán se manifiesta mediante la generación de surgencias topográficas sobre el Banco de Campeche, la cual tiene una intrusión hasta las costas de Tabasco.

4. Del resultado del análisis de cada una de las imágenes SAR del ERS-2, se observaron detecciones de estructuras de mesoescala durante la época de estudio. En cada una de las series SAR se pudieron identificar en mayor o menor grado varios fenómenos costeros y oceánicos (frentes de pluma de ríos, remolinos, celdas de lluvia), los cuales fueron detectados debido a la modulación que estos fenómenos ocasionan en las ondas capilares.

5. Los campos de vientos diarios mostraron dos patrones similares en ambos meses, en septiembre obtuvimos un patrón de circulación principalmente del noroeste, este y suroeste, mientras que el mes de octubre fue notoria la existencia de una zona de convergencia en la región central de la Bahía de Campeche, asociada a la presencia de vientos del sur, sureste y suroeste.

6. La capacidad del SAR para detectar estructuras ha sido notoria principalmente bajo condiciones de vientos débiles, esto es entre magnitudes de 1 a 3 m/s. Por el contrario, cuando se presentan condiciones de vientos moderados a fuertes (6 a 8 m/s), hace que se incremente la señal de retroreflectancia. Asimismo, en algunos casos en donde se hicieron presentes procesos atmosféricos sobre la superficie del mar.

7. Los fenómenos importantes detectados frecuentemente fueron, frentes generados por los principales ríos de la región, una corriente costera proveniente del Banco de Campeche, un giro ciclónico con un diámetro de 30 Km frente las costas de Veracruz, el cual no había sido reportado anteriormente. La presencia de algunos de estos fenómenos fue corroborada en algunas ocasiones con imágenes NOAA.

8. Se pudo comprobar la gran utilidad de los sensores activos durante la época de estudio, al detectar estructuras marinas y oceanográficas, a pesar de las condiciones adversas. Lo anterior contrastó con las imágenes AVHRR y SeaWIFS, que presentaron en numerosas ocasiones una gran cobertura de nubes, siendo utilizadas en algunas ocasiones para confirmar la dirección de los vientos.

9. Por último, podemos destacar la importante dependencia que mostró el SAR a condiciones meteorológicas, las cuales no están relacionadas con la presencia de nubes, como en el caso de los sensores pasivos, sino directamente con condiciones de los vientos prevalecientes durante la adquisición de las imágenes.

VII. RECOMENDACIONES PARA FUTUROS ESTUDIOS.

Continuar con estudios de la dinámica superficial con una mayor cobertura de imágenes SAR a pesar de su alto costo; ya que los sensores pasivos se ven afectados por condiciones meteorológicas adversas. Dichos trabajos pueden contemplar una mayor información de datos *in situ* a pesar de que la obtención de los datos de campo son altamente costosos, ya que involucran el uso de equipo de medición y embarcaciones oceanográficas. Estos datos nos ayudaran a analizar los efectos que tienen estas estructuras mesoescalares en profundidad y por lo tanto las variables de temperatura, salinidad y densidad. También se recomienda contar con una amplia base de datos de estaciones meteorológicas en la zona que nos permitan inferir las respuestas a los diversos fenómenos oceanográficos costeros.

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

- Aguirre R. 2002. *Los mares mexicanos a través de la percepción remota* III.1. Instituto de Geografía, UNAM. Editorial Plaza y Valdés, México, 93 p.
- Beal, R. C., V. N. Kudryavtsev, D.R. Thompson, S.A. Grosky, D. G. Tilley, V.A. Dulov, & H. C. Graber. 1997. The influence of the marine atmospheric boundary layer on ERS-1 synthetic aperture radar imagery of the Gulf Stream. *Journal Geophys. Res.*, 102: 5799-5814.
- Behringer, D. W., R. L. Molinari & J. F. Festa. 1977. The variability of anticyclonic current patterns in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*,. 82. No. (34): 5469-5476.
- Benker, H. 1930. The bathymetric soundings of the oceans (with chronological list of ocean expeditions from 1800-1930) *Hydrologic Revist.*
- Bowman, M. J. & E. E. Wayne, 1978. Proceeding of the workshop, what is a front?. In: *Oceanic fronts in coastal processes. Proceeding of a workshop held at Marine Science Research Center, 1997*, 6-13 p.
- Brown, J., A. Clling, D. Park, J. Phillips, D. Rothery & J. Wright. 1995. *Ocean Circulation*. The Open University. Published in Association with Pergamon Press. 238 p.
- Candela, J., S. Tanahara., M. Crepon, B. Barnier, & J. Sheinbaum. 2003. Yucatan Channel flow: Observations versus CLIPPER ATL6 and MERCATOR PAM models, *Journal Geophys. Res.*, 108 (C12), 3385, doi:10.1029/2003JC001961.

- Chang & Oey. 2010. Eddy and wind-forced heat transports in the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 40, 2728-2742.
- Cochrane J. D. 1962. *Investigation of the Yucatan Current. In Oceanography and Meteorology of the Gulf of Mexico*. Texas A. and M. Dept. of Oceanography. Ref. 62-14A: 5-10.
- Cochrane, J. D. 1963. *Yucatan Channel. Annual report*. Department of Oceanography, Texas A&M University. Ref. 63-18A, 6-11p.
- Cochrane J. D. 1966. *The Yucatan Current. In Oceanography and Meteorology of the Gulf of Mexico*. Texas A. and M. Dept. of Oceanography. Ref. 66-23T: 14-32.
- Cochrane, J. D. 1972. Separation of an anticyclone and subsequent developments in the Loop Current (1969). In: apurro LRA, Reid JL (Ed.), *Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico*. Gulf Publishing Co., Houston, Texas, 91–106 p.
- Cruz-Ábrego, F. & F. Flores-Andolais, 1992, Distribución de moluscos y caracterización ambiental en zonas de descargas de aguas continentales del Golfo de México. Instituto de ciencias del Mar y Limnología, Estación Puerto Morelos, No. 713.
- De la Lanza-Espino, G. 2001. *Características físicas y químicas de los mares de México*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México y Plaza-Valdez, México, D.F. 149 p.
- De Cserna, Zoltan. 1989. An on line of the geology of Mexico, in Bally, A. W., y Palmer, A. R., eds., *The geology of North America—an over-view*: Boulder, Colorado, *Geological Society of America, The geology of North America*, A, 233-254 p.
- Elliott, B. A. 1982. Anticyclonic rings in the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 12, 1292-1309

- Ewing, Maurice & J. W. Antoine. 1966. New seismic data concerning sediments and diapiric structures on Sogsbee deep and upper continental slope Gulf of Mexico: *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, v. 50, 479-504 p.
- Expósito-Díaz, G., D. A. Salas-de-Leon., M. A. Monreal-Gómez., D. Salas-Monreal & F. Vázquez-Gutiérrez. 2009. Corrientes Inerciales en el sur del Golfo de México. *Ciencias de Mar*. vol.35 no.3
- Falkowski, P. & J. Raven. 1997. Aquistic Photosynthesis. Blackwell Sci., Massachussets, 375 p.
- Fernández-Eguiarte, A., Gallegos-Garcia & A. Zavala-Hidalgo. 1992. *Oceanografía Física. Masas de Agua y Mareas de los Mares Mexicanos. Atlas Nacional de México* (Hoja IV 9.1 Invierno) Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gaxiola-Castro, G. & F. Müller-Karger. 1998. *Seasonal phytoplankton pigment variability in the Eastern Tropical Pacific Ocean as determined by CZCS imagery*. En: Remote Sensing of the Pacific Ocean by Satellites. R. A. Brown (Ed). Earth Ocean & Space, Globe. 54-62 p.
- Hansen, K.S.1974. Calculations of normal modes for the American mediterranean seas. University of Chicago Teach. Republic, 26, 71 p.
- Hellerman, S. 1967. An updated estimate of the wind stress on the world ocean. *Mon. Weather Rev.*, 95: 607-626.
- Hellerman, S. 1977. An updated estimate of the wind stress on the world ocean. *Montly Weather Rev.*, 95, 607-626.
- Hellerman, S. 1978. An updated estimate of the wind stress on the world ocean. *Montly Weather Rev.*, 96, 63-64.

- Hurlburt, . E. & J. D. Thompson. 1980. A numerical study of Loop Current intrusion and eddy shedding. *Journal of Physical Oceanography*. Vol. 10, 1611-1651, 1980.
- Hurlburt, E. & J. D. Thompson. 1982. *The dynamics of the Loop Current and shed Eddies in a numerical model of the Gulf of México*. In J. C. J. Nihoul (Ed.), hydrodynamics of Semien closed Seas. Elsevier,.243-298 p.
- INEGI. 2010. Información Geográfica. En: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/español/datosgeogra>.
- INEGI. 2011. Información Geográfica. En: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/español/datosgeogra>.
- IOCCG 1999. Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group, nº 5', IOCCG, Darmouth, Canada.
- Johannessen, J. A., R. A. Shuchman, & O. M., Johannessen. 1994. Variability studies with SAR, on ERS-1, *Oceanographic Application of Remote Sensing*, Ikeda, M and Dobson, F. (Ed.), CRC Press Inc., Boca Raton, USA, un press
- Klemas, V., 1980. Remote sensing of coastal fronts and their effects on oil dispersion. *Internacional Journal of Remote Sensing*. Vol. 1, No. (1), 11-28.
- Lankford, R. R. 1997. *Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification, en Estuarine processes*, In:Wiley, M. (Ed.) Estuarine Processes. Academic Press Incorporation, Nueva York. 182 – 215 p.
- Leipper, D.F. 1970. A sequence of current patterns in the Gulf of Mexico. *Journal. Geophysical Research. M. 75*: 637-357.
- Lichy, D. E., Mattie, M. G. & Mancini, L. J. 1981. *Tracking of a warm wáter ring*. In: R. C. Beal, P. S. DeLeonibus and I. Ktz. (Ed.), SpaceborneSytheticAperture Radar for Oceanography. Jonh Hopkins Univ. Press, Baltimore, 171-182 p.

- López-Ramos, E.. 1979. *Geología de México*: México, D.F. edición privada: t. 2, 454 p.; t. 3. 453 p.
- Lowman P. D. 1965. *Space photography: a review*, In. Ewing, G. C (Ed.) *Oceanography from Space*. Wood Hole Oceanographic Institution, 73-90 p.
- Lugo-Hubp, J. Aceves-Quesada, & M. T. García- Arizaga.1990. *Mapas morfométricos de la República Mexicana: Niveles de base de erosión, Niveles de cimas, Profundidad de disección, Densidad de disección*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Atlas Nacional de México, hoja Morfometría 1, núm. IV.3.1, escala 1:8'000 000.
- Lugo-Fernández, A. 2007. Is the Loop Current a chaotic oscillator? *J. Phys. Oceanogr.*, 37, 1455–1469. & A. Badan, 2007: On the vorticity cycle of the Loop Current. *Journal de Mar Research*, 65: 471–489 p.
- Maul, G.A. 1977. The annual cycle of the Gulf Loop Current, Part I: Observations during a one-year time series, *Journal of Marine Research*, 35, 29-47.
- Maul. G.A. & F. M. Vukovich. 1993. The relationship between variations in the Gulf of México Loop Current and Straits of Florida volume transport. *J. Phys. Oceanogra.*, 23 (5), 785-796 p.
- Martínez-López & Pares-Sierra. 1998. Circulación del Golfo de México inducida por mareas, viento y la Corriente de Yucatán. *Ciencias Marinas*, marzo, año/vol. 24, número (011), - 69.-93 p.
- Melsheimer, C., W. Alpers, &M. Gade. 1999. *Simultaneous observations of rain cells over the ocean by synthetic aperture radar aboard the ERS-1/2 satellites and by weather radars*, in Proceedings of the 1999 international Geoscience and RemoteSensingSymposium (Hamburg, Germany), , IEEE Press, Piscataway, N. J. 194-196 p.

- Molinari, R. L. 1977. *Synoptic and mean monthly 200C topographies in the eastern Gulf of Mexico*. NOAA Tech. Memo. ERI AOML - -. Atl. Oceanogr. And Meteorol. Lab., Miami, Fla. 27-33 p.
- Melo, González. N., R. Pérez & S. Cerdeira. 1995. *Variación espacio-temporal de los pigmentos del fitoplancton en zonas del Gran Caribe, a partir de imágenes de satélite Nimbus 7 (CZCS)*. *Avicennia*, 3, 103-116 p.
- Melo, N., F. Müller-Karger, S. Cerdeira, R. Pérez, I. Victoria. P. Cárdenas & I. Mitrani. 2000. Near-Surface phytoplankton distribution in the western Intra-American Sea: The Influence of El Niño and weather events. *Journal of Geophysical Research*, 105 (6), 14029-140043
- Merrel, W. J Jr & J. M. Morrison. 1981. On the circulation of the Gulf of Mexico with observations from April 1978. *Journal Geophysical Research*, 86, 4181–4185.
- Molinari, R. L., Festa & D. W. Behringer. 1978. The circulation in the Gulf of Mexico derived from estimated dynamic height fields. *Journal of Physical Oceanography*, 8:(6), 987-996.
- Molinari, R. L. 1980. Current Variability and its relation to sea-surface topography in the Caribbean Sea and the Gulf of México. *Mar. Geod.*, 3: 409-436.
- Monreal-Gómez, M.A & D.A. Salas-de-León. 1990. Simulación de la Circulación de la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, 29(2), 101-111.
- Monreal-Gómez, M.A & D.A. Salas-de-León. 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. In: Lavín-Peregrina MF (Ed.), *Oceanografía Física en México*. Monografía No. 3 de la *Unión Geofísica Mexicana*, 183–199 p.

- Murray, S. P., 1975. Wind and current effects on large scale oil slicks. Proceedings of the Seventh Annual Offshore Technology Conference. Houston, Texas. May 5-8, 1975. 523-533.
- Nowlin, W. D. & H. J. McLellan. 1967. A characterization of the Gulf of Mexico waters in winter. *Journal of Marine Research*. . 25 (1), 29-59 p.
- Nowlin, W. D. Jr. 1972. *Winter circulation patterns and property distributions*. In: Capurro LRA, Reid JL (eds.), Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Gulf Publishing Co., Houston, Texas. 3–15 p.
- Nowlin, W. D. Jr. & J. M. Hubertz. 1972. *Constrasting summer circulation patterns for the eastern Gulf-Loop Current versus Anticyclonic Ring*. In: L.R.A. Capurro and J. L. O. Reids (Ed.), Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico, Vol. 2 Gulf Publishing, Houston.119-138 p.
- Obeso-Nieblas. 2003. *Variabilidad espacio-temporal de las condiciones oceanográficas de la bahía de La Paz, B. C. S., México*. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN. 34 p.
- Ochoa, J., H. Sheinbaum., A. Badan., J. Candela & D. Wilson, 2001: Geostrophy via potential vorticity inversion in the Yucatan Channel. *Journal of Marine Research*, 59, 725-747 p.
- Oey, L. & T. Ezer & F. Muller-Karger, 2007. Modeling and satellite observations of baroclinic tidal flows and inundation processes in Cook Inlet, Alaska, *Ocean Dynamics*, DOI 10.1007/s10236-007-0103.
- Padilla & R. J. Sánchez. 1986. Post-Paleozonic tectonics of northeast Mexico and its role on the evolution of the Gulf of Mexico: *Geofísica Internacional (México)*, 25, 157-206 p.
- Parr, A. E. 1935. Report of hydrographic observations in the Gulf of Mexico and the adjacent straits made during the Yale Oceanographic Expedition of the "Mabel Taylor), in 1932. *Bull. Bringham Ocean, Collect.* (5), 1-93 p.

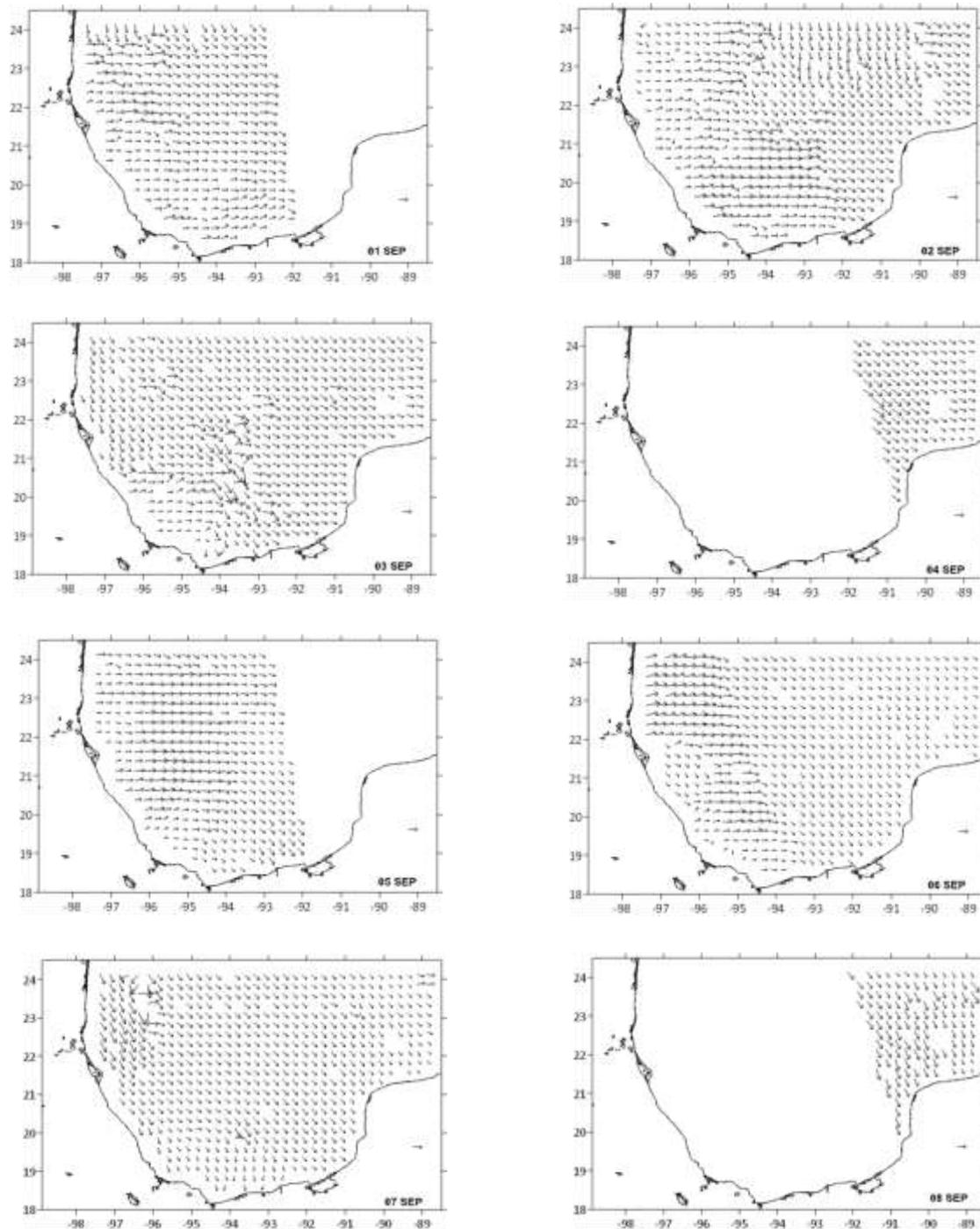
- Pickett M. H., W. Tang, L. K. Rosenfeld & C. H. Wash. 2003. QuikSCAT satellite comparisons with near shore.
- Piñeiro, R., E. Giménez, V. Moreno, R. Burgos & A. Bentazos. 2001. Características térmicas del Banco de Campeche. *INP. SAGARPA. México, Ciencia Pesquera No. 15.*
- Reid, R. O. 1972. *A simple dynamic model of the Loop Current.* In: L.R.A. Capurro and J. L. Reid. (Ed.), *Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of México, Vol. 2.*
- Romanou, A., E. P. Chassignet, and W. Sturges, 2004. The Gulf of Mexico circulation within a high resolution numerical simulation of the North Atlantic Ocean. *Journal Geophysical Research*, 109, CO1003, doi: 10.1029/2003cj001770.
- Salas-de-León, D.A & M.A. Monreal-Gómez. 1986. *The role of the Loop Current in the Gulf of Mexico fronts.* In: Nihoul JCJ (Ed.), *Marine Interfaces Ecohydrodynamics.* Elsevier Oceanographic Series.295–300 p.
- Salas-De-Leon, D. A. 1986. *Modelisation de la marée M2 et de circulationesiduelledans le Golfe du Mexique,* Ph. D., Université de Liège, LiègeBelgium. Thesis. 239 p.
- Salas-de-León, D. A. & M. A. Monreal Gómez. 1997. Mareas y circulación residual en el Golfo de México. In: Monografía No. 3 “Oceanografía Física en México”, M.F. Lavín Peregrina, ed. *Unión Geofísica Mexicana.* México. 201-223 p.
- Salas-de-León David A., M.A. Monreal-Gómez., D. Salas-Monreal., G. E. Díaz., M. L. Riverón-Enzastiga & F. Vázquez-Gutiérrez. 2007. Tidal Current Components in the Southern Bay of Campeche, Gulf of Mexico., *Geofísica Internacional (2007)*, 46,(2),141-147 p.
- Sathydranath, S. & T. Platt. 1993. *Remote sensing of water-column primary production.* *International Council for Exploration of the Sea Marine Science Symposium*, 197, 236-243 p.

- Scott, J. C. 1986. Surface films in oceanography ONRL Workshop Rep. C-11-86, Off. *Navy Research*, London, 19-34 p.
- Signoret M., J. Aldeco & M. T. Barreiro. 2006. Variabilidad de perfiles de clorofila a obtenidos por fluorescencia natural en el oeste y centro de Golfo de México en junio 1999. *Hidrobiología* 16 (3), 221-232).
- Simpson, J. H. & I. D. James, 1986. Coastal and estuarine fronts. In: Baroclinic processes on continental Shelves. *Coastal and Estuarine Sciences*, 3. American Geophysical Union, 63-93 p.
- Sheinbaum, J., J. Candela, A. Badan, & J. Ochoa, 2002: Flow structure and transport in the Yucatan Channel. *Geophysical Research Letters*, 29, 10-1 to 10-4.
- Shirasago-German. 1991. *Hidrografía y Análisis Frontogénico en el Sur de la Bahía de Campeche*. Universidad Autónoma de México. 8 p.
- Shirasago. 1996. *Aplicaciones del radar de apertura sintética (SAR) del satélite ERS-1 al estudio de la dinámica superficial de mesoescala en el mediterráneo occidental*. Tesis de doctorado. Institut de Ciències del Mar, 257 p.
- Sturges, W. & J. P. Blaha. 1976. Western boundary current in the Gulf of Mexico. *Science*, 192, 367-369.
- Sturges, W. 1993. The annual cycle of the western boundary current in the Gulf of Mexico, *Journal Geophysical Research*, 98, 10, 18,053.18.068.
- Sturges, W. & B. G. Hong. 2000. Gulf Stream transport variability at periods of decades, *Journal Physical Oceanography*, 31, 324–332
- Toledo-Ocampo A. 1996. *Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México*. En: Botello A. V., Rojas-Galaviz J. L., Benítez J. G. y Zarate-Lomelí D. (Eds.) *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche. 1-24 p.

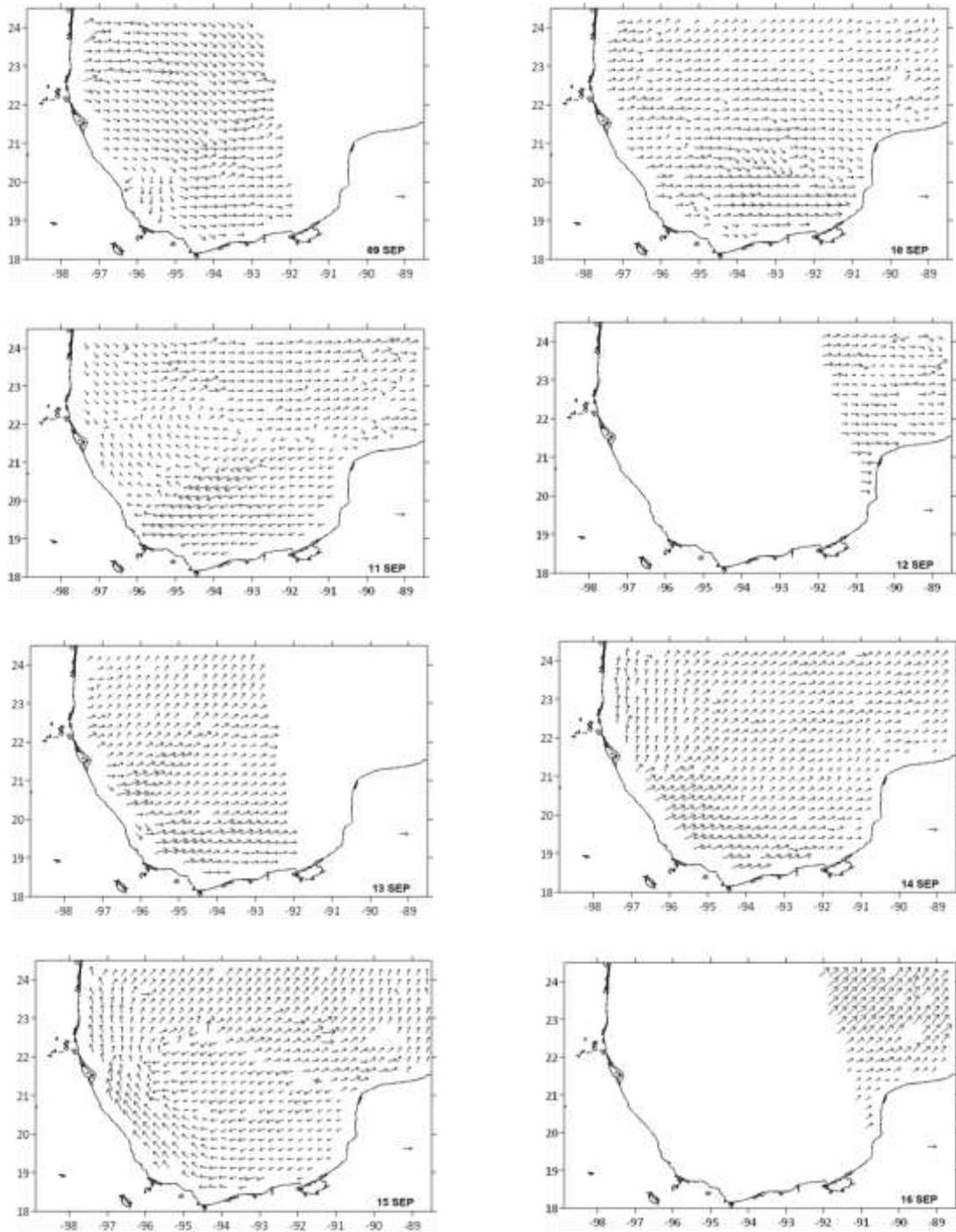
- Trujillo-Bolio M. 2005. *El Golfo de México en la centuria decimonónica. Entornos geográficos, Investigaciones Geográficas (Mx)*. Reseña de "El Golfo de México en la centuáficos, formación portuaria y configuración marítima" de Investigaciones Geográficas (Mx) Universidad Nacional Autónoma de Méxicoedito@igiris.igeograf.unam.mx ISSN (Versión impresa): 0188-4611.
- Uda, M., 1958. General consideration on the fluctuation of Tusima current-system and its related fisheries conditions. *Rep. Tusima Current Research Prject, Japanese Fisheries Agency*. 1: 501-38
- Vázquez de la Cerda, A. M. 1993. *Bay of Campeche Cyclone*. Tesis de doctorado. Texas A&M, University. 91 p.
- Vukovich, F. M. and G. A. Maul. 1985. Cyclonic eddies in the eastern Gulf of Mexico. *J. Phys. Oceanogr.*, 15: 105-117 p.
- Zavala, J., A. Parés-Sierra & Ochoa.1996. On the seasonal circulation and sea surface temperature in the Gulf of Mexico: A numerical study. Part I: Circulation. Envied to *Journal of Geophysical Research*.
- Zavala-Hidalgo, J., S. L. Morey & J. J. O'Brien. 2003. Cyclonic eddies northeast of the Campeche Bank from altimetry data, *Journal Physical Oceanography*, 33, 623– 629.
- Zavala-Hidalgo, J., A. Gallegos-Garcia, B. Martínez-López., S. L. Morey & J. J. O'Brien.2006. *Ocean Dynamics* 56, 333–338 DOI 10.1007/s10236-006-0072-3
- Vázquez de la Cerda, A. M. 1993. *Bay of Campeche Cyclone*, Ph. D. Dissertation, Department of Oceanography, Texas A&M University, College Station, Texas. 91 p.
- Weihaupt, J. G. 1984. *Exploración de los océanos. Introducción a la Oceanografía*. Compañía Editorial Continental, México. 640 p.

Yáñez-Arancibia, A. & J. Day. 2004. The Gulf of Mexico: Towards an integration of coastal management and large marine ecosystem management. *Ocean Coast. Manag.* 47: 537–563.

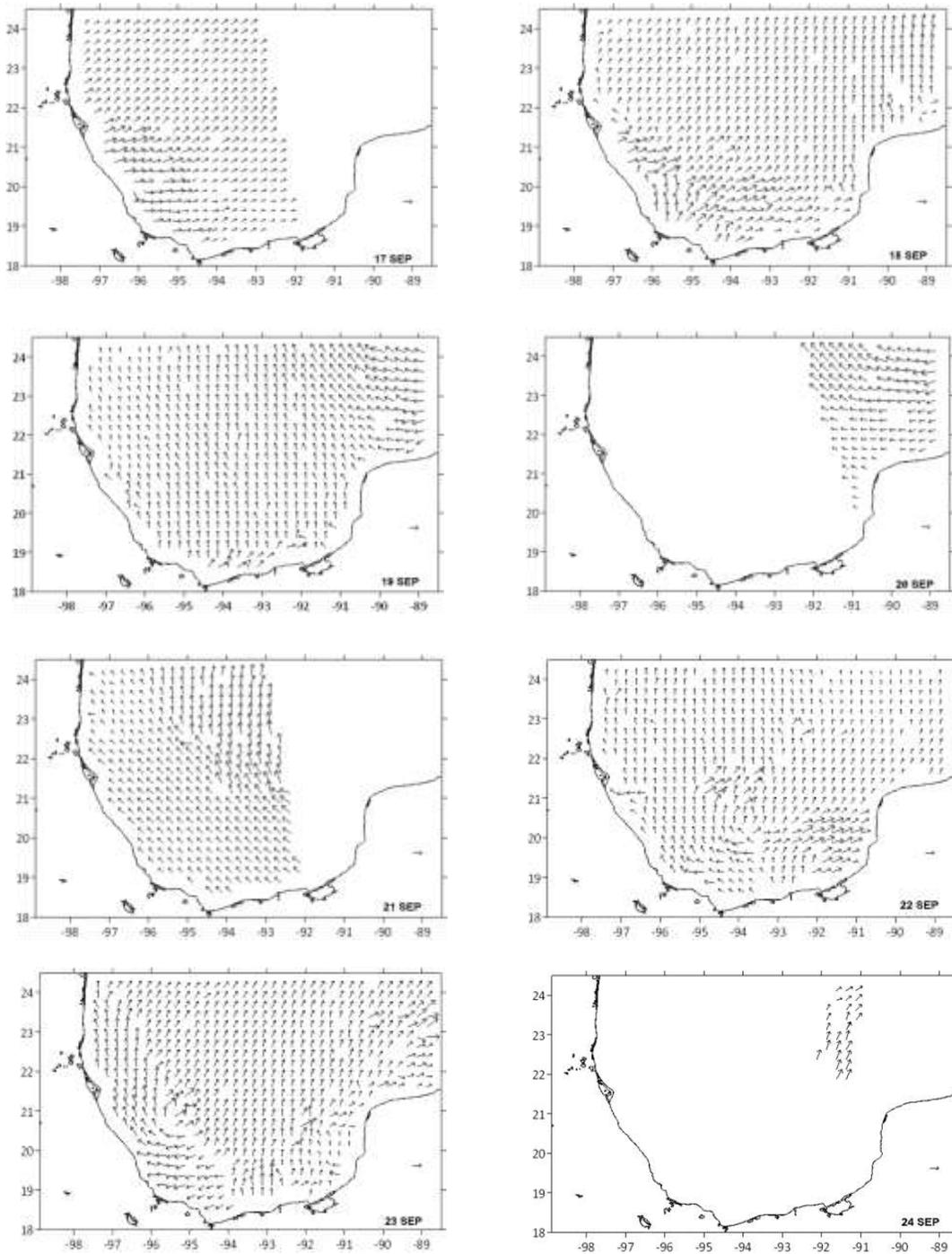
ANEXOS



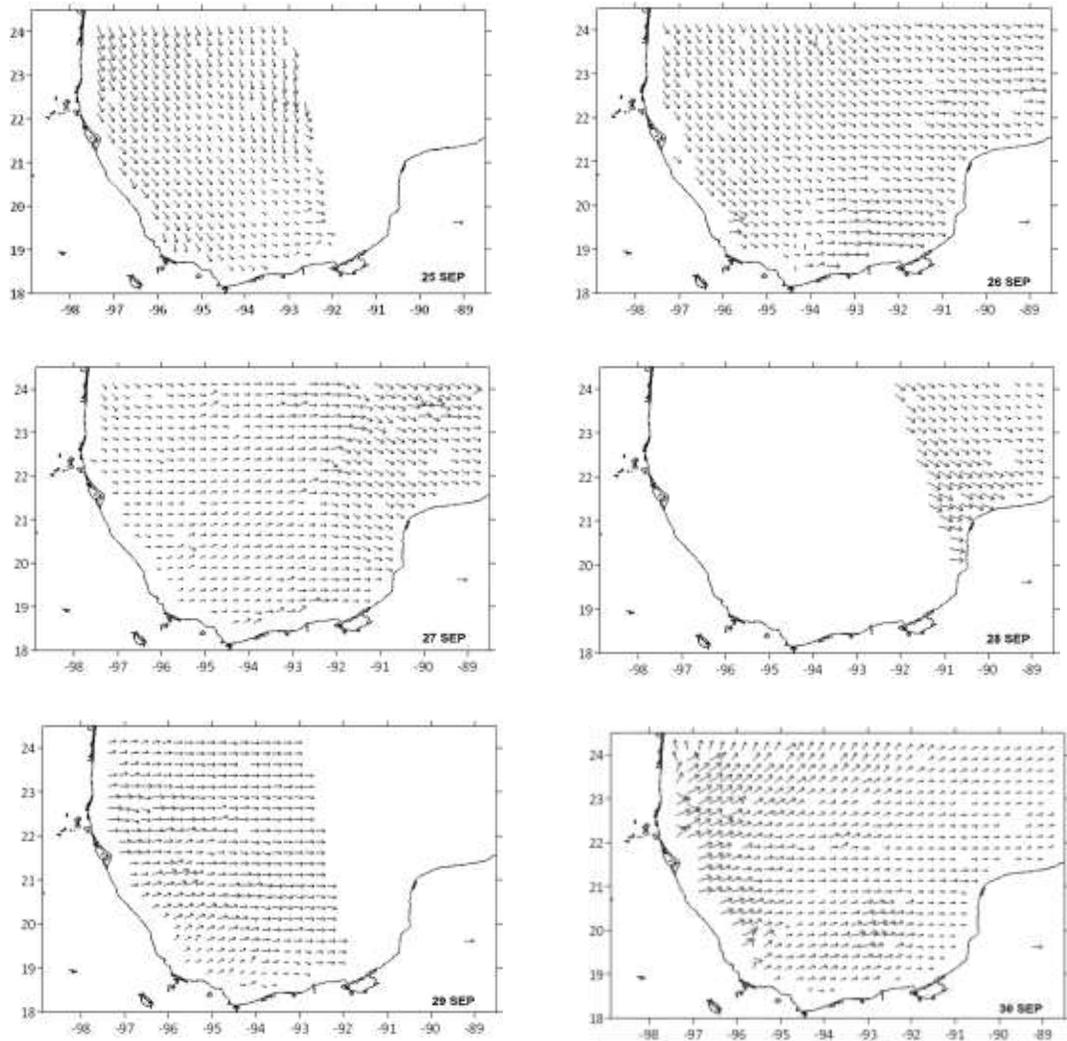
Anexo 1. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 1 al 8 de septiembre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.



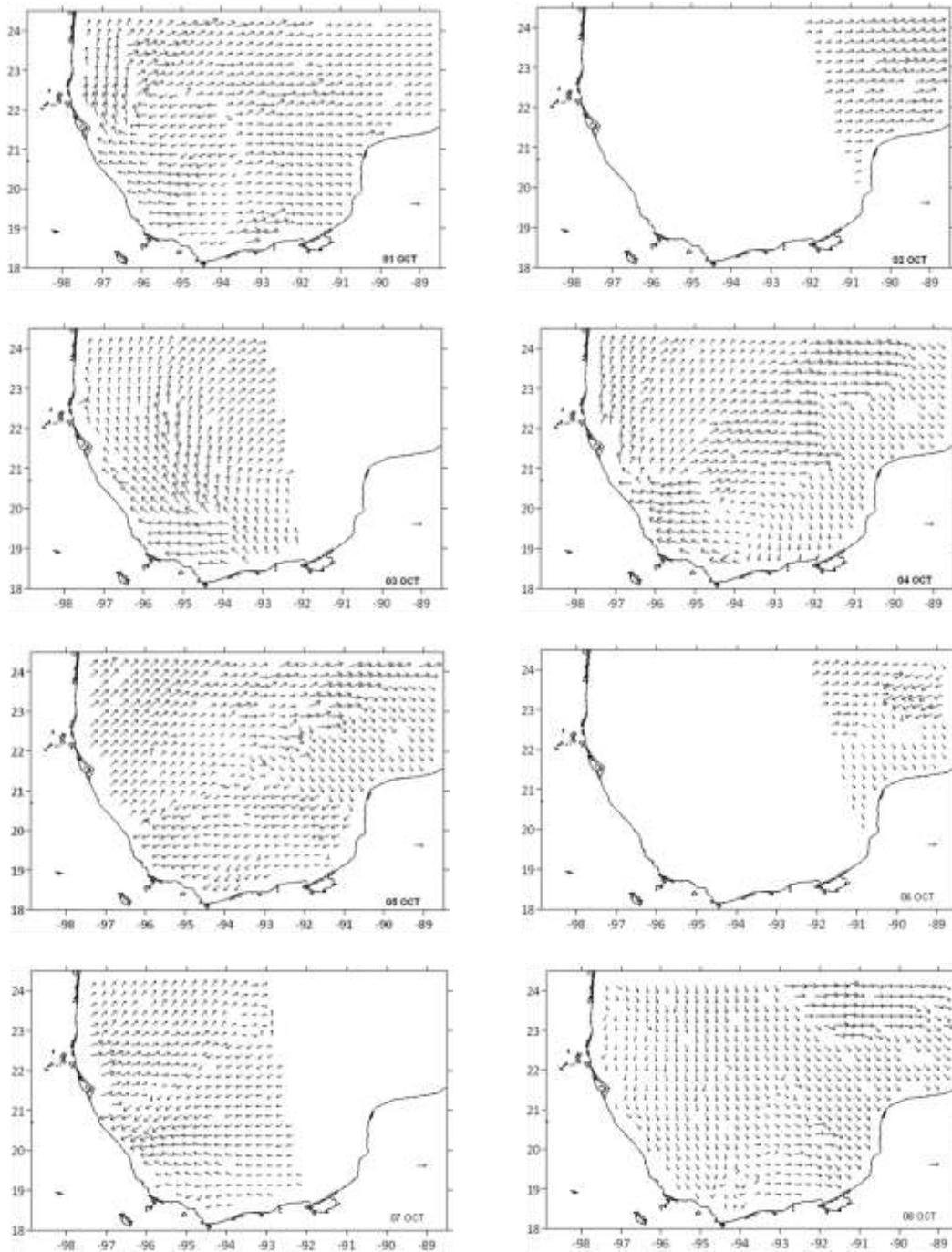
Anexo 2. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 9 al 16 de septiembre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.



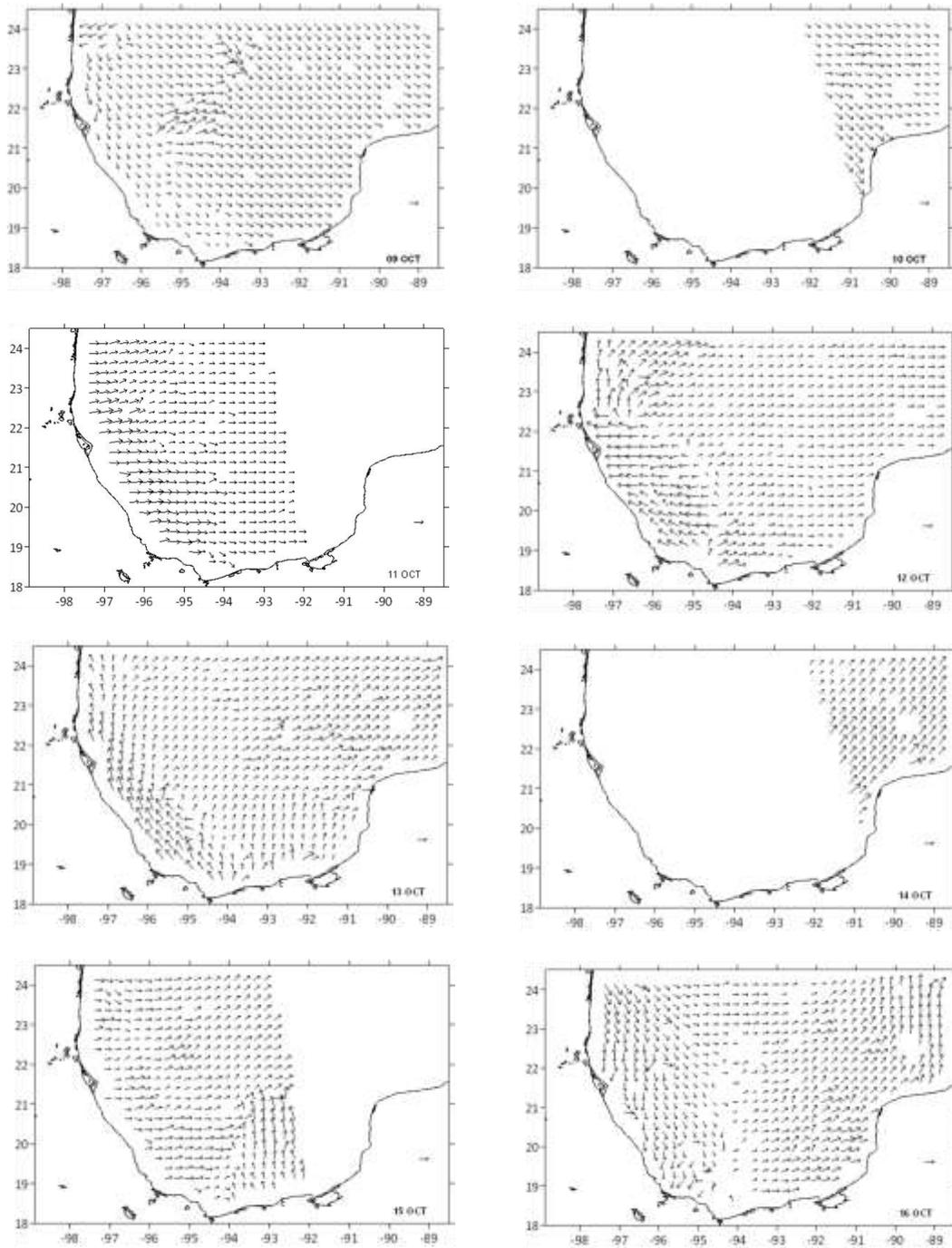
Anexo 3. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 17 al 24 de septiembre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.



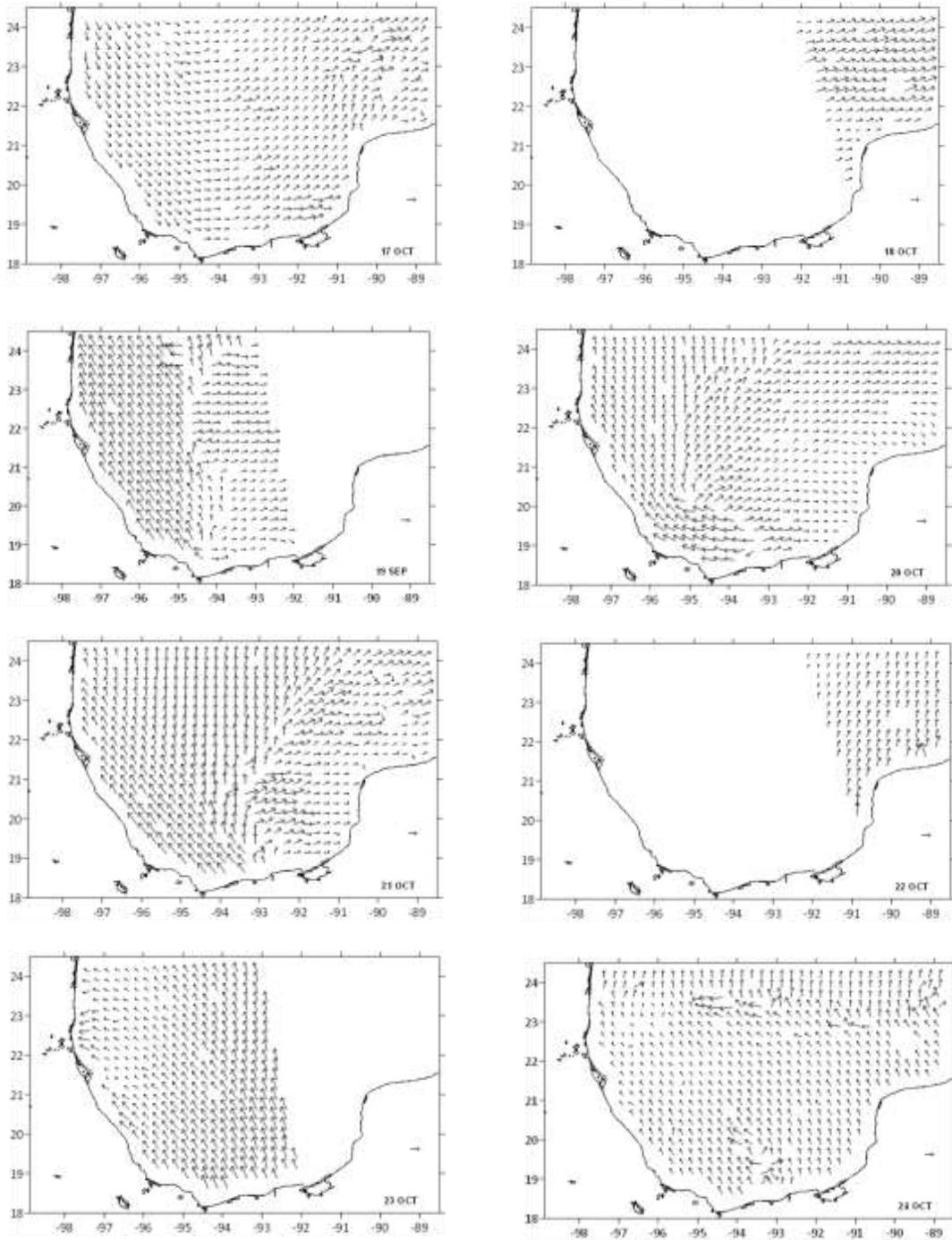
Anexo 4. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 25 al 30 de septiembre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.



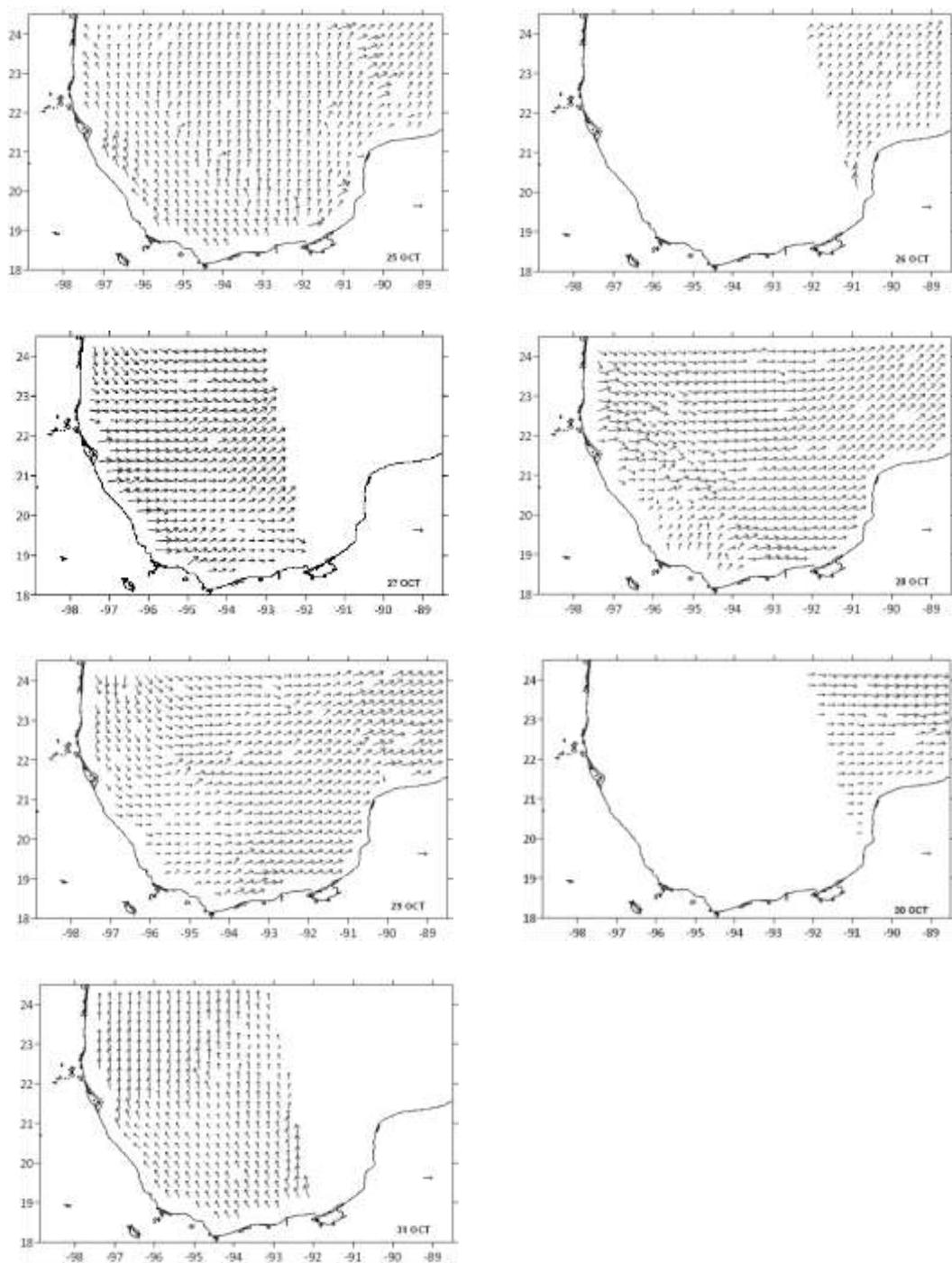
Anexo 5. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 1 al 8 de octubre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.



Anexo 6. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 9 al 16 de octubre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.



Anexo 7. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 17 al 24 de octubre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.



Anexo 8. Campos de vientos en la Bahía de Campeche, del 25 al 31 de octubre de 1999 del sensor QuikSCAT, paso ascendente.