

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



**CIRCULACIÓN COSTERA EN EL SISTEMA ARRECIFAL
VERACRUZANO DURANTE MAYO-JUNIO, 2007.**

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA

VANESSA CLAUDIA ROBLEDO HURTADO

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, ENERO 2011.

RESUMEN

Se analizaron series de tiempo de corrientes y viento así como datos de la estructura hidrológica tomados en inmediaciones del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (**PNSAV**), con la finalidad de identificar los principales forzamientos que afectan la circulación en dicha zona, durante el periodo de mayo - junio del 2007, época considerada como de transición entre los periodos de “**estiaje**” y “**lluvias**” o de “**nortes**” y “**no-nortes**”. Los datos de corrientes, fueron tomados mediante el anclaje de un **ADP** (*Acoustic Doppler Profilers*) por 30 días frente a Punta Mocambo, Veracruz y mediante transectos realizados con un **ADP** cubriendo el **PNSAV**. Al final de cada uno de los transectos realizados, se midió con un **CTD** (*Conductivity, Temperature and Depth*) la estructura hidrológica en la zona; así mismo, se consideraron las condiciones climatológicas, principalmente el viento (dirección y magnitud), por considerarse como los principales forzamientos que influyen en la dinámica de la zona. Los resultados obtenidos, mostraron una zonificación del **PNSAV**, con tres regiones definidas por la batimetría, la estructura termohalina y condiciones de viento en, **a)** zona norte, donde las corrientes presentan dos direcciones bien definidas a partir de la isobata de los 40m, la costera con dirección hacia el **sur** (13.6 cms^{-1}) y la segunda con dirección hacia el noroeste (28.3 cms^{-1}); **b)** zona central, evidenciándose diferencias importantes en la dirección y magnitud de la corriente en superficie como al integrar la columna de agua, la dirección predominante fue hacia el noroeste (18.6 cms^{-1}) y **c)** zona sur, donde se observó la presencia de un remolino ciclónico frente al río Jamapa, como un efecto de Punta Antón Lizardo, los bajos de la zona sur del **PNSAV** y por la estructura termohalina ya que en esta región, fue donde se mostraron los gradientes más intensos con la presencia de agua de mayor profundidad (frías y densas) y el efecto de la desembocadura del río Jamapa y Alvarado. De acuerdo con el análisis de *Brunt Väisälä*, se definió a la columna de agua como bien estratificada para las estaciones cercanas a la costa, no así para las alejadas a ésta. La pycnoclina se determinó a los 5m de profundidad. Las condiciones de viento y marea, fueron similares durante las perfilaciones, siendo **noroeste** y **bajamar** respectivamente. Por otro lado, el ADP anclado, permitió observar la variación en la dirección y magnitud de la corriente, asociada fuertemente a los periodos de marea viva evidentes de igual forma con los registros de temperatura por el mismo equipo. El análisis de correlación vectorial compleja entre las distintas series de viento, mostraron una alta correlación (**amplitud < 0.78**) para las condiciones de “nortes”, no así para las de “no nortes” (**amplitud >0.5**), la mejor correlación la mostraron las estaciones ubicadas en los puertos de Veracruz y Alvarado.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

**CIRCULACIÓN COSTERA EN EL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO
DURANTE MAYO-JUNIO, 2007.**

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENER EL GRADO DE


MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA

VANESSA CLAUDIA ROBLEDO HURTADO

Aprobada por:


DR. ADÁN MEJÍA TRÉJO
DIRECTOR DE TESIS


Dr. David Salas Monreal
Sinodal


DR. JOSÉ RAFAEL BLANCO BETANCOURT
SINODAL

DEDICATORIA

AL TESORO MÁS GRANDE: MIS HIJOS DAVID Y ALAN.

A TI CORAZÓN, MIL GRACIAS!!!

A MIS PADRES Y HERMANOS POR SU CARIÑO INMENSO...

*Nada sucede, si antes no lo soñamos....
Carl Sandburg*

AGRADECIMIENTOS

A MI **COMITÉ DE TESIS**, por creer en este proyecto, por su amistad y paciencia, mil gracias!!!! Porque cada comentario suyo, retroalimentó y me hizo crecer como profesional, con toda admiración y respeto: Dr's. Adán Mejía Trejo, David Salas Monreal y José Rafael Blanco Betancourt.

A TODO EL PERSONAL **ACADÉMICO, TÉCNICO Y ADMINISTRATIVO** de la H. FCM y del IIO de la **UABC**, mi alma mater!!!!!!gracias por la oportunidad de regresar y seguir preparándome.

A LA **SECRETARÍA DE MARINA-ARMADA DE MÉXICO**, por la oportunidad de ser y crecer en esta hermosa profesión: OCEANÓLOGO.

A mis amigos y compañeros del Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe, muy en especial al personal de la Subdirección de Oceanografía, por esos cinco años de continuo aprendizaje: a mí maestro y amigo con todo cariño y respeto Alberto Acuña Uscanga (†), al Cap. Othón Berlanga por llegar en el momento justo así como a José Antonio Rivera, Erik, Amancio, Delia, José A., Edwalt, Hugo, Julián, Verónica, por permitirme integrarme y ser parte de un excelente grupo de trabajo!!!!!!

A los chicos de la brigada hidrográfica del IOGyMC con quien tuve la oportunidad y el placer de trabajar, aprender y admirar su dedicación por esto que es el trabajo oceanográfico en campo, mil gracias por aguantarme en cada campaña, los llevo en mi corazón!!!!!!

Al Cap. Armando Nava y a mis amigas Verónica y Maricela, sin Uds. mi estancia en Ensenada, hubiese sido un verdadero caos; gracias por las porras, los abrazos y tanto, tanto cariño!!!!!!

A la Tte, M.C., pero sobre todo amiga y excelente compañera, Nidia T. Angulo Larios, por que con su ejemplo y dedicación, inspira a seguir adelante y aprender cada día más!!

Al Cap. Francisco Hernández, por creer en el proyecto de la oceanografía costera.

A **MIS AMIGAS**, a Uds. con especial cariño por que jamás tendré forma de agradecerles todo el apoyo, sobre todo durante las épocas de crisis, gracias por hacerme sentir como en casa, en familia: ANA MARÍA (incluyendo a mis enanos, Pablo E. y Mariana) y BEATRIZ.

A **MIS COMPAÑEROS DEL POSGRADO**, sobre todo a Alethia, Aarón y Emyr; chicos, sin Uds. no la hubiera hecho, gracias por la compañía y los desvelos.

A **CONACyT** por la beca proporcionada durante mis estudios de posgrado.

A todas las personas (por que la lista es interminable) que de una u otra forma, estuvieron conmigo, siempre al pendiente y con ese dulce comentario ¡¡¡ANIMO, TU PUEDES!!!!!!

MIL GRACIAS A TODOS!!!!!!

ÍNDICE		PÁGINA.
I.	INTRODUCCIÓN	1
	I.1. Antecedentes	8
	I.2. Objetivos	21
	I.2.1. General	21
	I.2.2. Particulares	21
II.	MÉTODOS	21
	II.1. Descripción del área de estudio	21
	II.2. Metodología	27
	II.2.1. Obtención de datos.	27
	II.2.2.-Localización y características de las mediciones.	
	Pre-tratamiento de las series.	
	II.2.2.1. Anclaje de ADP.	29
	II.2.2.2. Perfilaciones con ADCP.	31
	II.2.2.3. Características hidrográficas (CTD).	36
	II.2.2.4. Condiciones meteorológicas.	38
	II.2.2.5. Nivel del mar.	38
	II.2.2.6. Imágenes de satélite	40
	II.2.3. Tratamiento de las series.	
	II.2.3.1. Correlación vectorial compleja.	41
III.	RESULTADOS	42
	III.1. Batimetría	43
	III.2. Vientos (condiciones meteorológicas).	45
	III.3. Nivel del mar.	50
	III.4. Estructura hidrográfica.	52
	III.5. Corrientes.	62
	III.5.1. Anclaje de ADP.	62
	III.5.2. Perfilaciones con ADCP.	66
IV.	DISCUSIONES	77
V.	CONCLUSIONES	89
VI.	REFERENCIAS	

LISTA DE FIGURAS

		<i>Página.</i>
Figura 1.	Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).	3
Figura 2.	Esquematación de la circulación general en el Golfo de México y Atlántico Norte. Tomado de <i>Oey et al.</i> 2005.	9
Figura 3.	a) Esquema que representa la regionalización de la circulación costera para el Golfo de México y b) promedio de la salinidad superficial y del campo de velocidad de la corriente para los periodos mayo-agosto (“no nortes”) y octubre-febrero (“nortes”). Ambas figuras tomadas de Zavala-Hidalgo <i>et al.</i> (2003).	11
Figura 4.	Esquema del sistema de vientos en el Golfo de México para distintos días del 2008. Datos tomados de QuikSCAT para diferentes épocas del año. Nótese para a y c , la variabilidad en dirección e intensidad de la velocidad para un periodo de 24 hrs. En a , lado derecho muestra un evento de “norte”; en c , esquema típico de vientos “alisios” para esta región.	13
Figura 5.	Localización del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV); la línea roja punteada, delimita de manera imaginaria, la zonificación norte y sur, producida por la descarga del río Jamapa. La fotografía muestra la desembocadura y estructuras de protección del río Jamapa.	23
Figura 6.	Batimetría de la zona de estudio. Se denota la posición del anclaje del correntímetro tipo <i>Argonaut</i> (ADP) modelo XR (●) y de las estaciones de muestreo con el CTD Seabird SB19 (●).	24
Figura 7.	Precipitación anual para el Puerto de Alvarado, Ver., durante el 2007. Las líneas rojas, delimitan el periodo de registro de corrientes en el PNSAV . Datos tomados de Comisión Nacional del Agua.	25
Figura 8.	a) Correntímetro tipo <i>Argonaut</i> modelo XR de 1500 kHz. Tomado de http://www.sontek.com b) Equipo de medición montado en la estructura de acero inoxidable, previo a la maniobra de anclaje.	31
Figura 9.	Trayectorias del arrastre para la medición de corrientes mediante el ADCP-Sentinel de RDI donde la trayectoria en amarillo indica el día 21, en rojo el 22 y en verde el 25, todos de junio del 2007.	33

- Figura 10.** Imagen que muestra la variación en las lecturas realizadas por los cuatro haces sónicos del ADCP. La línea en rojo (BEAM 1), es el que presentó problemas en su lectura. 34
- Figura 11.** Visualización de los registros de corriente por el ADCP utilizando el software Winriver II en un transecto del PNSAV. a) sin promediado, datos crudos, b) aplicándole los 10' de promediado en su esquema de medición. Obsérvese el cambio en la calidad de los mismos. 36
- Figura 12.** Lance del CTD marca *Seabird*, para la obtención de características hidrográficas en la columna de agua, durante las trayectorias realizadas con el ADCP. 38
- Figura 13.** Localización de las estaciones meteorológicas (●) y mareográfica (●) pertenecientes a Comisión Nacional del Agua y Secretaria de Marina. Revisar texto de cada una de estas variables y Tabla I para mayor referencia. Las fotografías corresponden a la ubicación de la estación meteorológica **EMA** y mareógrafo localizados en Punta Antón Lizardo propiedad de **SEMAR**. 40
- Figura 14.** Batimetría del **Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV)**, obtenida a partir de los datos del **ADCP** y la interpolación con datos tomados de la carta **SM 821.2** editada por **SEMAR**. 45
- Figura 15.** Dirección y magnitud del viento para las estaciones meteorológicas localizadas en los puertos de Veracruz y Alvarado, Antón Lizardo y **QuikSCAT** durante el 2007. Las líneas rojas, delimitan la estacionalidad típica para el **GM**. 47
- Figura 16.** Dirección y magnitud del viento para las estaciones meteorológicas en los puertos de Veracruz y Alvarado y Antón Lizardo durante mayo-junio del 2007. (Fuente **CNA** y **SEMAR**). Las líneas rojas, delimitan el periodo en el cual estuvo registrando el correntímetro **ADP** tipo *Argonaut*. 49
- Figura 17.** Día típico de la magnitud del viento durante: a) mayo y b) junio, ambas para la estación meteorológica localizada en el puerto de Veracruz (**CPG**). 50
- Figura 18.** Registro de la altura del nivel del mar obtenido para el PNSAV. La línea azul corresponde al sensor de presión del ADP anclado frente a Punta Mocambo, Veracruz del 29 de mayo al 28 de junio del 2007 (*medida, ΔP*) y la línea en negro a la correspondiente a la red mareográfica del CICESE (*predicción, η_{Ver}*). 51

Figura 19.	Perfiles verticales de salinidad y temperatura en el PNSAV . Datos obtenidos durante el arrastre del ADCP , al inicio y final de cada uno de los transectos. La elipse en rojo, denota la influencia del río Jamapa en el perfil vertical de salinidad.	54
Figura 20.	Distribución vertical de a) temperatura [°C], b) salinidad [ups] a 2m de profundidad durante el periodo de muestreo en el PNSAV . La flecha roja, indica la desembocadura del río Jamapa.	55
Figura 21.	Transectos de temperatura, densidad, salinidad y frecuencia de <i>Brunt Väisälä</i> en la porción norte del PNSAV en a) cercana a la costa, estaciones 1 y 2 y b) alejada de la costa, estaciones 8 y 9.	58
Figura 22.	Transectos de temperatura, densidad, salinidad y frecuencia de <i>Brunt Väisälä</i> en la porción centro del PNSAV en a) cercana a la costa, estaciones 5, 4 y 10 y b) alejada de la costa, estaciones 10 y 11.	60
Figura 23.	Transectos de temperatura, densidad, salinidad y frecuencia de <i>Brunt Väisälä</i> en la porción sur del PNSAV en a) cercana a la costa, estaciones 5, 6 y 7 y b) alejada de la costa, estaciones 11 y 12.	62
Figura 24.	Series de tiempo de: a) nivel del mar, predicha [m], b) dirección y magnitud de la corriente [cm s^{-1}], c) temperatura del agua [°C], obtenidos del ADP instalado a 20 m de profundidad en Punta Mocambo, Ver., del 31 de mayo al 28 de junio del 2007 y d) dirección y magnitud [m s^{-1}] del viento de la estación meteorológica localizada en el Puerto de Alvarado (proporcionados por CNA), para el mismo periodo de tiempo. El recuadro en azul, denota la modulación diurna en este parámetro. Las flechas indican los periodos de cambio en la dirección asociados al incremento en el valor de la temperatura marcados con círculos; nótese la correlación con el periodo de mareas vivas.	65
Figura 25.	Espectro de frecuencia de la componente U y V de la serie de tiempo de corrientes medida del 31 de mayo al 28 de junio del 2007, mediante un ADP tipo <i>Argonaut</i> , en el PNSAV.	66
Figura 26.	Corriente superficial (3-6 m de profundidad) obtenido mediante perfilación con ADCP en la zona de Bahía Vergara, Ver., el 21 de junio del 2007. A la derecha, las condiciones del viento y nivel del mar delimitadas por las líneas rojas para el periodo que duró el perfil.	68
Figura 27.	Diagrama de contornos obtenido a partir del arrastre de ADCP en la zona de Bahía Vergara, Ver., el 21 de junio del 2007. El análisis muestra la dirección predominante para dicho transecto, sureste en la porción cercana a la costa y noroeste en la porción alejada de la costa.	69

- Figura 28.** Corrientes a) superficiales (3-6 m de profundidad) y b) columna integrada, obtenidos mediante perfilaciones con ADCP frente a la dársena del Puerto de Veracruz, Ver el 22 de junio del 2007. A la derecha, las condiciones del viento y nivel del mar delimitadas por las líneas rojas para el periodo que duró el perfil. 71
- Figura 29.** Corrientes a) superficial (3-6 m de profundidad) y b) columna integrada, realizados mediante perfilaciones con ADCP en la porción central del PNSAV, el 22 de junio del 2007. A la izquierda, las condiciones del viento y nivel del mar delimitadas por las líneas rojas para el periodo que duró el perfil. 73
- Figura 30.** Corrientes a) superficial (3-6 m de profundidad) y b) columna integrada realizados mediante perfilación con ADCP frente al río Jamapa, Boca del río, Ver., el 22 de junio del 2007. A la derecha, las condiciones del viento y nivel del mar delimitadas por las líneas rojas para el periodo que duró el perfil. 75
- Figura 31.** Transecto de corrientes realizados mediante perfilaciones con ADCP en la zona del Corredor turístico Veracruz-Boca del río, Ver, el día 25 de junio del 2007. . A la izquierda, las condiciones del viento y nivel del mar delimitadas por las líneas rojas para el periodo que duró el perfil. 77
- Figura 32.** Mapas de altura dinámica para el GM (izquierda) e imagen compuesta mensual de temperatura superficial del mar (derecha), obtenidas de NOAA y SeaWiFS respectivamente, durante a) mayo y b) junio del 2007. La zona remarcada en círculo en negro, corresponde al área de estudio y remarca también, la diferencia en intensidad del giro ciclónico presente. Obsérvese la disminución de la temperatura superficial (recuadro en azul) durante junio, debido al aumento en intensidad del remolino ciclónico. 80
- Figura 33.** Distribución horizontal de la temperatura a 8 (izquierda) y 12 m (derecha) de profundidad en el PNSAV durante junio del 2007. Datos obtenidos con CTD. 82
- Figura 34.** Fotografía aérea del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) donde se hace evidente la influencia de la descarga del Río Papaloapan, Municipio de Alvarado, Ver. Imagen proporcionada por personal del Instituto de Ecología y Pesquerías de la UV. 83
- Figura 35.** a) Registro de presión (en azul) y temperatura (en negro) con el ADP anclado en inmediaciones de Punta Mocambo, Ver., del 30 de mayo al 28 de junio del 2007. A la derecha, se muestra sitio de anclaje del ADP (●). b) Diagramas de dirección del viento, corriente, temperatura y presión para los periodos de máxima temperatura registrados durante el periodo de registro. 84

- Figura 36.** Corriente litoral en la zona costera del corredor turístico Veracruz-Boca del Río, obtenido mediante tamaño de grano, **SEMAR** (1990). 86
- Figura 37.** a) Ubicación de los sitios de muestreo realizados por SEMAR en 2003, b) diagramas de astillas de corrientes durante abril, 2003, c) dirección del viento con datos de QuikSCAT días 18 y 20 de abril del 2003. 88
- Figura 38.** a) Ubicación de los sitios de muestreo realizados por SEMAR, b) diagramas de astillas de corrientes durante agosto, 2003, c) dirección del viento con datos de QuikSCAT días 20 y 22 de agosto del 2003. 89

LISTA DE TABLAS.

		<i>Página</i>
Tabla I.	Equipos empleados y características del muestreo para el presente estudio.	29
Tabla II.	Estadística básica de los parámetros meteorológicos obtenidos de las estaciones localizadas en los Puertos de Veracruz (CPG) y Alvarado (ALV), Antón Lizardo (AL) durante el 2007.	48
Tabla III.	Correlación vectorial compleja, aplicada entre los diferentes sensores meteorológicos durante época de “nortes”, “no-nortes” y durante el periodo de muestreo del presente trabajo.	48
Tabla IV.	Componente, frecuencia, amplitud y fase de la marea para el área del PNSAV , durante mayo-junio del 2007, cálculos obtenidos a partir del registro obtenido con un ADCP anclado en Punta Mocambo, Ver.	52
Tabla V.	Estaciones que comprenden los seis transectos así como su localización con respecto a la línea de costa y referencia geográfica, realizados en las inmediaciones del PNSAV , durante el periodo de arrastre del ADCP .	56
Tabla VI.	Características de cada uno de los transectos realizados con el ADCP , en inmediaciones del PNSAV , durante junio del 2007.	67

I.- INTRODUCCIÓN.

El Golfo de México (**GM**), es considerado como uno de los mares marginales con características hidrodinámicas muy particulares debido a su forma geográfica; cuenta con un litoral de 6,134 km en el que se encuentran establecidas 10 de las ciudades más importantes de EUA y México con una población de 55 millones (15 millones corresponden a México) quienes realizan a lo largo del litoral, actividades económicas diversas como la explotación petrolera, el desarrollo de la industria petroquímica, transporte marítimo, pesca, producción de energía eléctrica, establecimiento y crecimiento de la mancha urbana, turismo, agricultura en las llanuras costeras, solo por citar algunos (*Day et al. 2004*).

Además, existe un número importante de sistemas costeros que albergan una gran biodiversidad de especies (**CONABIO** 1998) como es el caso de los sistemas arrecifales o coralinos de Miami, Tuxpan, Veracruz y Quintana Roo; de este último, sobresale Banco Chinchorro, el cual pertenece al gran sistema Arrecifal Mesoamericano, el segundo más importante a nivel mundial.

Debido a la competencia entre los escenarios naturales (donde además existen áreas marinas protegidas, **AMP**) y las actividades antropogénicas que se sobreponen en la franja costera, se hace obligada la generación de información de carácter oceanográfico multidisciplinaria e interinstitucional de tal manera que permita de alguna forma, la coexistencia de ambas. Esta información, es fundamental para la toma de decisiones que fomenten el

bienestar de la población humana, reduzcan las pérdidas de vida y propiedades, debidas a riesgos naturales y permitan una mejor conservación de la biodiversidad y del ambiente global.

En la porción sudoeste del **GM**, específicamente frente a la zona conurbada de los municipios de Veracruz y Boca del Río, se encuentra el **AMP** denominada *Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano* (**PNSAV**, Fig. 1) el cual cuenta con una superficie total de 52,239 ha; dicho parque, aunado a otras 17 **AMP** mexicanas, fueron incorporadas a la Red Mundial del Hombre y la Biosfera (**MAB**) por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (**UNESCO**), en octubre del 2006, de ahí su importancia y conservación.

El **PNSAV**, modera los impactos en la costa debido a los fenómenos meteorológicos característicos de esta región (“*nortes*” y huracanes) y mantiene núcleos de alta diversidad biológica de importancia para el sector pesquero de la región. Es de resaltar que el estado de Veracruz contribuye con el 12% del total nacional en pesca, mismo que equivale al 7.6%¹ del PIB nacional (**INEGI** 2008) y que cerca del 80% de la población local del corredor turístico Veracruz-Boca del Río, basa su economía en dicha actividad productiva.

Debido a la importancia del puerto y al crecimiento no planeado de la zona de Veracruz - Boca del Río, se ha generado un deterioro considerable de los ecosistemas existentes; tan sólo a lo largo de los 14 km de playa que comprenden ambos municipios, existen 24 vertederos de aguas negras a mar abierto, provenientes de zonas habitacionales.

¹Este porcentaje, se refiere al sector agropecuario en el cual se encuentra integrado la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.

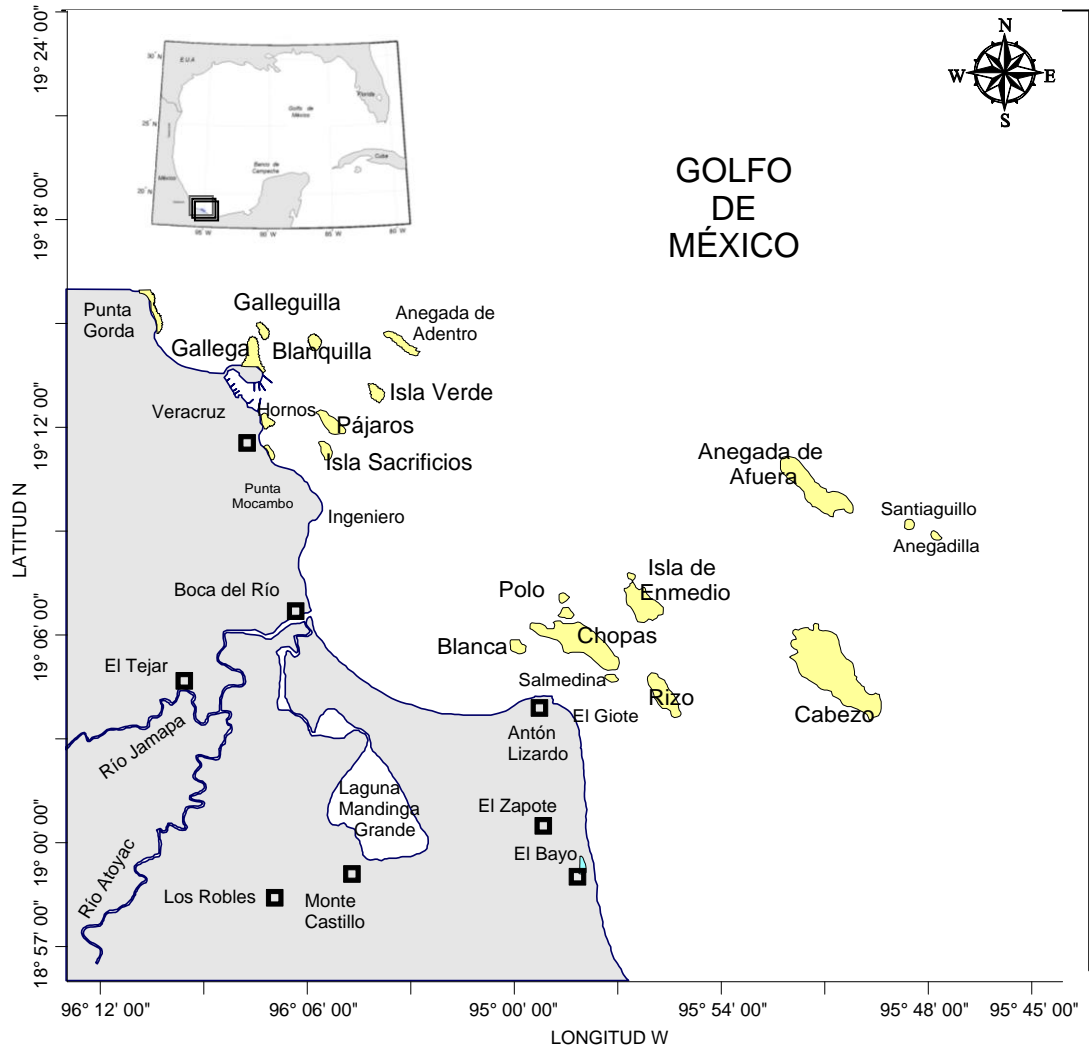


Figura 1.- Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Por lo anterior, en el 2003, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (**SEMARNAT**) y la Comisión para la Protección contra Riesgos Sanitarios (**COFEPRIS**), incluyeron a tres playas de este corredor turístico dentro del catálogo de los destinos costeros más contaminados de México, al rebasar los niveles permitidos de *Enterococos*; esta situación no ha sido controlada ya que en el 2006 ya eran siete las playas que se encontraban en dicha situación. Lo anterior, no solo repercute en el cierre de playas y disminución de la actividad turística de la zona, sino además, en un deterioro ecológico y de biodiversidad del **PNSAV**.

El **PNSAV** tiene una importancia ecológica invaluable, no sólo de manera local, sino también de carácter regional y mundial ya que los sistemas coralinos, son considerados como bioindicadores del calentamiento global, debido principalmente a su longevidad y vulnerabilidad a los cambios ambientales mismos que son registrados en sus estructuras (*Sorokin 1995*). Al respecto y como un efecto del fenómeno del Niño, se ha podido evidenciar el blanqueamiento en arrecifes de Costa Rica por *Carriquiry et al. (1994)*, del Golfo de California por *Carriquiry et al. (2001)* y del Pacífico Tropical mexicano por *Reyes-Bonilla et al. (2002)*.

Además del blanqueamiento, los sistemas coralinos son indicadores del aumento del nivel del mar, mismo que se refleja en sus estructuras como una consecuencia de la cantidad de luz que penetra en la columna de agua y a la disminución en la distribución de los nutrientes, ambos factores son primordiales para su óptimo desarrollo, afectando directamente a los núcleos de alta diversidad biológica y por ende al sector pesquero de la región. Estos cambios en el nivel del mar fueron registrados en distintas localidades del sur del **GM** por *Salas-de León et al. (2007)*, quienes estimaron mediante el análisis de datos de nivel del mar de 10 años (1966-1976), un

incremento de aproximadamente 1.4 mm año⁻¹ para esa región. Cabe señalar que, de acuerdo con el Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC)², durante el siglo XX, el aumento en el nivel del mar, fue de aproximadamente 1.5 mm año⁻¹; para este siglo se tienen estimados 4.0 mm año⁻¹; sin embargo, gracias a trabajos recientes realizados con imágenes de satélite, se ha determinado que el incremento es ya de 3.0 mm año⁻¹.

Igualmente importante, el rol de los arrecifes de coral en la reducción del efecto invernadero, ya que éstos están involucrados en los flujos de CO₂ que se encuentran presentes tanto en la columna de agua como en la atmósfera. Los corales, tienen la propiedad de almacenarlo en su exoesqueleto como CaCO₃; dicho proceso de captación, compensa de alguna manera, la intensidad del efecto invernadero (Sorokin 1995, Karlson 1999), por lo que su desaparición total o parcial, se verá reflejado en el desarrollo ecológico y socioeconómico del planeta entero.

Además, gracias a los corales pueden reconstruirse las condiciones ambientales del pasado reciente ya que éstos permiten identificar en sus estructuras calcáreas, cambios en la temperatura del mar, precipitación y hasta la productividad oceánica; esta información es sumamente relevante para explicar además, el efecto de estos cambios ambientales en las actividades pesqueras a nivel mundial Carriquiry *et al.* (1998) y Gagan *et al.* (2000).

Para poder aportar el conocimiento científico en zonas de interés económico y ecológico, es necesario implementar campañas de monitoreo que comprendan el mayor número de

² <http://www.ipcc.ch/>

variables y en periodos de tiempo lo más largo posibles; por ejemplo, para establecer la variabilidad espacio temporal de las corrientes superficiales misma que se encuentra determinada por forzamientos como el de las mareas, campo de oleaje, viento local y cambios de presión se emplean equipos de medición autónoma y continua de tal forma que mediante las series de tiempo obtenidas, sea posible identificar la importancia relativa de cada uno de estos forzamientos y así dilucidar la dinámica no solo del cuerpo de agua, sino además de cualquier otro material en suspensión, sea tóxico o no. Esta información permitirá, además, establecer mejores mecanismos en materia de manejo costero y con ello evitar su deterioro.

Cabe señalar, que aún cuando existen programas de investigación y educación ambiental en el **PNSAV**, en los cuales participan diferentes organizaciones e instituciones que promueven un mejor manejo, tales como el Instituto Nacional de Antropología e Historia, el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana, la Secretaría de Marina, la Capitanía de Puerto y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, los esfuerzos no han sido suficientes, por lo que se torna prioritario, el generar información técnico-científica que permita a los responsables de la toma de decisiones, considerar las características propias de cada región y coadyuvar así en el manejo sustentable de los recursos y sistemas costeros en general.

El presente estudio, surge de una colaboración interinstitucional y de la necesidad de contar con información local de la dinámica oceanográfica (costera) que prevalece en el **PNSAV**, considerando que la información con la que se cuenta es escasa y con una visión más hacia

aspectos ecológicos y no de los procesos oceanográficos que gobiernan, de ahí, la importancia, relevancia y aportación de este trabajo.

I.1. ANTECEDENTES.

De acuerdo con varios autores, en el **PNSAV**, son escasos los estudios oceanográficos que se han realizado; Salas-Pérez y Granados-Barba (2008) recopilaron, analizaron e integraron, 63 referencias bibliográficas con la finalidad de desarrollar un marco oceanográfico para ésta área natural protegida; algunos de estos estudios, son puntuales, con series de datos cortas y/o mediante simulaciones numéricas bajo condiciones muy específicas; la mayoría de ellos coincide en la necesidad de generar y publicar información que permita establecer los procesos que a diferentes escalas espacio-temporales tienen relación con la permanencia y supervivencia de dicho ecosistema. Lo relevante del presente estudio, radica en que en él, se consideró información tomada *in situ* por un periodo de muestreo de 30 días, esta información podría servir como referencia para próximos estudios los cuales permitirán entender la complejidad de esta zona costera.

La mayor parte de la bibliografía consultada, coincide en que para tratar de explicar los procesos que influyen en la dinámica costera del **PNSAV**, y dada la carencia de información local, es necesario revisar y analizar, las condiciones de gran escala que prevalecen en el **GM**, ya que a partir de éstas, es posible inferir e interpretar tanto espacial como temporalmente los procesos que ocurren en una escala menor, por lo que a continuación, se mencionan los rasgos más sobresalientes que influyen en las características oceanográficas del **GM**, así como datos específicos para la zona que comprende el presente estudio.

La circulación en el **GM**, se encuentra dominada por la Corriente de Lazo (**CL**) y un gran giro anticiclónico de carácter permanente, mismos que se sitúan en la parte oriental y occidental de la cuenca respectivamente; sin embargo, el principal mecanismo de forzamiento de la circulación, es el flujo que entra a través del Canal de Yucatán ($\approx 80 \text{ cm s}^{-1}$) y que sale por el Estrecho de Florida (Oey *et al.* 2005, Fig. 2). Se ha observado que, cuando los giros anticiclónicos interactúan con la plataforma continental, se producen corrientes paralelas a ésta, una con dirección hacia el norte y otra hacia el sur, comúnmente denominadas **contracorrientes costeras** (Vidal *et al.* 1994 y Monreal-Gómez *et al.* 1997).

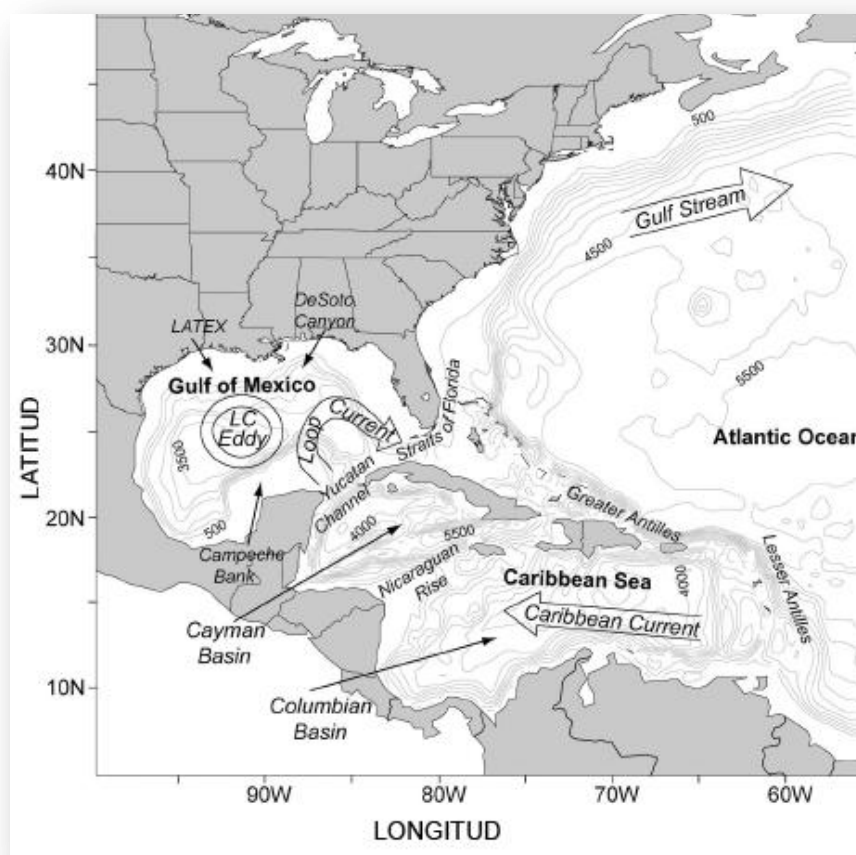


Figura 2.- Esquemización de la circulación general en el Golfo de México y Atlántico Norte. (Tomado de Oey *et al.* 2005).

En fechas recientes, Zavala-Hidalgo *et al.* (2003), utilizando una simulación numérica de alta resolución, datos hidrográficos históricos, datos de nivel del mar e imágenes de satélite, identificaron tres regiones de circulación costera bien definidos para el **GM**; siendo éstas, la *Louisiana-Texas* (**LATEX**), Tamaulipas–Veracruz (**TAVE**) y la del Banco de Campeche; esta clasificación permite explicar de inicio, que para la porción oeste del **GM**, el esfuerzo del viento es el principal mecanismo generador de la circulación en dicha zona (Fig. 3a).

Específicamente para el área de estudio del presente trabajo, estos autores identificaron que durante septiembre a marzo (invierno) se presenta una circulación con dirección norte-sur, mientras que para el periodo mayo-agosto (verano), el sentido es sur-norte; para esta última, la influencia de la circulación abarca hasta la parte sur de la plataforma de Texas, donde al chocar con la circulación característica en la región **LATEX** (con flujo hacia el este) se produce un transporte hacia fuera de la costa (Fig. 3b). Otro proceso importante, es la formación durante el otoño-invierno, de frentes a lo largo de la costa, así como inversiones de temperatura, debido a la presencia e influencia de las aguas con baja salinidad y temperatura provenientes de los ríos *Mississippi* y *Atchafalaya*, en E.U.A, mismas que son advectadas desde esta región y que afectan a la región **TAVE** de forma importante.

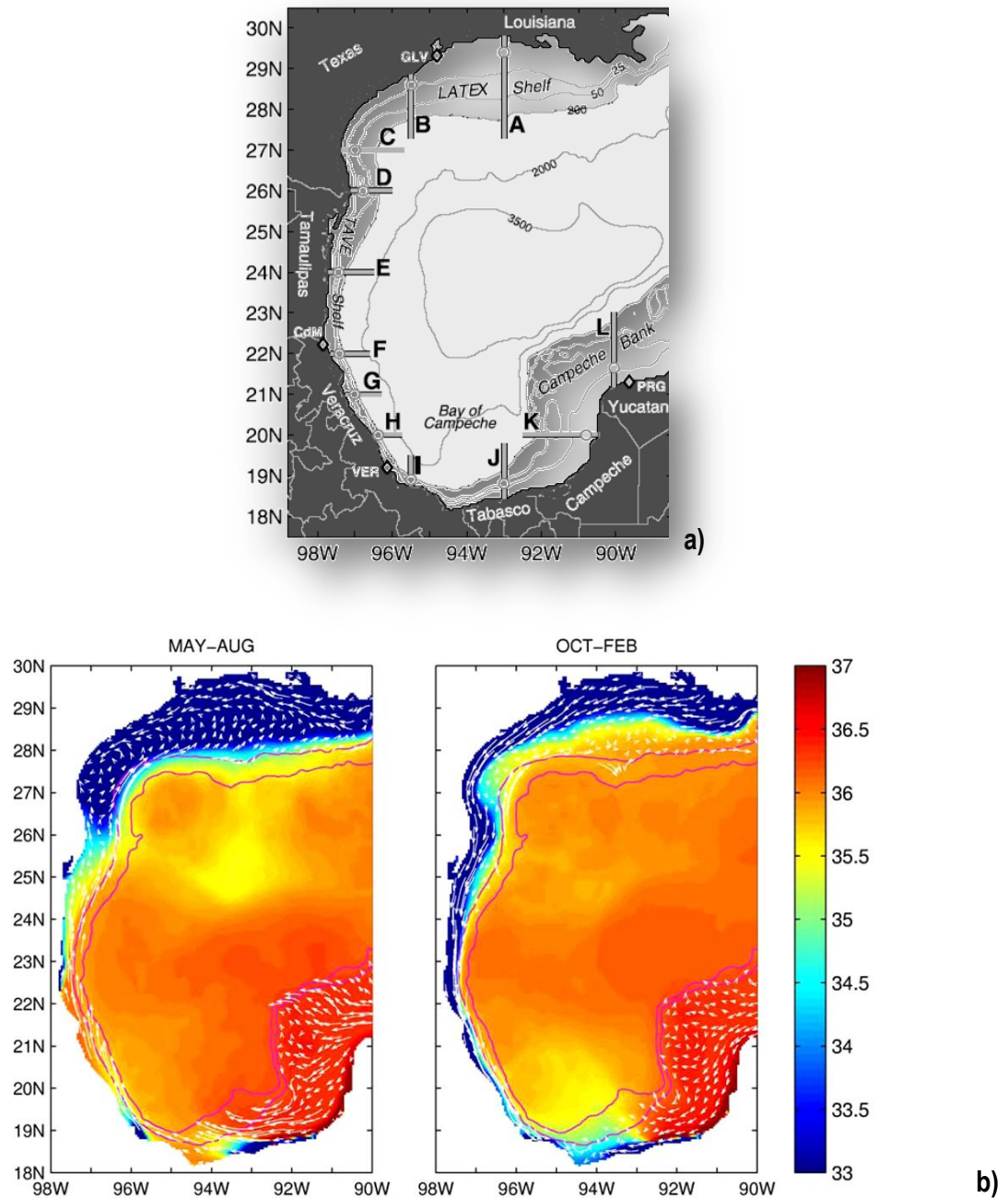


Figura 3.- a) Esquema que representa la regionalización de la circulación costera para el Golfo de México y b) promedio de la salinidad superficial y del campo de velocidad de la corriente para los periodos mayo-agosto (“no nortes”) y octubre-febrero (“nortes”). Ambas figuras tomadas de Zavala-Hidalgo *et al.* (2003).

En cuanto al oleaje, *Lankford* (1977), determinó la existencia de tres tipos de régimen para el **GM** y Mar Caribe: **1)** olas y marejadas de tormenta asociadas con ciclones tropicales; **2)** olas y marejadas de tormenta con frentes fríos conocidos en la zona del **GM** como “*nortes*” y **3)** olas y marejadas generadas dentro del límite de la tirada de viento o *fetch* en la superficie del golfo. Dichas condiciones de oleaje, se derivan de los vientos dominantes (*alisios*) que provienen del sector nororiental durante todo el año (Fig. 4c) generando olas con períodos típicos de entre cinco y siete segundos, cuyas crestas oscilan alrededor de 1.5 m de altura.

De esta forma, el oleaje incide predominantemente del este-noreste con una frecuencia de un poco más del 60% del total anual, mientras que la costa del Mar Caribe recibe el oleaje con direcciones comprendidas entre el noreste y sureste, esencialmente bajo las mismas condiciones del oleaje típico de las cuencas mediterráneas o semicerradas, que pueden ser consideradas de baja y moderada energía, excepto durante los “*nortes*” y huracanes, donde se han observado olas de más de 4.5 m de altura. Estos últimos, ocurren durante el verano y son causados por intensas tormentas cuyas trayectorias inciden normalmente sobre la costa noroccidental, afectando a menudo la península de Yucatán y la plataforma continental adyacente. Estas tormentas, afectan en menor proporción a las costas centro y centro-sur del Golfo.

Para el área del **GM** frente al estado de Tamaulipas, *Ramírez-Elías* (2007) realizó una modelación numérica aplicando el modelo de simulación de oleaje *Wave Model (WAV)* y datos de campo del viento proporcionados por la *National Center for Environmental Prediction (NECP)* con el fin de establecer mediante mallas anidadas, la climatología del oleaje en esta zona costera para una serie de 30 años (1972-2001).

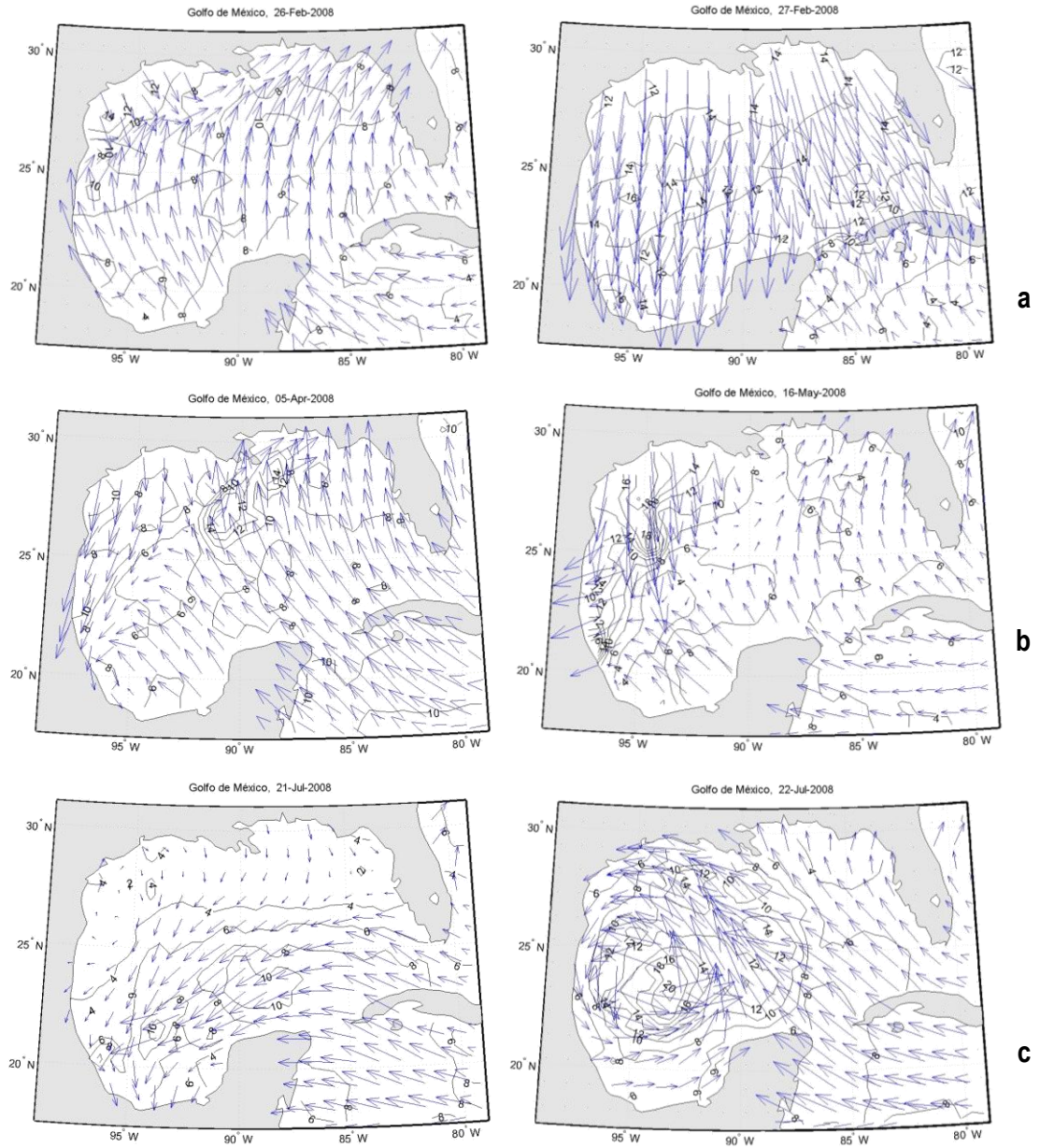


Figura 4.- Esquemas del sistema de vientos en el Golfo de México para distintos días del 2008. Datos tomados de **QuikSCAT** para diferentes épocas del año. Nótese para **a** y **c**, la variabilidad en dirección e intensidad de la velocidad para un periodo de 24 hrs. En **a**, lado derecho muestra un evento de “norte”; en **c**, esquema típico de vientos “alisios” para esta región.

Ramírez-Elías (2007) en su estudio, evidenció que son los frentes fríos y no la época de tormentas y huracanes, los que generan el oleaje con mayor altura y energía; siendo los meses de agosto a marzo, los que presentaron la mayor energía con alturas máxima promedio en invierno de 3.7 m y con menor energía, los meses de abril a julio.

Además, se analizaron de manera individual, seis de los municipios más importantes de este estado mediante un modelo numérico, el cual permitió identificar que para las cuatro estaciones del año, el municipio de Soto la Marina es el que presentó el oleaje con alturas mayores, el oleaje más energético se evidenció en el municipio de Aldama con alturas máximas promedio de 3.8 m (5.4 m máxima calculada) seguida por Soto la Marina ambos en diciembre y enero principalmente; mientras que el que presentó el oleaje menos energético fue Cd. Madero con alturas máximas promedio de 3.0 m.

En cuanto a las condiciones meteorológicas, el **GM**, se encuentra altamente influenciado por dos tipos de masa de aire, la cálida y húmeda durante el verano (*tropical*) proveniente del este y la fría de invierno (*polar*); identificándose periodos de transición entre una y otra, alternándose las masas de aire en algunas ocasiones de manera poco definida (Fig. 4). La presencia de aire polar ocurre en la vertiente del **GM** durante octubre a mayo, principalmente como frente frío ("*norte*"); el cual consiste en un desprendimiento de la masa polar por el norte del **GM**, sin embargo, el efecto sobre la columna de agua es sólo en los primeros metros. Este fenómeno, se presenta con una frecuencia promedio anual de 5 a 20 días, con una duración de uno hasta cinco días, los vientos frecuentemente exceden los 11 m s^{-1} , creando mareas de

tormenta que inundan tierras bajas, erosionan playas y transportan sedimentos en diversas direcciones.

En junio, se establece el aire tropical; su forma de manifestarse son los **vientos alisios**, que soplan del **GM** hacia el continente (Fig. 4c). En ocasiones, en dichos vientos, viajan las **ondas del este**, cuyo eje cambia de dirección e intensidad ocasionando una inestabilidad atmosférica. Las depresiones, tormentas y ciclones tropicales (huracanes) son graduales acentuaciones de estas ondulaciones en la circulación tropical. Las ondas del este se forman en el Atlántico e ingresan a territorio continental después de cruzar la península de Yucatán. Cuando dichas ondas alcanzan el nivel de depresión o tormenta tropical y llegan a chocar o a pasar cerca del territorio nacional, dejan tras de sí, una considerable cantidad de lluvia en la vertiente del **GM**. Su máxima ocurrencia es en septiembre aunque pueden presentarse desde mayo y hasta noviembre (Tejeda *et al.* 1989, Pereyra-Díaz y Pérez-Sesma 2005).

En cuanto a las condiciones de marea, en el **GM** se presenta con amplitudes pequeñas (<0.5 m), sin embargo, se torna importante en las zonas de mezcla de ambientes estuarinos con movimiento de agua y sedimentos, particularmente en las desembocaduras fluviales, los esteros, brazos deltaicos y bocas de lagunas. Se tienen identificados tres tipos de mareas, siendo el prevaeciente, para la región de estudio, la **mixta** con dominancia **diurna** (Salas-de León *et al.* 1997, Salas-Pérez y Granados-Barba 2008).

Salas-Pérez *et al.* (2008) realizaron el análisis de series de tiempo del nivel del mar en el **PNSAV** para el periodo de octubre-diciembre del 2004, encontrando que los armónicos dominantes son los K_1 y O_1 (diurnos), y que en conjunto con los M_2 , S_2 y N_2 (semidiurnos) explican el 84% de la varianza total del nivel del mar para este sistema costero; esta dominancia, es producto de la resonancia a causa de la geometría del **GM** (Grace 1932); de tal manera que las amplitudes en su región occidental, oscilan hacia arriba y hacia abajo de forma casi uniforme. Estos mismos resultados ya habían sido reportados por DiMarco y Reid (1998), He y Weisberg (2002) y Kantha (2005).

Por lo que respecta a las características hidrográficas, de acuerdo con Vidal *et al.* (1992), se tienen identificadas en el **GM**, cinco masas de agua provenientes del Atlántico y del Caribe; en superficie (0-300 m) es posible encontrar Agua Subsuperficial Subtropical del Caribe (**StSsCW**) con 22.5°C y 36.6 ups; así como Agua Subsuperficial Subtropical del Golfo de México (**StSsGMW**), con 22°C y 36 ups. En la zona que comprende el **PNSAV**, en su capa superficial (~250m) se han identificado el Agua Subtropical Subsuperficial (**StSsW**) y el Agua Común del Golfo de México (**CGMW**) con 36.5 ups y 20°C y 36.5 ups y 22.5°C, respectivamente.

Estacionalmente, se tiene reportado que durante el **verano**, la temperatura superficial alcanza hasta los 28°C en la costa nororiental, aparentemente asociado a la latitud (Fernández-Eguiarte *et al.* 1992, Ortiz-Pérez *et al.* 2006), mientras que en los sectores centro y suroriental, alcanza los 29.7 y 28.9° C, respectivamente (Toledo-Ocampo 1996, Ortiz-Pérez *et al.* 2006). En cuanto a los niveles de salinidad superficial, se han reportado para la zona del Banco de

Campeche, gradientes de salinidad de ~32 a ~36 ups en la costa norte (De la Lanza-Espino 2001, Ortiz-Pérez *et al.* 2006).

En **invierno**, existe un gradiente con temperaturas que varían de los 19.5 a 22.5° C en la costa nororiental, que se incrementa en la porción central y costa oriental de Yucatán hasta los 24° C. En las aguas superficiales de la costa del Mar Caribe ascienden entre los 25 y 25.5° C (Ortiz-Pérez *et al.* 2006). Mientras que la salinidad, presenta un mínimo de 31 ups en el sector septentrional del **GM**, y un máximo de 36.7 ups frente a las costas de Campeche (Fernández-Eguiarte *et al.* 1992, Toledo-Ocampo 1996, Ortiz-Pérez *et al.* 2006).

En general, los valores de densidad en el **GM**, se encuentran fuertemente relacionados con la variabilidad anual de la salinidad; por lo que en la zona costera, es necesario considerar los aportes fluviales y pluviales como un factor importante de esta variación. La columna de agua, se presenta bien estratificada, excepto durante la época de invierno debido a los procesos de mezcla producto de los frentes fríos o “*nortes*”.

Particularmente, la presencia del **PNSAV** influye de manera importante en la dinámica de esta región; dada la complejidad de su batimetría, las corrientes, al impactar contra ciertos obstáculos (bajos, puntas, islas, estructuras, etc.), producen, en ciertas ocasiones, giros que modifican la circulación costera esperada (Salas-Monreal *et al.* 2009, **SEMAR** 1982a, b, 1983); por lo que se dificulta la identificación de patrones de circulación. En un estudio realizado por la **SEMAR** en 1998, se determinaron corrientes cuyas trayectorias coincidían con la línea de costa e isóbatas para la región norte del puerto de Veracruz; sin embargo, para la región sur del mismo

puerto, la corriente mostró inversiones en su dirección, debido a la restricción impuesta a la circulación de las aguas sobre la plataforma, debido a la presencia de la zona Arrecifal del **PNSAV**. Lo anterior produce bajos niveles de energía y estabilidad de las playas en la región norte del puerto, pero poca recirculación del agua, lo que genera un problema de contaminación, ya que en esta zona, se localiza la descarga de la planta de tratamiento de agua residuales más importante de la ciudad. En un estudio reciente realizado por Salas-Monreal *et al.* (2009), se observó la existencia de un giro ciclónico frente al Río Jamapa originado por el cabo de Antón-Lizardo, esto podría de alguna manera, explicar el patrón de corrientes reportado por la **SEMAR** en 1998.

Caballero-Rosas (1990) identificó patrones de circulación en Bahía Vergara, el **PNSAV** y para la bocana del río Jamapa, aplicando un modelo hidrodinámico **barotrópico** y bidimensional usando diferencias finitas y una malla de 500 m, encontrando los siguientes escenarios:

- 1) Bajo condiciones de “nortes”, con vientos de 35 m s^{-1} , la circulación mantiene una dirección norte-sur, siguiendo la línea de costa; la velocidad máxima (110 cm s^{-1}) se encontró entre Punta Mocambo y la bocana del Jamapa (norte), en el resto del **PNSAV**, la velocidad fue de 80 cm s^{-1} .
- 2) En condiciones de verano (abril-agosto), con vientos del sureste (15 cm s^{-1}), la circulación presentó un comportamiento distinto; una dirección hacia el norte a lo largo del canal arrecifal, en la zona profunda del parque y en el interior de Bahía Vergara, con velocidades promedio de 10 cm s^{-1} ; mientras que en la zona de Isla Verde, la

corriente mantuvo una dirección sur-oeste bifurcándose en la zona de barlovento, una hacia el norte y otra hacia el sur. La primera de ellas recircula hacia el sur debido a la presencia de un remolino ciclónico, localizado entre los arrecifes Pájaros y Gallega. Las máximas velocidades se encontraron entre Punta Mocambo y en la bocana del Jamapa (norte).

- 3) Para las condiciones de otoño y primavera con vientos provenientes del este (15 cm s^{-1}), la dirección de la corriente es hacia el norte, siguiendo la configuración de la costa; las velocidades máximas (60 cm s^{-1}), se encontraron en la mayor parte de **PNSAV**; sin embargo, resalta la presencia de un remolino ciclónico al sur de Punta Mocambo cuyo eje mayor, se encuentra orientado con respecto a la costa. Estas mismas condiciones se encontraron para vientos provenientes del sur y sureste característicos para esta época del año.

- 4) Además, encontró que, cuando el viento proviene del noreste (15 m s^{-1}), la corriente penetra por la Anegada de Adentro e Isla Verde desde mar abierto hacia el norte (Bahía Vergara) con velocidades $< 20 \text{ cm s}^{-1}$; mientras que frente al Puerto de Veracruz, el flujo es hacia el sur con velocidades máximas de 30 cm s^{-1} en la bocana del Jamapa. También, bajo estas condiciones de viento, destaca la presencia de un remolino ciclónico frente al Jamapa. Cuando los vientos provienen del suroeste, la dirección de la corriente mantiene un patrón similar que el anterior, pero en sentido contrario. Finalmente, para vientos provenientes del oeste y noroeste, el modelo obtiene una circulación con dirección norte-sur; cuando hay vientos del oeste, se

observa un remolino anticlónico al sur de Punta Mocambo, mientras que para vientos del noroeste el remolino es ciclónico, ubicándose frente a la Anegada de Adentro.

Este es el marco que se presenta en la zona costera del Puerto de Veracruz, sin embargo se puede apreciar que la mayor parte de los trabajos anteriormente citados, se encuentran a una escala inadecuada (mesoescala) para poder determinar un patrón de circulación con detalle y que los trabajos que se encuentran a escalas locales describen solo el patrón de corrientes submareales o la variación del nivel del mar (mareas) en la zona costera comprendida en el presente estudio, por lo que es necesario determinar aún los efectos que producen los arrecifes coralinos, la descarga del río Jamapa, el viento y la marea sobre dicho patrón de corrientes.

La generación de información de carácter oceanográfico que describa las variaciones de las corrientes durante las diferentes etapas de la marea propia de esta región, permitirá implementar medidas de previsión y prevención respectivamente y así encaminar la toma de decisión en cuanto a su preservación y manejo adecuados.

I.2. OBJETIVOS.

1.2.1. GENERAL.

Determinar el patrón de la circulación costera bajo las condiciones de viento típicas durante el periodo de mayo-junio en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (**PNSAV**).

I.2.2. PARTICULARES.

Definir los forzamientos que rigen el aporte y renovación de aguas costeras en la porción sudoeste del Golfo de México (**GM**), para esta época del año.

Obtener un patrón de corrientes a diferentes niveles para el periodo de mayo-junio del 2007, considerado como de transición entre la época de estiaje y lluvias o “nortes” y “no-nortes”.

Determinar las características hidrográficas de la columna de agua, específicamente en lo referente a la profundidad de la termoclina y haloclina; así como la influencia en éstas por la descarga del Río Jamapa.

Determinar si el Parque Marino Sistema Arrecifal Veracruzano (**PNSAV**), induce la formación de un sistema de corrientes **baroclínico**.

II. MÉTODOS.

II.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El **Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV)**, es un área marina protegida desde 1992, la cual está constituida por un conjunto de 23 arrecifes distribuidos en un área de ~54,000 ha y profundidades menores a los 70 m (Figs. 5 y 6). Geográficamente se encuentra localizado en la región suroeste del **Golfo de México (GM)**, entre los 19° 00' 00" y 19° 16' 00" de latitud norte y 95° 45' 00" y 96° 12' 00" de longitud oeste en la parte central del estado de Veracruz (DOF 1992).

De manera natural, se encuentra dividido en dos regiones por la desembocadura del río Jamapa: la primera región arrecifal, denominada **norte**, está localizada frente a los Municipios de Veracruz y Boca del Río la cual incluye los arrecifes Gallega, Galleguilla, Anegada de Adentro, La Blanquilla, Isla Verde, Isla de Sacrificios, Pájaros, Hornos, Ingeniero y Punta Gorda y la segunda denominada **sur**, está ubicada frente al Municipio de Antón Lizardo a unos 20 km al suroeste del Puerto de Veracruz, e incluye los arrecifes Giotte, Polo, Blanca, Punta Coyol, Chopas, Enmedio, Cabezo, el Rizo, Santiaguillo, Anegada de Afuera, Anegadilla y Topetillo, cada una de ellas delimitadas por la isóbata de los 37 m y 48 m respectivamente (Figs. 5 y 6).

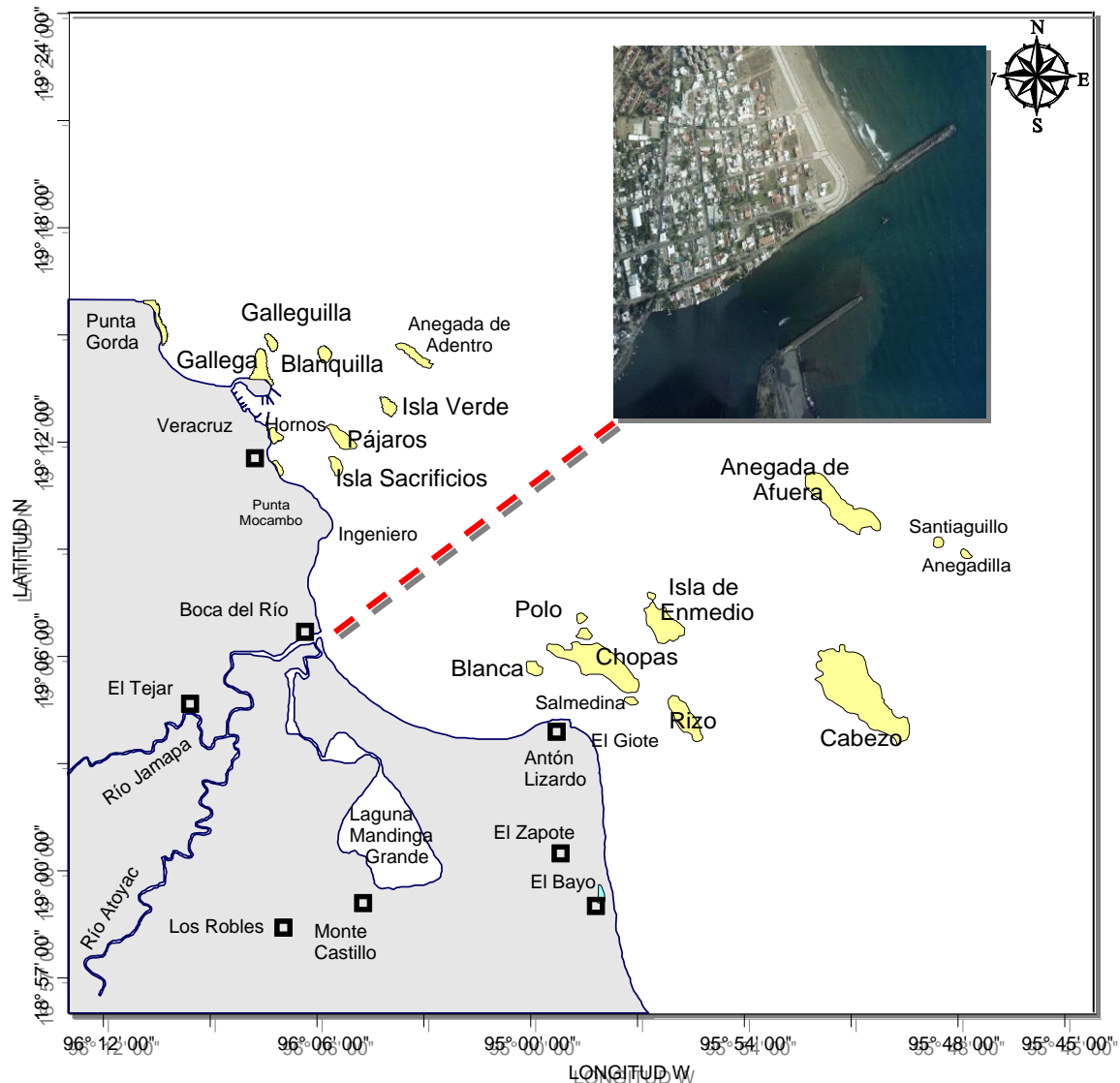


Figura 5.- Localización del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (**PNSAV**); la línea roja punteada, delimita de manera imaginaria, la zonificación norte y sur, producida por la descarga del río Jamapa. La fotografía muestra la desembocadura y estructuras de protección del río Jamapa.

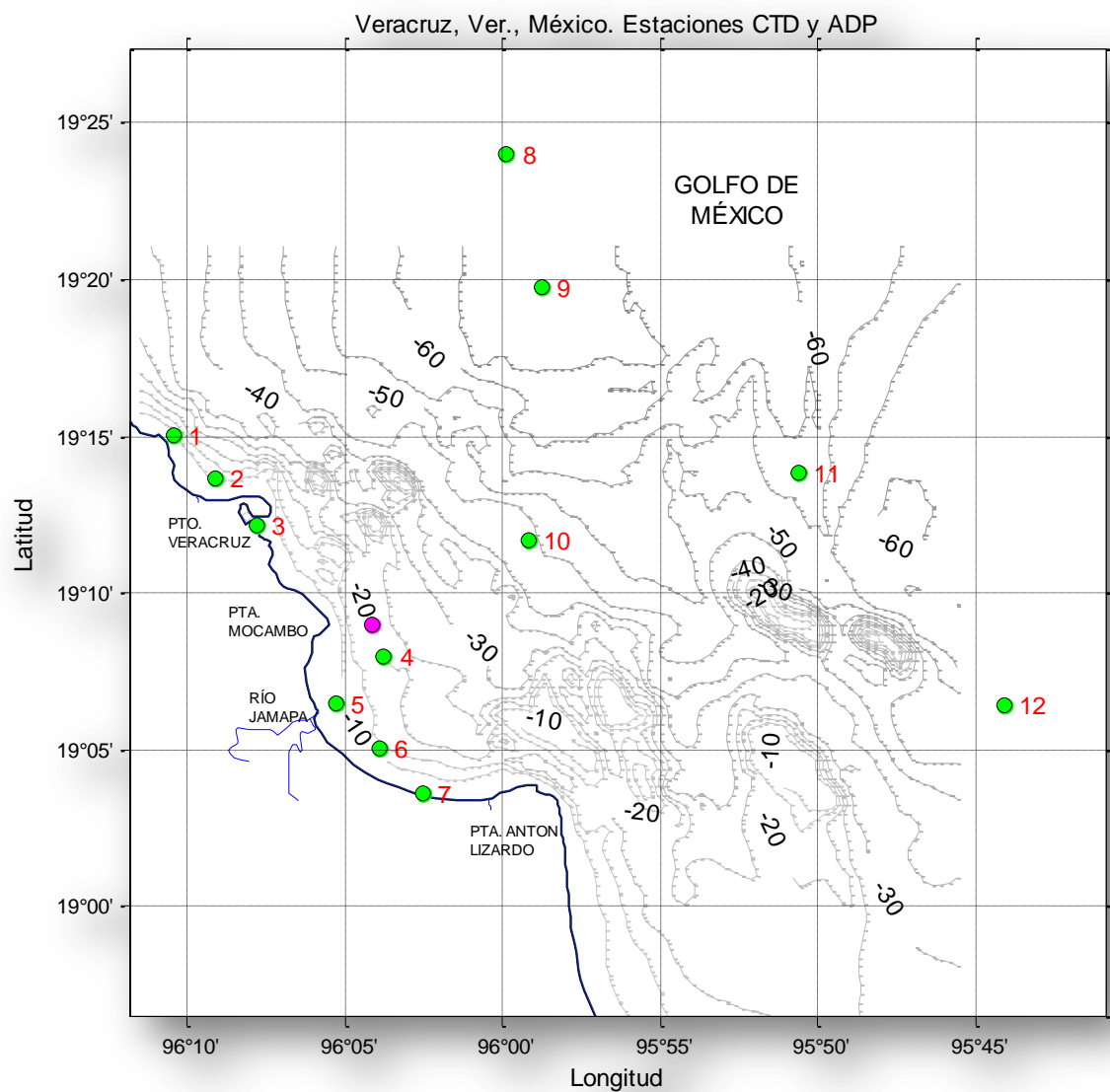


Figura 6.- Batimetría de la zona de estudio. Se denota la posición del anclaje del correntímetro tipo *Argonaut* (ADP) modelo XR (●) y de las estaciones de muestreo con el CTD *Seabird* SB19 (●).

Debido a su posición en el **GM**, el **PNSAV** descansa sobre una plataforma continental estrecha conformada por sedimentos terrígenos principalmente, ya que de norte a sur, se encuentran las desembocaduras de los ríos La Antigua, Jamapa - Atoyac y Papaloapan con volúmenes de descarga sobre la zona costera adyacente de 2,400, 1,670 y 20,000 millones de metros cúbicos respectivamente dependiendo de la precipitación, la cual presenta un promedio anual de 1, 500 a 2, 000 mm (**PEMEX** 1987). Estos valores de precipitación, están en función de la intensidad y penetración de las tormentas tropicales en la región (Fig. 7).

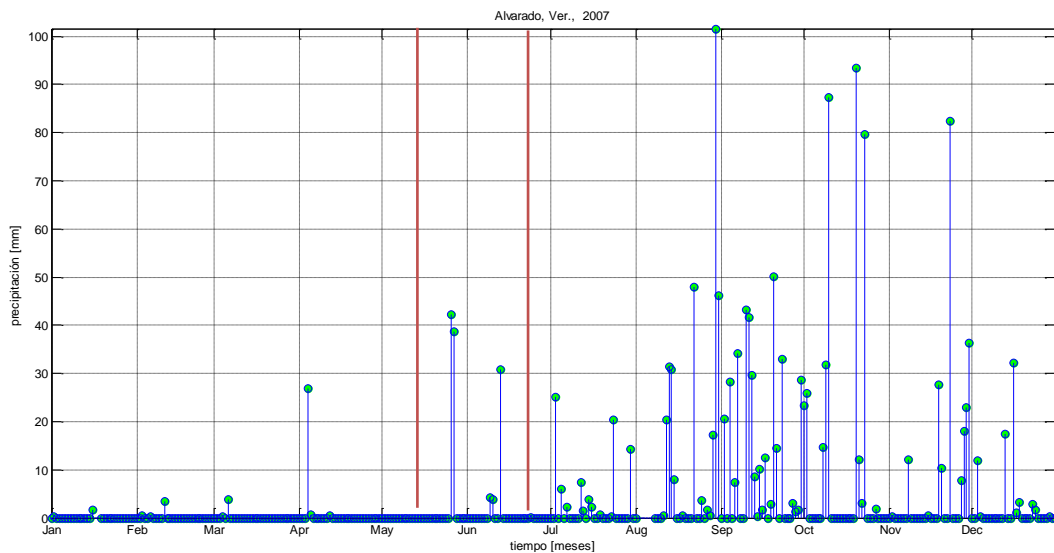


Figura 7.- Precipitación anual para el Puerto de Alvarado, Ver., durante el 2007. Las líneas rojas, delimitan el periodo de registro de corrientes en el **PNSAV**. Datos tomados de Comisión Nacional del Agua (**CNA**).

De acuerdo con la clasificación de *Köppen*, el clima es del tipo AW^Z (w) (i), caliente sub-húmedo con lluvias en verano y donde de manera general, se distinguen dos épocas principales del año: “**nortes**” de septiembre - abril y la de “**lluvias**” de mayo – agosto (**SEMAR**, 1998); sin embargo, algunos autores, han determinado una estacionalidad climática en tres épocas: el de “**secas o estiaje**” de febrero a mayo; “**lluvias o avenidas de verano**” de junio a octubre con la presencia de depresiones tropicales y el de “**frentes fríos del tipo anticiclónicos**” (“**nortes**”) de octubre a febrero (*Sturges y Wiseman 1999*). Este nuevo esquema, muestra la existencia de un traslape entre ellos que pudiera ser relevante para su análisis y estudio ya que, aunque su presencia es constante, su intensidad es variada, debido posiblemente al cambio climático global. Las temperaturas máximas de la región, oscilan entre los 40° - 35° C, y las mínimas entre 20° - 15° C; la humedad media anual es del 80% (**CONANP 2004**).

En un estudio realizado por la **SEMAR** (2000), se registraron corrientes costeras con velocidades medias de 0.25 m s⁻¹ con dirección predominantemente hacia el norte; el análisis hidrográfico permitió identificar aguas de carácter oceánico, costero y de mezcla con valores de temperatura que van de los 28.5°–28.7 °C, 29°-29.4 °C y 28.7°-29 °C, respectivamente. Los valores de salinidad oscilan entre los 39.3 – 18.2 ups, con una media anual de 34.5 ups. Es importante señalar que este estudio sirvió como marco de referencia en el aspecto oceanográfico, para elaborar el Plan de Manejo del **PNSAV** considerado como el sistema arrecifal con mayor dimensión localizado en la porción sur del **GM** y que representa el límite occidental de distribución de arrecifes coralinos en el Atlántico Tropical (*Emery 1963, Tunnell 1988, Carricart-Gavnivet y Horta-Puga, 1993, Horta-Puga, 2008*).

Otro aspecto importante a considerar, es que el **PNSAV**, se encuentra en una zona donde existe una notable influencia de aportes pluviales, fluviales y de carácter antrópico, mismos que disminuyen de manera considerable la transparencia de sus aguas como consecuencia del incremento en la concentración de material suspendido (tanto sedimentario como orgánico) el cual afecta la calidad y sobrevivencia de dicho ecosistema cuyo hábitat es regularmente oligotrófico.

II.2. METODOLOGÍA.

II.2.1. Obtención de datos.

El presente trabajo, analiza los datos obtenidos en las campañas oceanográficas realizadas durante mayo – junio del 2007, por personal del Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe (**IOGyMC**) de la **SEMAR** en colaboración con personal del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías (**ICIMAP**), de la Universidad Veracruzana (**UV**); utilizando como plataforma de trabajo, embarcaciones pertenecientes a la **SEMAR** y considerando de acuerdo con la literatura, condiciones meteorológicas de transición entre la época denominada como “**estiaje**” y “**lluvias**” típicas de esta región. El procesamiento y análisis de la información generada, se realizó durante la estancia en el Posgrado, en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (**IIO**) perteneciente a la Universidad Autónoma de Baja California (**UABC**).

Las series de tiempo obtenidas comprenden datos de corrientes en anclaje y perfilaciones mediante **ADP's**, (*Acoustic Doppler Profiler*, por sus siglas en inglés), temperatura y conductividad en la columna de agua (**CTD**, *Conductivity-Temperature-Depth*, por sus siglas en inglés), dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación y nivel del mar (Tabla 1). Los datos obtenidos fueron extraídos de los instrumentos y pre-tratados mediante el *software* proporcionado por el fabricante de cada uno de ellos. El procesamiento, análisis y graficado final de los datos, se realizó utilizando el programa **MATLAB** (*matrix laboratory*, por sus siglas en inglés) versión 7.1. En cada uno de los apartados

correspondientes, se explican los detalles para cada uno de los equipos utilizados en la obtención de las series, así como en su procesado final.

Tabla 1.- Equipos empleados y características del muestreo para el presente estudio.

Equipo / variable	Latitud	Longitud	Intervalo de muestreo (Δt)	Referencia geográfica	Profundidad	Periodo de muestreo
Correntímetro tipo <i>Argonaut</i> modelo XR	19°09.1'	96°04.12'	300 "	Mocambo	20 m	22 mayo – 28 junio, 2007
ADCP sentinel RDI de 600kHz	Cuatro transectos perpendiculares a la costa, cubriendo hasta la isobata de los 100m.		1" Celdas de 1m.	Pta. Gorda – Pta. Antón Lizardo	20 – 100 m	21, 22 y 25 de junio, 2007
CTD marca <i>Seabird</i> modelo 19	Al inicio y final de cada uno de los transectos realizados con el ADCP.					
Nivel del mar (estaciones marca Aandera SEMAR) Red mareográfica (CICESE)	19°12'03" (Veracruz)	96°07'51" (Veracruz)	30'	Pto. de Veracruz – Pta. Antón Lizardo.		Anual
	19°03'55" (Antón Lizardo)	95°58'56" (Antón Lizardo)				
Estaciones meteorológicas EMAS (CNA y SEMAR).	19°08'34" (CPG)	96°06'41" (CPG)	30'	Puertos de Veracruz y Alvarado, Antón Lizardo.		Anual
	18°42'54" (Alv)	95°37' 57" (Alv)				
Viento NASA, JPL (QuikSCAT)			Diario (resolución de 1/2')			Anual
Imágenes de satélite MODIS y SeaWIFS			Diario			Mayo – junio, 2007

Fuentes: SEMAR.-Secretaría de Marina.

CICESE.-Centro Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada.

CNA.-Comisión Nacional del Agua.

CPG.- Centro de Previsión del Golfo.

NASA-JPL.-*National Aeronautics and Space Administration - Jet Propulsion Laboratory (QuikSCAT)*

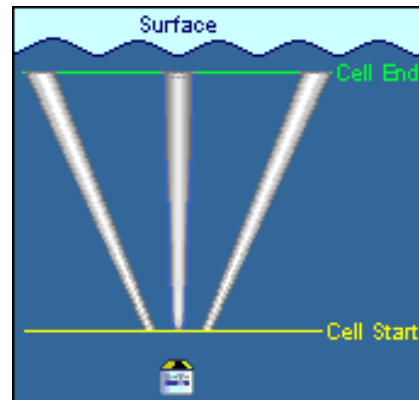
Las imágenes de satélite MODIS y SeaWIFS, fueron obtenidas y procesadas por el Dr. Eduardo Santamaría del Ángel, UABC-FCM.

II.2.2. Localización y características de las mediciones. Pre-tratamiento de las series.

II.2.2.1. Anclaje de ADP.

Para la obtención de las series de corrientes, se instaló del 22 de mayo al 28 de junio del 2007, un correntímetro **ADP** tipo **ARGONAUT** modelo **XR** de **1500 kHz** (Fig. 8a), en la estación denominada **MOCAMBO**, empleando para ello, una estructura piramidal de acero inoxidable (Tabla 1 y Figs. 6 y 8b). El intervalo del perfil fue de un segundo de forma continua y para una sola celda durante el tiempo que duró el anclaje (ANEXO I). Debido a la longitud de onda del **ADP**, determinada al momento de su fabricación, el equipo tiene una zona de blanqueo de 0.5 m, justo por encima de la cabeza del sensor en donde no es posible medir corrientes. Dicho equipo, registró las componentes **u**, **v** y **w**, así como la presión total, temperatura, desviación estándar y amplitud de la señal, para cada uno de sus tres haces sónicos, durante el tiempo que duró el muestreo.

Una vez recuperado el equipo, los datos fueron transferidos a una computadora personal, a través del software **ViewArgonaut** provisto por el fabricante. Este programa permite la visualización de la información generada en pantalla y la aplicación de procedimientos de control de calidad; para mayores detalles de este procedimiento, se sugiere consultar los apartados correspondientes en el manual del equipo (*Sontek ADP Acoustic Doppler Profiler, Technical Documentation, 2001*).



a)



b)

Figura 8.- a) Correntímetro tipo **Argonaut** modelo **XR** de 1500 kHz. Tomado de <http://www.sontek.com> b) Equipo de medición montado en la estructura de acero inoxidable, previo a la maniobra de anclaje.

II.2.2.2. Perfilaciones con ADCP.

Los días 21, 22 y 25 de junio del 2007, se realizaron perfilaciones utilizando un correntímetro acústico **ADCP - Sentinel RDI** de **600 kHz** cubriendo el polígono del **PNSAV**. Dicho equipo, fue montado en una base de acero inoxidable y configurado para registrar de la superficie al fondo, colocándose en la parte lateral de la embarcación hidrográfica ARM-CABEZO (BI-10) perteneciente a la **SEMAR**; la velocidad máxima no excedió los 8 nudos (4 m s^{-1}). De esta manera, se realizaron diversos transectos perpendiculares y paralelos a la línea de costa (Fig. 9), configurando el **ADCP** para hacer perfiles de velocidad cada segundo y celdas cada medio metro de profundidad; este tipo de medición junto con la del equipo anclado, permitirá identificar un patrón vertical espacio-temporal de la circulación costera para esta época del año.

De la misma manera que para el equipo anterior, los datos crudos fueron recuperados de la memoria interna del equipo y visualizados mediante el *software* del equipo (**Winriver II**) proporcionado por el fabricante. Durante la primera visualización se identificó que era necesario realizar varias pruebas modificando el esquema de medición considerando diferentes promedios en tiempo (Δt); una vez que se obtuvieron valores de velocidad con mayor calidad visual y con la mínima desviación estándar, se analizaron y graficaron utilizando el programa **MATLAB**.

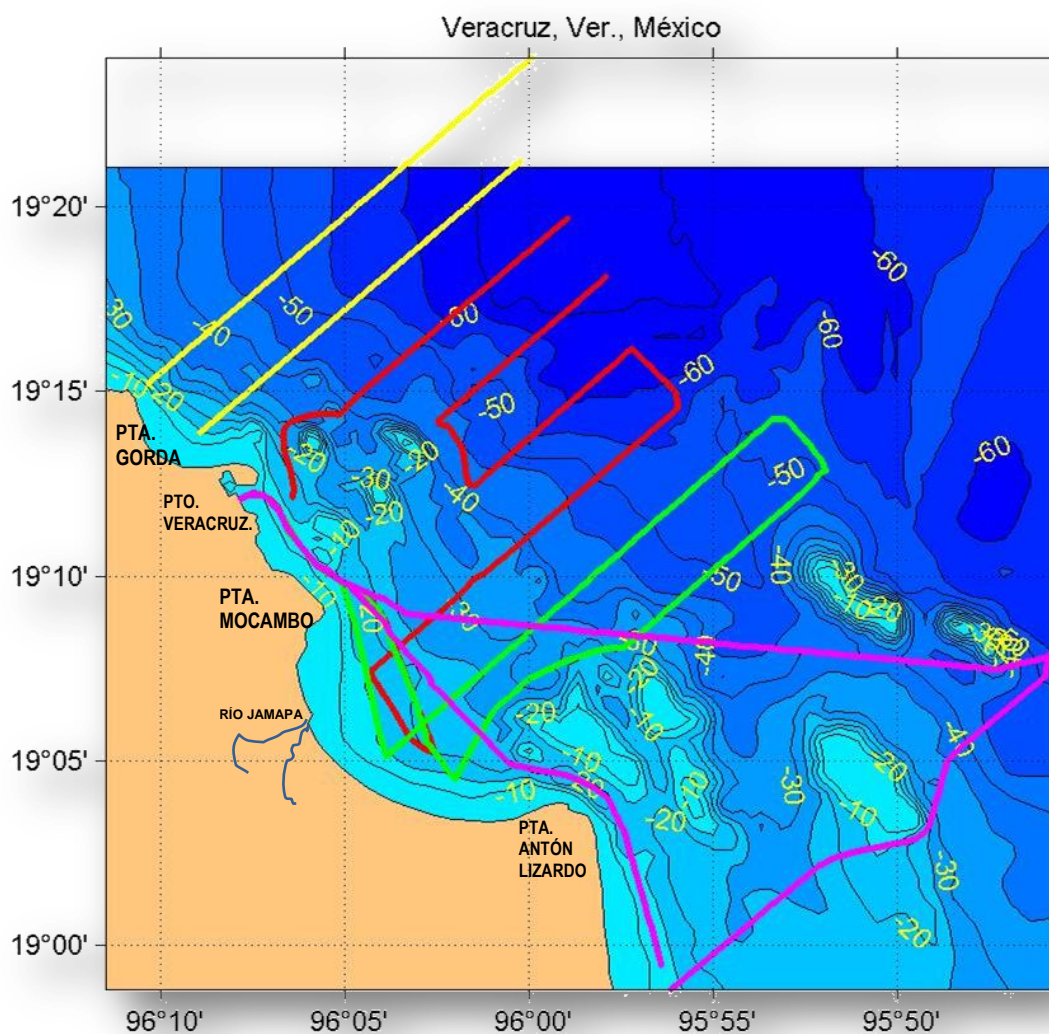


Figura 9.- Trayectorias del arrastre para la medición de corrientes mediante el ADCP-Sentinel de RDI donde la trayectoria en amarillo indica el día 21, en rojo el 22 y en verde el 25, todos de junio del 2007.

El segundo problema que se identificó durante la primera visualización, fue el que uno de los haces sónicos del equipo, no registró de manera correcta (Fig. 10); sin embargo, por contar con una configuración tipo *Janus*, de cuatro transductores, en caso de falla de uno de ellos y/o al aplicarle los parámetros de calidad, puede no ser considerado, eliminarlo o bien se pueden aplicar correlaciones de segundo orden para corregir los datos erróneos. En el presente trabajo, solo fueron necesarios tres transductores para poder obtener los valores de las corrientes en la horizontal, el cuarto transductor no fue necesario, ya que no se calcularon datos de turbulencia.

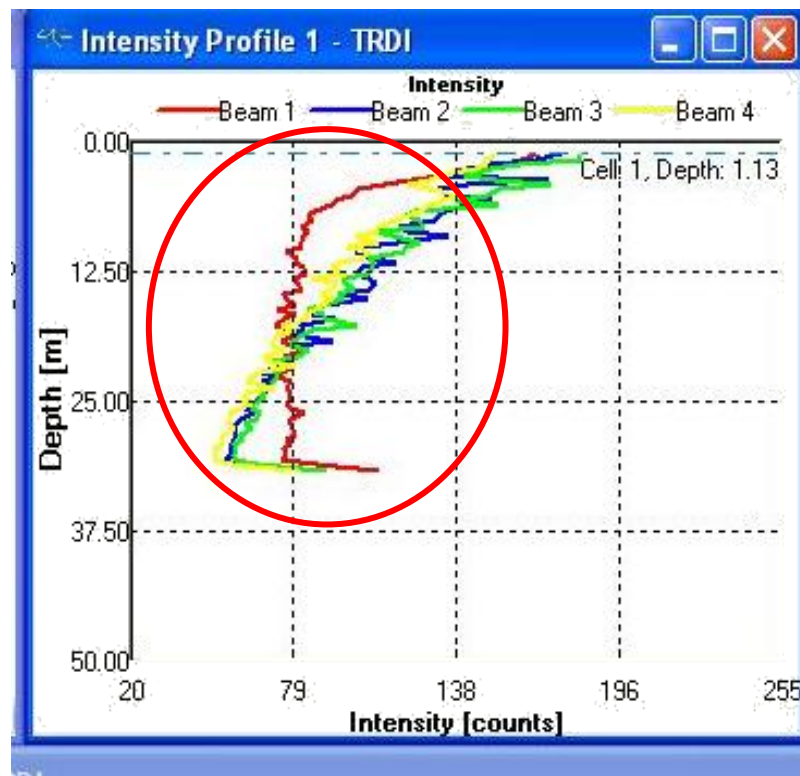
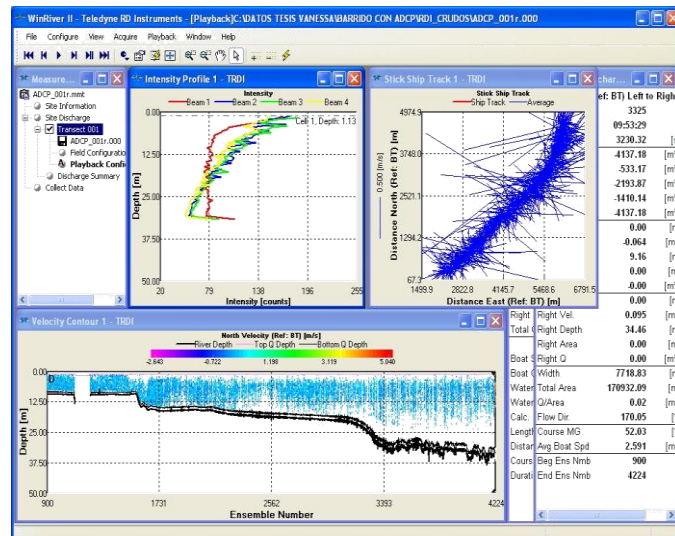


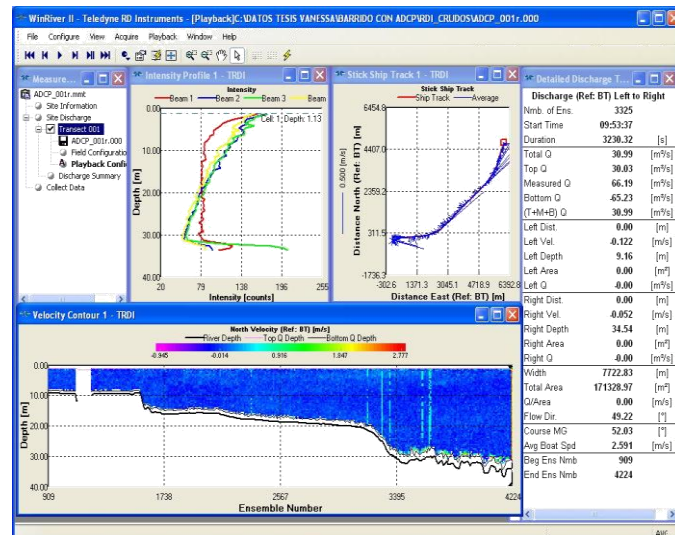
Figura 10.- Imagen que muestra la variación en las lecturas realizadas por los cuatro haces sónicos del ADCP. La línea en rojo (BEAM 1), es el que presentó problemas en su lectura.

Los datos fueron re-procesados bajo el esquema de tres trasductores, notándose que las primeras celdas de velocidad presentaron datos “malos” como un efecto de la velocidad de la embarcación, la cual rebaso el limite requerido por el equipo (< 5 nudos, 2.55 m s^{-1}), debido a esto, fue necesario modificar la profundidad de trabajo, considerándose los datos a partir de los tres metros de profundidad. Una vez modificado el esquema de medición a tres trasductores y sin los datos superficiales, se analizaron nuevamente los datos crudos en pantalla, observándose que un promedio de 10 s, modifica sustancialmente la calidad de los mismos (Fig. 11a y b).

El día 22 de junio, en particular, se realizó el transecto con mayor longitud temporal, por lo que fue necesario segmentarlo en series de tiempo más pequeñas y de fácil lectura para el equipo de cómputo mediante el programa **BBsub**, provisto por el fabricante, sin perder calidad en los mismos.



a)



b)

Figura 11- Visualización de los registros de corriente por el ADCP utilizando el software Winriver II en un transecto del PNSAV. a) sin promediado, datos crudos, b) aplicándole los 10' de promediado en su esquema de medición. Obsérvese el cambio en la calidad de los mismos.

II.2.2.3. Características hidrográficas (CTD).

Para determinar las características hidrográficas en la columna de agua, se realizaron, de manera simultánea a las perfilaciones con el correntímetro **ADCP**, lances con un sensor de conductividad, temperatura y profundidad (**CTD**, por sus siglas en inglés) marca *Seabird*, modelo SB19, al inicio y final de cada uno de los transectos realizados (Figs. 6 y 12). De los datos crudos obtenidos (archivos **.CNV**), fue necesario realizar una depuración previa de los datos “malos” (brincos o picos) observados en los primeros gráficos; dicha depuración se generó a partir de cada uno de los datos contiguos mediante una interpolación lineal.

Posterior a la interpolación, seguían presentes datos por arriba de lo esperado, por lo que fue necesario aplicar un segundo filtro, eliminando todos aquellos valores que se encontraban por arriba de dos veces la desviación estándar. Aun después de haber aplicado este criterio de depuración, se encontró en algunas regiones de la zona de estudio, valores de conductividad por arriba del rango reportado para la zona, en trabajos previos. Lo anterior, generó cierta incertidumbre en cuanto a la calidad de dichos datos solo para esta variable, por lo que se decidió explicar su variabilidad en términos del gradiente, con la finalidad de poder evidenciar los distintos ambientes definidos por la salinidad para la zona de estudio.



Figura 12.- Lance del **CTD** marca **Seabird**, para la obtención de características hidrográficas en la columna de agua, durante las trayectorias realizadas con el **ADCP**.

II.2.2.4. Condiciones meteorológicas.

Para determinar las condiciones meteorológicas que prevalecieron en la región de estudio, se procesaron las bases de datos anuales de las estaciones meteorológicas localizadas en los puertos de Veracruz y Alvarado proporcionadas por el Centro de Previsión del Golfo (**CPG**) dependiente de la Comisión Nacional del Agua (**CNA**), de la estación meteorológica localizada en el poblado de Antón Lizardo, Ver., dependiente de la **SEMAR**, así como datos del **QuikSCAT** información proporcionada por la *National Aeronautics and Space Administration - Jet Propulsion Laboratory* (**NASA-JPL** por sus siglas en inglés) (Tabla 1 y Fig. 13).

Las variables analizadas fueron la dirección y velocidad del viento, así como la temperatura ambiental, presión atmosférica, humedad relativa y precipitación, que al igual que en los datos del **CTD**, fue necesario realizar un análisis de la calidad de los datos “malos”.

II.2.2.5. Nivel del mar.

Para poder describir las series de nivel del mar; se analizaron los datos anuales recabados por las estaciones mareográficas marca *Aandera* modelos 3634M y DS4299OF, localizadas en el Puerto de Veracruz y poblado de Antón Lizardo, respectivamente, (Tabla 1, Fig. 13) propiedad de la **SEMAR**, dichas estaciones registran el nivel del mar en un intervalo de 30 minutos. De igual forma, se empleó la base de datos proporcionada por la red mareográfica de **CICESE**, y finalmente la serie obtenida del sensor del correntímetro **ADP** con el fin de hacer comparaciones entre los distintos sensores, durante el periodo del anclaje.

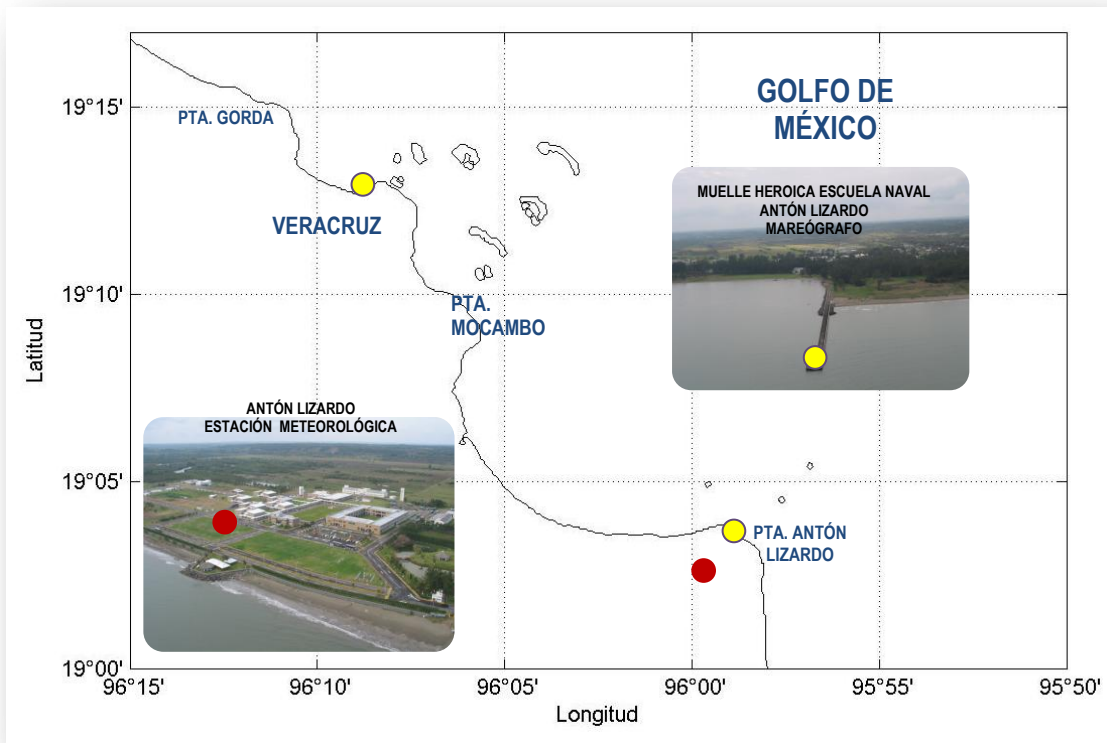


Figura 13.- Localización de las estaciones meteorológicas (●) y mareográfica (●) pertenecientes a **CNA** y **SEMAR**. Revisar texto de cada una de estas variables y Tabla I para mayor referencia. Las fotografías corresponden a la ubicación de la estación meteorológica **EMA** y mareógrafo localizados en Punta Antón Lizardo propiedad de **SEMAR**.

II.2.2.6. Imágenes de satélite.

Finalmente, se obtuvieron imágenes MODIS de temperatura superficial (**TS**) y clorofila (**Chla**), con una resolución de 4 km para el **GM**, mismas que fueron procesadas utilizando diversos programas (MINITAB, SURFER y MATLAB), con el fin de delimitar el área de estudio (**PNSAV**) y realizar composiciones mensuales para ambas variables. Se trabajaron, en promedio, seis imágenes para cada uno de los doce meses del año, principalmente para mayo y junio del 2007; éstas imágenes además de permitir observar diferencias entre los datos tomados *in situ*, con los proporcionados por las imágenes, evidenció en una escala mayor, la presencia de rasgos característicos de mayor escala, que pudieron llegar a influir de manera importante en el área de estudio, para dicho periodo.

La obtención de las imágenes, tratamiento y procesado, se realizó con el apoyo y bajo la asesoría de los Drs. Eduardo Santamaría del Ángel y Adriana González, ambos de la **UABC**.

II.2.3. Tratamiento de las series.

II.2.3.1. Correlación vectorial compleja.

Este método estadístico, se basa en la descomposición de las series complejas evaluadas en componentes polarizadas. El vector velocidad puede ser descompuesto para cada frecuencia, bajo dos movimientos circulares en rotación contraria, cada uno con su propia amplitud y fase, donde los movimientos ciclónicos y anticiclónicos corresponden a frecuencias positivas y negativas respectivamente. Los valores de fase cambian en cantidad de forma proporcional a la rotación.

Por otro lado, las funciones de coherencia y fase de las dos series, relacionan sus componentes ciclónicas y anticiclónicas; la componente ciclónica de una con la anticiclónica de la otra y viceversa; finalmente es calculado el coeficiente de correlación a partir de las mediciones de coherencia entre un par de series complejas evaluadas (*Mooers 1973*).

Para este estudio, las series evaluadas fueron las tres estaciones meteorológicas terrestres (Veracruz, Antón Lizardo y Alvarado) así como la serie anual de gran escala (**QuikSCAT**), los valores esperados de amplitud van de 0 a 1, donde la unidad, indica que están correlacionadas, mas no asegura que una serie sea consecuencia de la otra y viceversa; la fase, nos indica la relación entre las direcciones de ambas series y la razón de transferencia es la relación entre sus magnitudes.

III. RESULTADOS.

En esta sección, serán descritas las condiciones oceanográficas y climatológicas que prevalecieron en el **PNSAV**, durante las campañas realizadas durante mayo-junio del 2007, época considerada por la literatura, como de transición entre las condiciones de estiaje y lluvias o “nortes y “no nortes” para el **GM**; lo anterior con la finalidad de poder entender y explicar, la importancia de los forzamientos existentes, mismos que permitirán inferir un patrón de circulación superficial (profundidad máxima de 60 m) en la zona costera del **PNSAV** para dicha época del año.

Sólo para el caso particular de la climatología, específicamente para la variable viento (dirección y magnitud), el análisis se realizó de manera anual (2007) determinando sus características estacionales y de manera específica para los meses en los cuales se llevaron a cabo las mediciones de corrientes; lo anterior, debido a que se considera al viento como uno de los principales forzamientos generadores de la circulación superficial para esta región. La determinación de las características estacionales de este parámetro, nos permitirá inferir los posibles patrones de circulación superficial en el **PNSAV** bajo distintos esquemas climatológicos.

III.1.-Batimetría.

La batimetría es uno de los factores que determinan la hidrodinámica de cualquier cuerpo de agua costero ya que la fricción con el fondo y las paredes laterales, producen un retraso de la onda de marea, por lo que las corrientes originadas por ésta, reflejan el efecto de la fricción en la capa límite con el fondo.

Siendo entonces, la fricción del fondo, uno de los forzamientos causantes de la modificación de la circulación, se describen brevemente, las características batimétricas en el **PNSAV** obtenidas a partir del registro con el **ADCP** durante el arrastre y una correlación que se hizo con valores de profundidad obtenido de la carta **SM 821.2** Veracruz a Puerto de Alvarado emitida por la **SEMAR** (ANEXO 2). De la correlación anterior, fue posible identificar bajos, islas y arrecifes con una profundidad máxima de 65 m en su porción más alejada de la costa (25.45 km en la zona norte); además, puede apreciarse, una zonificación natural norte-sur de los arrecifes debido a la influencia del río Jamapa. Es de hacer notar también, la orientación y morfología de los arrecifes con respecto a la línea de costa; la cual es alargada y con sentido noroeste-sureste (Fig. 14). Lo anterior, podría explicar en parte, la configuración de la línea de costa presente en el corredor turístico Veracruz - Boca del Río.

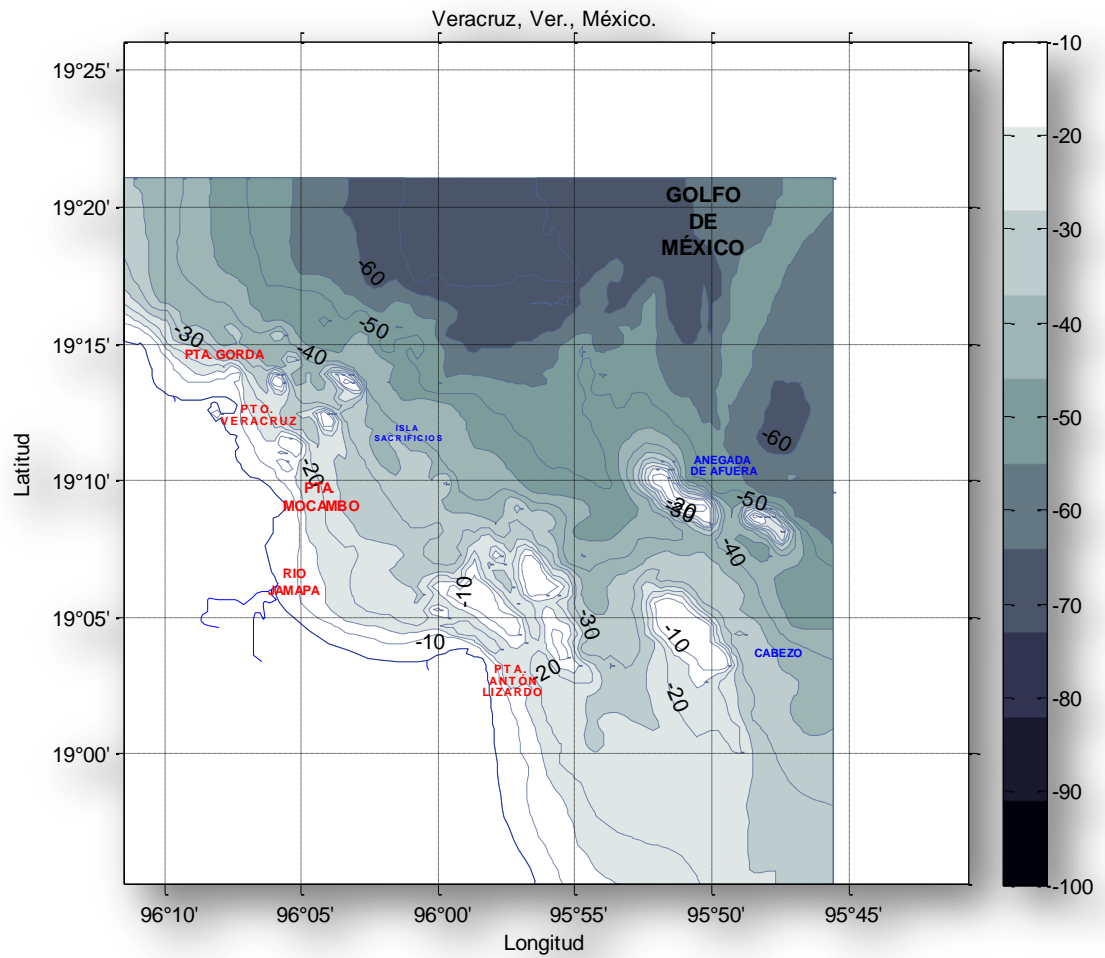


Figura 14.- Batimetría del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), obtenida a partir de los datos del ADCP y la interpolación con datos tomados de la carta SM 821.2 editada por SEMAR.

III.2.- Vientos (condiciones meteorológicas).

El análisis de vientos (dirección y magnitud), así como del resto de las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa y presión atmosférica) realizado a partir de las series anuales de las estaciones ubicadas en Antón Lizardo y los puertos de Veracruz y Alvarado durante el 2007, mostraron la variación estacional característica para el **GM**; vientos provenientes del **norte – noreste** durante los meses de octubre a abril (invierno o “*nortes*”) y del **noreste - suroeste** para los meses de mayo a septiembre (verano o “*no nortes*”) (Fig. 15). La velocidad máxima registrada fue de 27.22 m s^{-1} durante octubre; de las tres estaciones terrestres, la ubicada en el Puerto de Alvarado, fue la que presentó vientos de mayor intensidad. En la Tabla II, se presenta la estadística básica para las estaciones terrestres y para las condiciones características de la zona.

Al no contar con series completas, principalmente para las estaciones localizadas en el Puerto de Veracruz y Antón Lizardo, fue necesario aplicar un análisis de correlación vectorial compleja para las condiciones de “*nortes*”, “*no nortes*” y para el periodo de muestreo (Tabla III). Este análisis sólo se aplicó si las series presentaban el mismo número de datos (45 días) entre las estaciones analizadas. De acuerdo con el grado de correlación encontrado entre las distintas series y escalas, es posible trabajar de manera indistinta con cualquiera de las estaciones terrestres o con la de gran escala (**QS**).

Este análisis permitió observar, una buena correlación entre las distintas series analizadas sólo bajo condiciones de “nortes” (amplitud < 0.7), no así para la época de “no nortes” (amplitud > 0.5); mientras que para el periodo de muestreo (1° de mayo a 16 de junio), la mejor correlación la tuvieron las estaciones terrestres ubicadas en los puertos de Veracruz y Alvarado (amplitud de 0.83).

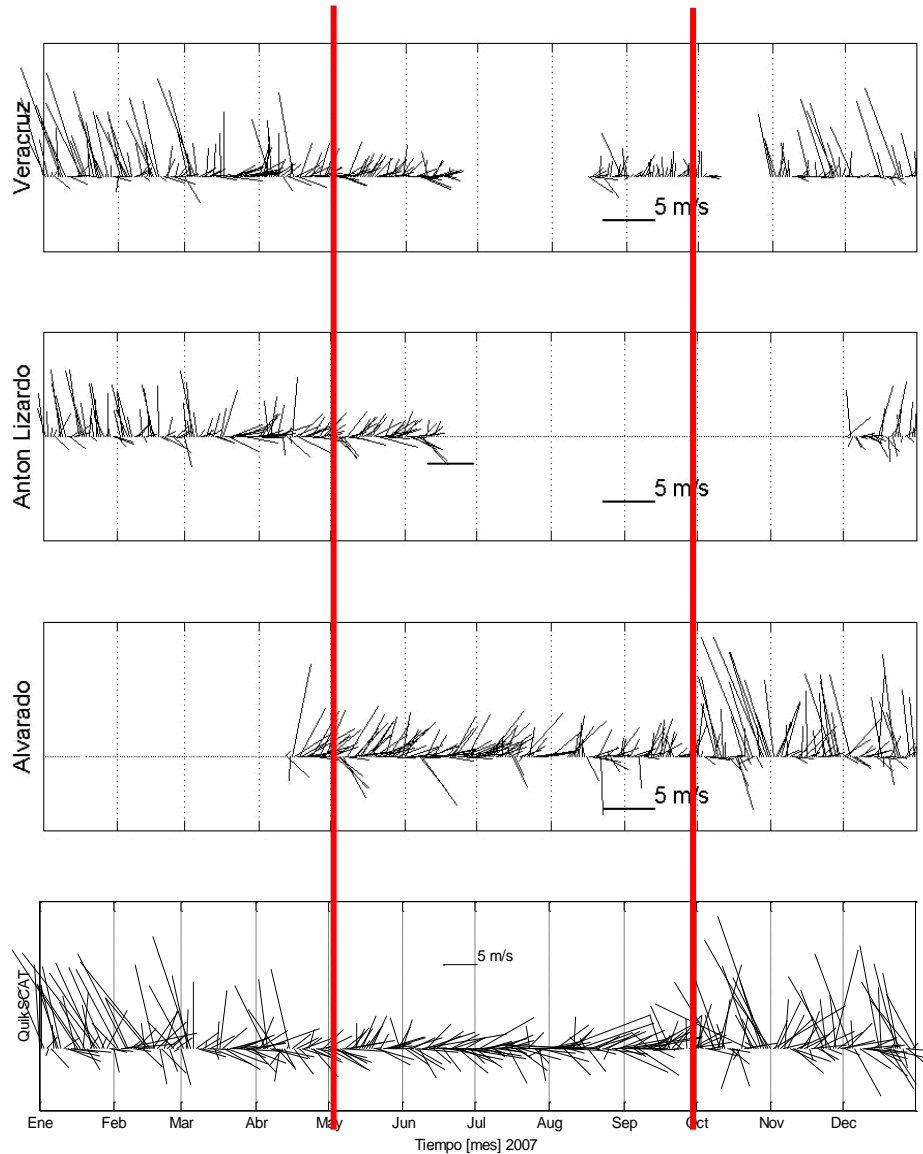


Figura 15.- Dirección y magnitud del viento para las estaciones meteorológicas localizadas en los puertos de Veracruz y Alvarado, Antón Lizardo y **QuikSCAT** durante el 2007. Las líneas rojas, delimitan la estacionalidad típica para el **GM**.

Tabla II.- Estadística básica de los parámetros meteorológicos obtenidos de las estaciones localizadas en los Puertos de Veracruz (CPG) y Alvarado (ALV), Antón Lizardo (AL) durante el 2007.

VARIABLE		NO-NORTES (mayo-septiembre)			NORTES (octubre-diciembre)	
		CPG	ALV	AL*	CPG	ALV
		TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	MAX.	32.1	34.5	33
	MIN.	22.45	22.14	22.5	19.56	17.3
HUMEDAD RELATIVA (%)	MAX.	89.25	10	100	89	10.33
	MIN.	50.25	9.6	67	46	10
PRESIÓN ATMOSFÉRICA (mbar)	MAX.	1014.9	1010.58	1019.3	1020.86	1016.13
	MIN.	1000.9	996.46	842.9	1006.13	999.3
VIENTO MÁXIMO	DIR (deg)	203.5	121.4	360	237.66	248.3
	MAG (m s ⁻¹)	14	16.35	19.20	18.57	27.22
VIENTO PREDOMINANTE	DIR (deg)	43	55.2	48	176.3	243.66

NOTA: MAX (máximo), MIN (mínimo), DIR (dirección) y MAG (magnitud).

*Solo se consideró el periodo de mayo-junio, por no contar con la base de datos completa.

Tabla III.- Correlación vectorial compleja, aplicada entre los diferentes sensores meteorológicos durante época de “nortes”, “no-nortes” y durante el periodo de muestreo del presente trabajo.

ESTACIONES	ALV - QS			VER - QS			VER - ALV		
	AMP	θ	TRANS	AMP	θ	TRANS	AMP	θ	TRANS
PERIODO									
nortes 15/nov-31/dic	0.82	-5.02	1.63	0.78	-1.24	1.98	0.88	8.41	1.13
no nortes 16/ago-31/sep	0.51	56.7	1.30	0.38	96.16	1.49	0.56	20.17	0.87
muestreo 1/may-16/jun	0.43	3.06	1.21	0.47	9.31	1.26	0.83	17.73	1.49

Donde: AMP.- amplitud de la correlación.

Theta (θ).- ángulo de rotación (grados). Cuando es positivo, indica que la serie uno, rota en sentido contrario a las manecillas del reloj, con respecto a la segunda serie.

TRANS.- función de transferencia.

Para el periodo de muestreo de corrientes con el **ADP** (26 de mayo al 28 de junio), los datos de viento muestran valores máximos de 14.83 m s^{-1} , siendo mucho más intensos en el puerto de Alvarado, la dirección predominante fue del **noreste** para ambas escalas de muestreo (Fig. 16).

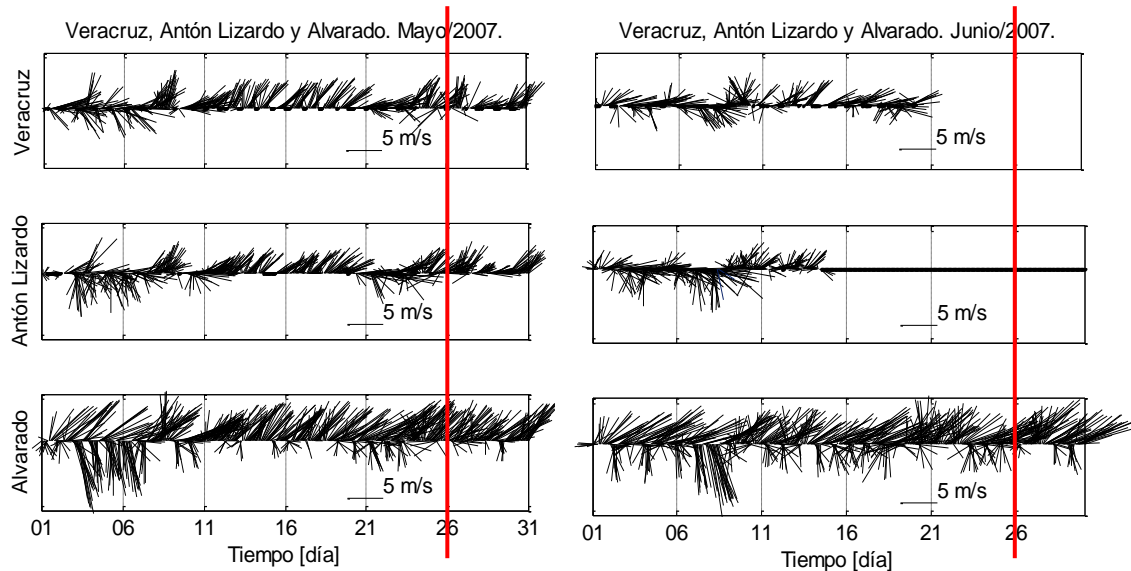


Figura 16.- Dirección y magnitud del viento para las estaciones meteorológicas en los puertos de Veracruz y Alvarado y Antón Lizardo durante mayo-junio del 2007. (Fuente **CNA** y **SEMAR**). Las líneas rojas, delimitan el periodo en el cual estuvo registrando el correntímetro **ADP** tipo *Argonaut*.

Finalmente, se analizó un día típico para las estaciones de Veracruz y Alvarado (**CPG** y **ALV**) para los meses de mayo - junio, éste permitió identificar los regímenes de brisa diurna y nocturna mismas que ocurren de las 6:00 hasta las 21:00 hrs y de las 21:00 hasta las 05:00, respectivamente; las primeras son más intensas durante mayo y las segundas durante el mes de junio con velocidades máximas de 5 y 7 m s^{-1} con dirección del **noreste** respectivamente. Aún

cuando la intensidad es mayor durante mayo, se puede apreciar un comportamiento muy similar para ambos periodos de registro (Fig. 17).

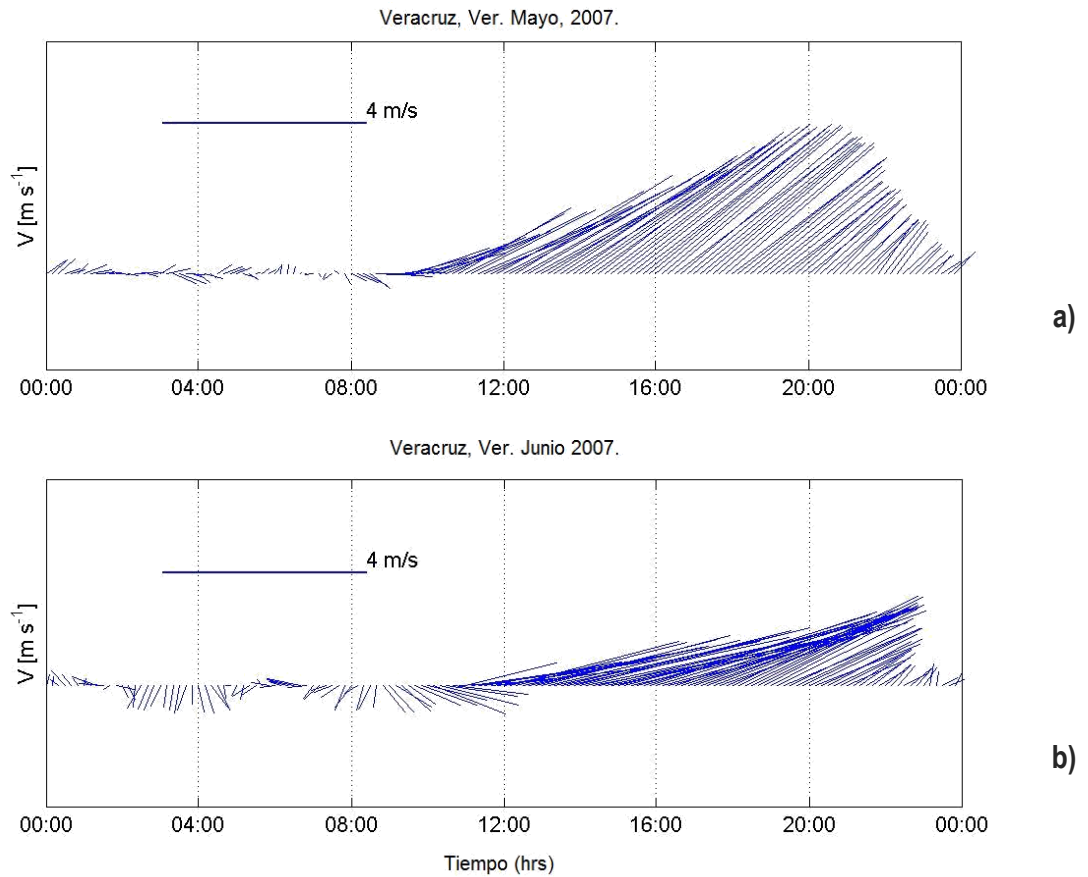


Figura 17. Día típico de la magnitud del viento durante: **a)** mayo y **b)** junio, ambas para la estación meteorológica localizada en el puerto de Veracruz (**CPG**).

III.3. Nivel del mar.

El sensor de presión del **ADP**, registró durante dos periodos de mareas vivas y dos de mareas muertas; siendo el rango de variación de 0.38 y -0.62 dB respectivamente. En la figura 18, se comparan los datos del sensor de presión (en azul, ΔP) con los datos obtenidos a partir de la predicción realizada con la base de datos de **CICESE** (en negro, η_{Ver}); lo anterior permitió comparar la calidad de los datos del sensor de presión del **ADP**, observándose un ligero desfase, debido muy probablemente, a la distancia entre los equipos (8 km) así como al número de armónicos empleados para la obtención de la predicción.

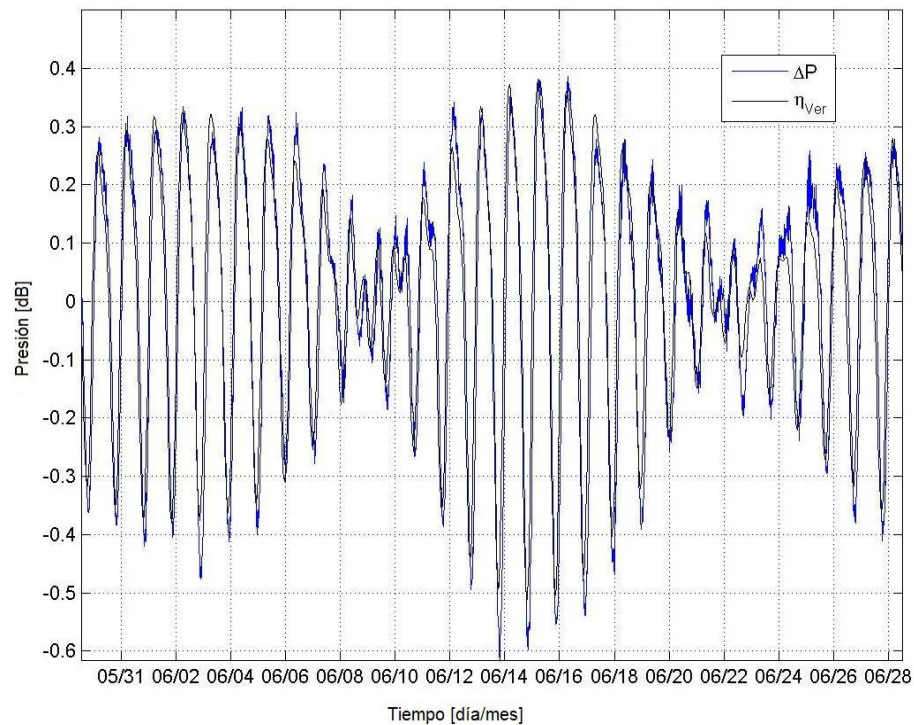


Figura 18. Registro de la altura del nivel del mar obtenido para el **PNSAV**. La línea azul corresponde al sensor de presión del **ADP** anclado frente a Punta Mocambo, Veracruz del 29 de mayo al 28 de junio del 2007 (medida, ΔP) y la línea en negro a la correspondiente a la red mareográfica del **CICESE** (predicción, η_{Ver}).

El graficado de los datos, tanto los medidos como los predichos, así como el análisis armónico obtenido a partir del registro del sensor del **ADP**, mostró que la marea en el área de estudio es del tipo **mixta**, con dominancia **diurna**, ya que las componentes predominantes fueron K1 y O1 (diurna) y M2 y S2 (semidiurna) (Tabla IV).

Tabla IV.- Componente, frecuencia, amplitud y fase de la marea para el área del **PNSAV**, durante mayo-junio del 2007, cálculos obtenidos a partir del registro obtenido con un **ADCP** anclado en Punta Mocambo, Ver.

COMPONENTE	FRECUENCIA (ciclos/hora)	AMPLITUD (m)	FASE (deg)
DIURNA			
K1	0.04178	0.1494	285.62
O1	0.03873	0.1486	285.68
P1	0.04155	0.0473	287.86
Q1	0.03721	0.0338	274.95
SEMIDIURNA			
M2	0.08051	0.0854	63.55
N2	0.07899	0.0214	50.03
S2	0.08333	0.0256	64.29

III.4.- Estructura hidrográfica.

De todas las variables medidas, las características hidrográficas, en específico la conductividad, fue la que presentó el mayor número de registros “anómalos” (muy por arriba de los descritos por otros autores para la misma región del **GM**). Las estaciones localizadas en inmediaciones de Punta Antón Lizardo, primordialmente, presentaron salinidades por arriba de los 38 ups; estos resultados, obligaron a que el análisis de dicha variable, fuera en la mayor parte de los casos, en forma de gradientes y principalmente de carácter descriptivo.

Así, tenemos que la columna de agua en el **PNSAV**, mostró gradientes de temperatura y salinidad de grad. T = 8°C y grad. S= 10ups, esta última, aún cuando reveló el gradiente más importante, fue la que presentó la menor variación en el perfil vertical, explicándose entonces, por la influencia de agua dulce (<15 ups), misma que corresponde a las estaciones ubicadas en las inmediaciones y desembocadura del río Jamapa (Fig.19). Los valores máximos encontrados (29.65°C y 38.36 ups, estación 7), se ubicaron en superficie en inmediaciones de Punta Antón Lizardo.

Producto de la desembocadura del río y por el tipo de muestreo realizado, fue posible definir que en las inmediaciones del **PNSAV**, existen dos ambientes: el primero de ellos, denominado **costero**, donde se identificó la influencia continental, y un segundo de **mezcla** entre lo costero con aguas más profundas.

Por otro lado y en función a la distribución vertical y horizontal de la temperatura y salinidad, permitió además, caracterizar en tres regiones al **PNSAV** en: **a) norte**, que corresponde a Bahía Vergara, **b) centro**, en la zona que comprende desde Punta Mocambo hasta la zona de influencia en la costa del río Jamapa y **c) sur** que comprende desde el río Jamapa hasta Punta Antón Lizardo (Fig. 20a y b).

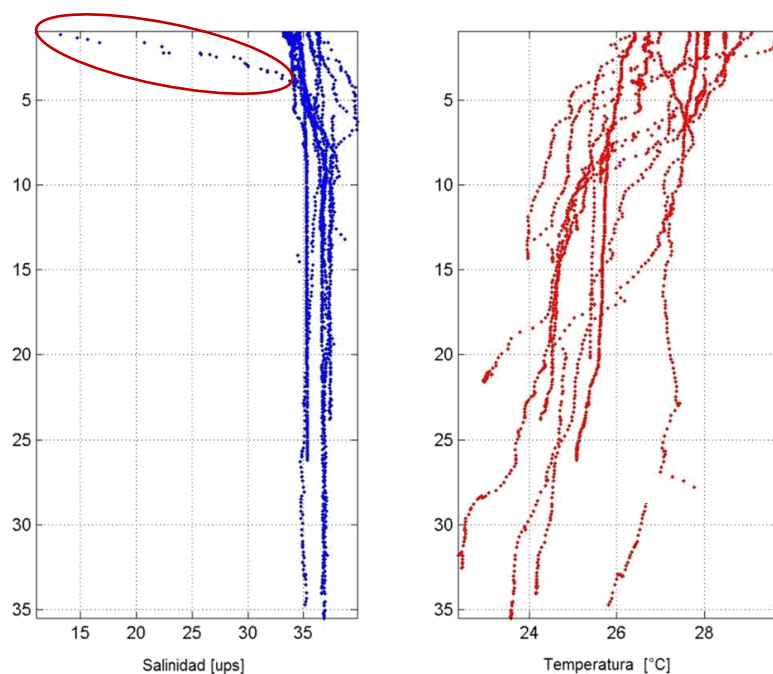


Figura 19. Perfiles verticales de salinidad y temperatura en el **PNSAV**. Datos obtenidos durante el arrastre del **ADCP**, al inicio y final de cada uno de los transectos. La elipse en rojo, denota la influencia del río Jamapa en el perfil vertical de salinidad.

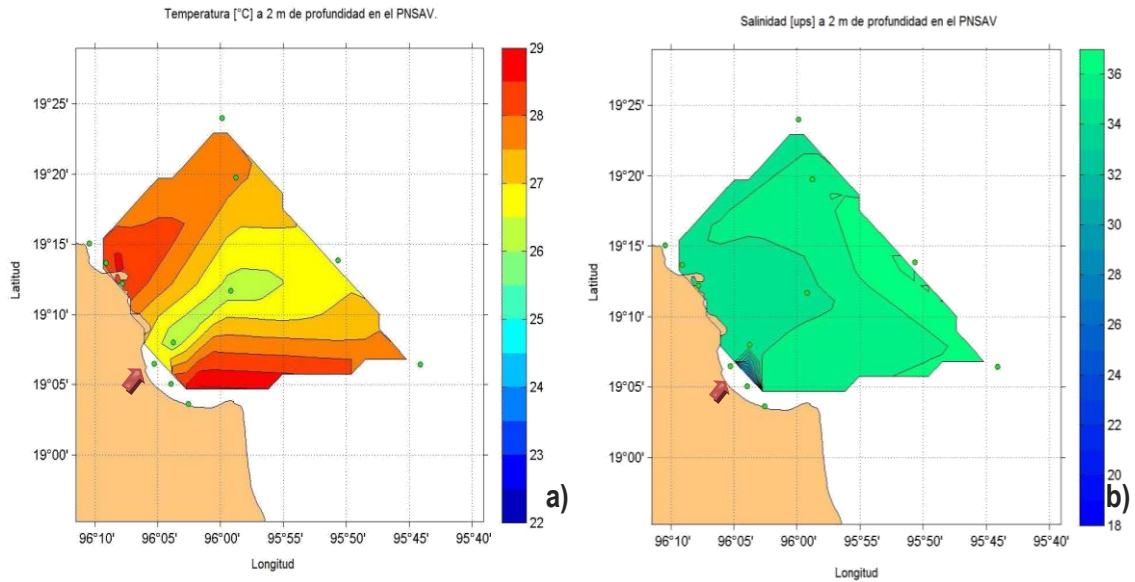


Figura 20. Distribución vertical de a) temperatura [°C], b) salinidad [ups] a 2m de profundidad durante el periodo de muestreo en el PNSAV. La flecha roja, indica la desembocadura del río Jamapa.

En la Tabla V, se describen las características de cada uno de los transectos descritos; los criterios para realizar esta clasificación, fue el de la regionalización observada en la distribución horizontal así como a la distancia entre las estaciones.

Tabla V.- Estaciones que comprenden los seis transectos así como su localización con respecto a la línea de costa y referencia geográfica, realizados en las inmediaciones del **PNSAV**, durante el periodo de arrastre del **ADCP**.

TRANSECTO	ESTACIONES Posición del transecto con respecto a la costa	Distancia transecto (km)	REFERENCIA GEOGRÁFICA
TRANSECTO 1	1,2 Paralelo a la costa	3.49	ZONA COSTERA Bahía Vergara
TRANSECTO 2	8, 9 Paralelo a la costa	8.11	ZONA PROFUNDA lado norte, Bahía Vergara
TRANSECTO 3	5,6,7 Paralelo a la costa	7.12	ZONA COSTERA río Jamapa – Pta. Antón Lizardo
TRANSECTO 4	11, 12 Paralelo a la costa	17.77	ZONA PROFUNDA lado sur, Pta. Antón Lizardo
TRANSECTO 5	5,4,10 Perpendicular a la costa	14.35	DESEMBOCADURA río Jamapa
TRANSECTO 6	10, 11 Perpendicular a la costa	15.51	ZONA PROFUNDA centro del PNSAV

ZONA NORTE.

En general, para la zona norte del **PNSAV**, se encontraron valores de temperatura y salinidad que van de 28.8 - 22.9 °C y 37.3 – 34.6 ups respectivamente. Para la zona costera de Bahía Vergara (Fig. 21a), se identificó una columna de agua bien estratificada y una **picnoclina** ubicada a los 5 m de profundidad de acuerdo a la frecuencia de *Brunt Väisälä*. Las bajas salinidades encontradas en superficie para esta zona, pueden explicarse a que en Bahía Vergara, se localiza la planta de tratamiento de aguas residuales más grande del Puerto de Veracruz con un volumen de descarga de 900 l s⁻¹ (**CRAS** 2003).

Para las estaciones alejadas de la costa (22 km), el comportamiento es similar al de las estaciones cercanas a la costa, agua relativamente fría que se encontraba en aguas poco profundas (12 m), estuvo presente por debajo de los 20m, desplazando a las cálidas de superficie, el agua menos densa y salada solo se encontró en los primeros 5 m. Sobresale entre los 15 y 20 m, la intrusión de agua de 37.5 ups. Estas variaciones en los valores de salinidad, definieron una mala estratificación de la columna de agua, llegándose a mostrar, valores negativos en la frecuencia de *Brunt Väisälä* (Fig. 21b).

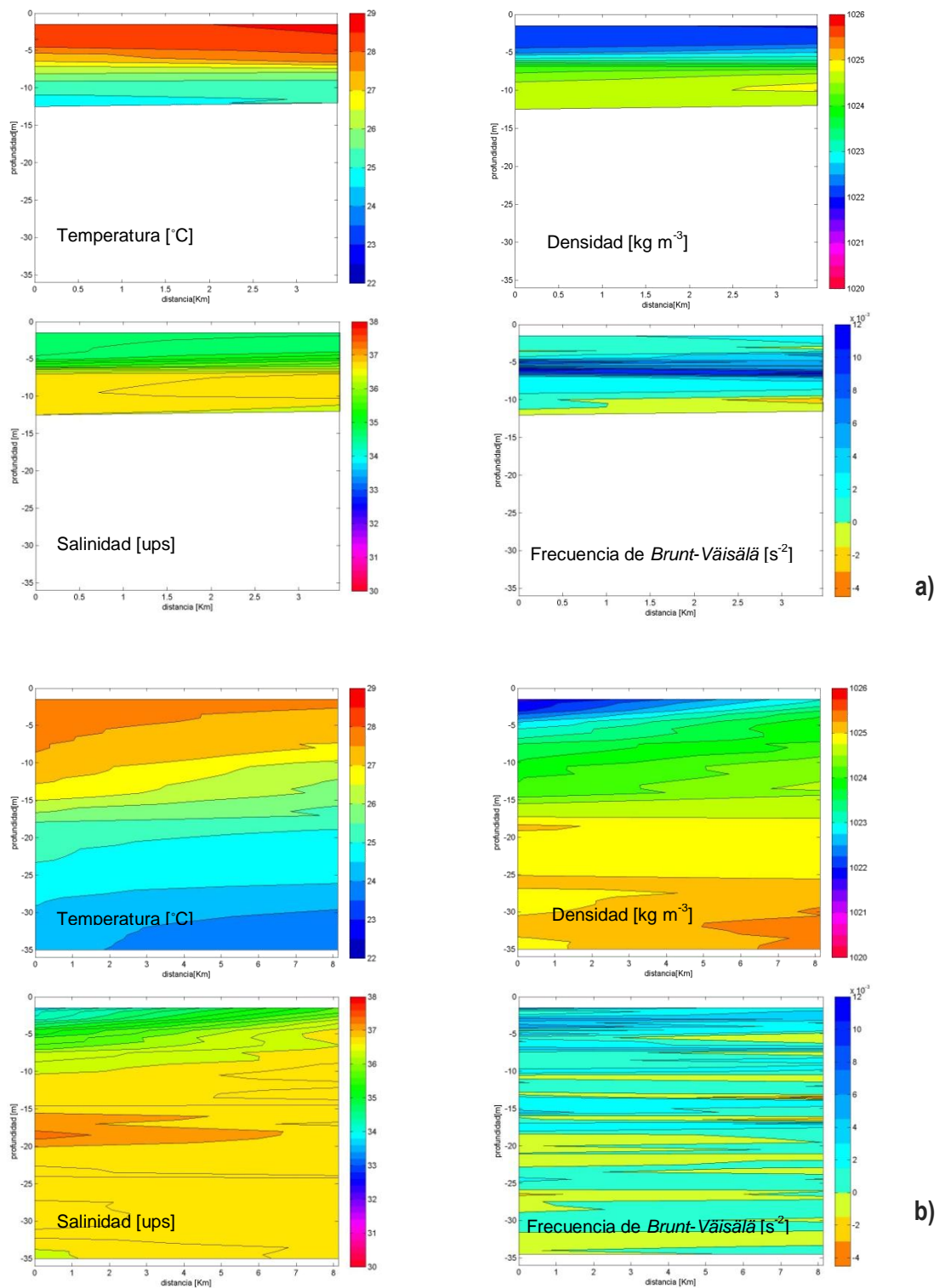


Figura 21.- Transectos de temperatura, densidad, salinidad y frecuencia de *Brunt Väisälä* en la porción norte del **PNSAV** en **a)** cercana a la costa, estaciones 1 y 2 y **b)** alejada de la costa, estaciones 8 y 9.

ZONA CENTRO

El transecto perpendicular a la costa (estaciones 5, 4 y 10) ubicado en la desembocadura del río, permitió definir la zona de influencia de la pluma boyante; ésta se encontró bien definida en los primeros 4 km hasta los 7 m de profundidad y hasta los 14 km hacia afuera de la costa sólo a nivel superficial. La salinidad y la frecuencia de *Brunt Väisälä*, definen al resto de la columna de agua como bien mezclada. Resalta también que por dicho proceso de mezcla, la temperatura superficial se encontró, 2°C por debajo con respecto a las zona norte y sur (Fig. 22a).

En cuanto al transecto perpendicular a la costa alejado de ésta (estaciones 10 y 11), se encontró, aproximadamente a 15 km de distancia, la presencia de aguas mucho más cálidas y saladas, posiblemente de zonas más profundas o que por influencia de la radiación solar (evaporación) presentan estas características. La frecuencia de *Brunt Väisälä*, presentó valores negativos a lo largo del perfil, esto indica una inestabilidad de la columna de agua, debido, muy posiblemente a la diferencia en los gradientes termohalinos presentes (Fig 22b).

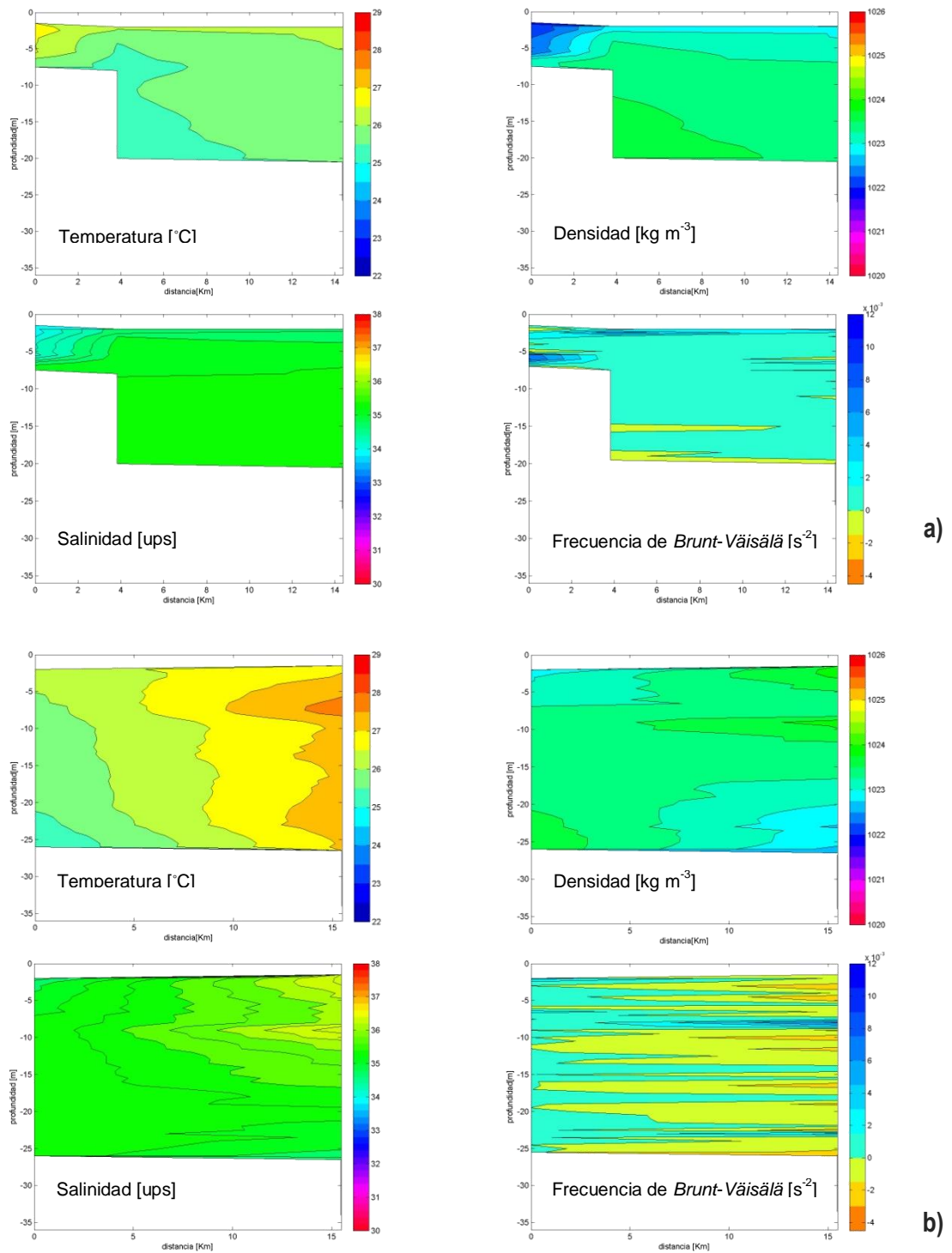


Figura 22.- Transectos de temperatura, densidad, salinidad y frecuencia de *Brunt Väisälä* en la porción centro del PNSAV en **a)** cercana a la costa, estaciones 5, 4 y 10 y **b)** alejada de la costa, estaciones 10 y 11.

ZONA SUR.

De la misma manera que para la zona norte, es posible distinguir entre el efecto continental sobre la costa y la influencia de aguas más profundas en las estaciones alejadas de ésta; la diferencia con la norte, es que en la porción sur, los gradientes son mucho más intensos y en distancias más cortas.

En las estaciones cercanas a la costa, la influencia del río Jamapa, se observó en los primeros 5 m de profundidad y hacia el sur hasta los 7 km que comprende el transecto. La temperatura superficial en esta región se encontró entre los 26.5 - 27 °C siendo menos cálidas que en la porción norte y que podría definir, una dinámica distinta para cada región (Fig. 23a).

Mientras que para las estaciones profundas, se encontraron aguas frías, más densas y saladas, provenientes de la estación 12, mismas que desplazan a las cálidas. La frecuencia de *Brunt Väisälä*, al igual que para la zona centro del **PNSAV**, mostró la inestabilidad de la columna de agua como un efecto de la presencia de aguas con gradientes termohalinos importantes (Fig. 23b).

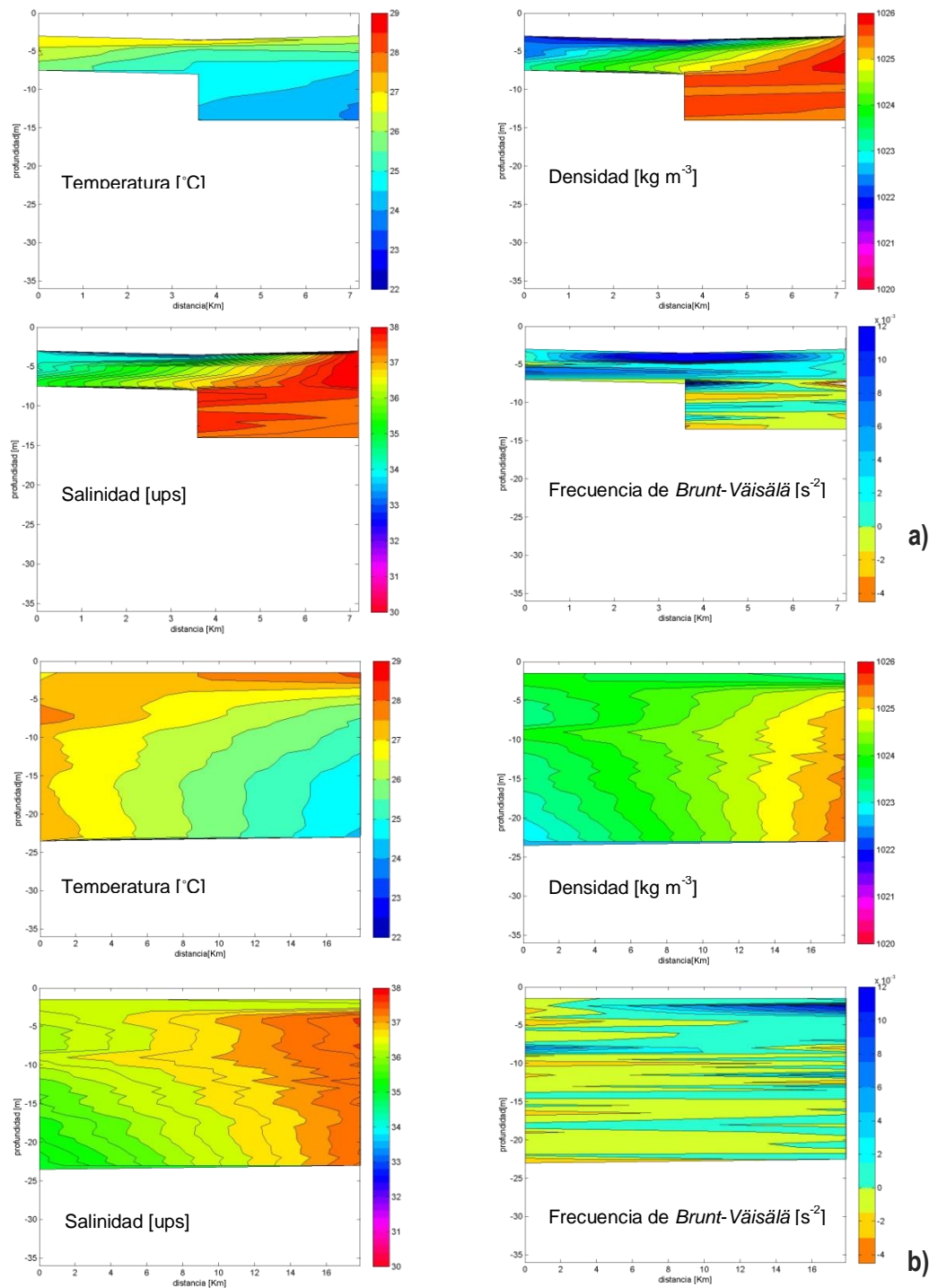


Figura 23.- Transectos de temperatura, densidad, salinidad y frecuencia de *Brunt Väisälä* en la porción sur del PNSAV en a) cercana a la costa, estaciones 5, 6 y 7 y b) alejada de la costa, estaciones 11 y 12.

III.5. CORRIENTES.

III.5.1. ANCLAJE.

El **ADP** anclado a 20 m de profundidad frente a Punta Mocambo, registró durante dos periodos de mareas vivas y dos muertas (del 26 de mayo al 28 de junio del 2007) datos de temperatura, nivel del mar, dirección y magnitud de la corriente a un solo nivel. Los datos del nivel del mar, ya fueron descritos en la sección correspondiente, por lo que a continuación, solo se describen los registros de temperatura y corrientes. En el mismo gráfico (Fig. 24), se incluye la serie de vientos correspondiente a la estación meteorológica de Alvarado, lo anterior con la finalidad de facilitar la correlación entre variables.

La temperatura registrada, mostró dos periodos de incremento; el primero de ellos, al inicio de las observaciones (1- 3 de junio) con una duración aproximada de tres días, alcanzando un valor máximo de 27.5 °C y decreciendo gradualmente a lo largo de nueve días a partir de los cuales, se presentó el segundo periodo de incremento; éste tuvo una duración de cinco días y posteriormente decreció hasta la conclusión del experimento. Cabe mencionar que fue durante la última fase del registro de corrientes, donde se presentó la temperatura mínima (23 °C). A lo largo del periodo de observaciones se presentaron variaciones y/o gradientes de hasta un grado de temperatura en periodos de tiempo muy cortos; aparentemente, este comportamiento, tiene estrecha relación con la variación del nivel del mar.

El registro de corrientes evidenció una circulación compleja a los 20 m de profundidad, debida muy probablemente, a la variación en la topografía de la zona, así como al efecto de factores físicos tales como marea y viento y/o como producto de la diferencia en la estructura termohalina de la zona a consecuencia de los aportes continentales y/o a la mezcla con agua de mayor profundidad.

La dirección y magnitud de la corriente, presentó cambios continuos en su comportamiento, siendo los más evidentes durante los periodos de marea viva donde la dirección predominante fue hacia el suroeste y velocidades promedio de 2.6 y 3 cm s⁻¹ respectivamente para cada periodo de marea viva. Mientras que durante los periodos de marea muerta, la dirección predominante fue hacia noreste con una velocidad promedio de 4.6 y 6 cm s⁻¹. Para todo el periodo de muestreo, la dirección predominante fue hacia el nornoroeste con una velocidad promedio de 3.21 cm s⁻¹ (Fig. 24).

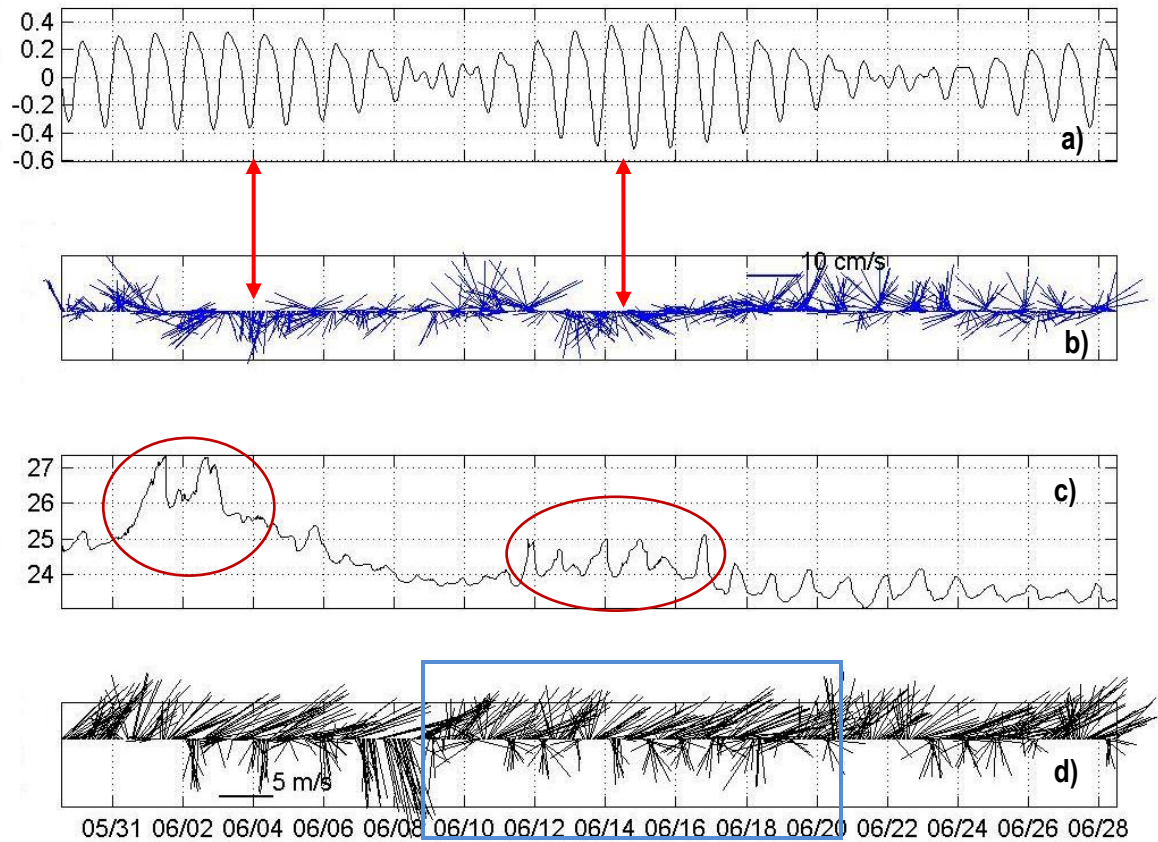


Figura 24.- Series de tiempo de: **a)** nivel del mar, predicha [m], **b)** dirección y magnitud de la corriente [cm s^{-1}], **c)** temperatura del agua [$^{\circ}\text{C}$], obtenidos del **ADP** instalado a 20 m de profundidad en Punta Mocambo, Ver., del 31 de mayo al 28 de junio del 2007 y **d)** dirección y magnitud [m s^{-1}] del viento de la estación meteorológica localizada en el Puerto de Alvarado (proporcionados por **CNA**), para el mismo periodo de tiempo. El recuadro en azul, denota la modulación diurna en este parámetro. Las flechas indican los periodos de cambio en la dirección asociados al incremento en el valor de la temperatura marcados con círculos; nótese la correlación con el periodo de mareas vivas.

Se analizó el espectro de frecuencias de las componentes U y V, en el cual se observó una fuerte señal **diurna** (elipse azul); este mismo análisis permitió apreciar que es la componente **U** (este-oeste) la más energética, aproximadamente el doble de magnitud y en esta misma banda de frecuencia, en comparación con la componente **V** (norte-sur) (Fig. 25).

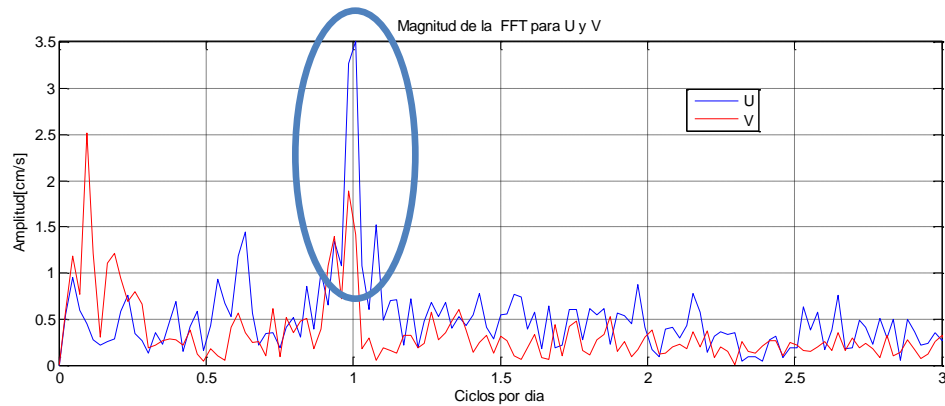


Figura 25.- Espectro de frecuencia de la componente **U** y **V** de la serie de tiempo de corrientes medida del 31 de mayo al 28 de junio del 2007, mediante un **ADP** tipo *Argonaut*, en el **PNSAV**.

III.5.2. PERFILACIONES CON ADCP.

Toda vez que los datos del equipo fueron visualizados mediante el software y le fueron aplicados y establecidos los nuevos parámetros de calidad para así poderlos trabajar en *Mat-lab*, fue necesario eliminar los primeros tres metros de profundidad (superficie) ya que estos mostraban el “*ruido*” producto de la velocidad que alcanzó la embarcación.

Posteriormente y debido a que las celdas de registro fueron cada 50 cm, fue necesario integrar en la vertical, obteniendo así, un solo perfil a partir de los 3-6 m de profundidad. Al graficar el perfil integrado, se observó, solo en algunos de los casos diferencias significativas entre éste y el de superficie, por lo que dependiendo del resultado del análisis aplicado, es cómo serán descritos. En la Tabla VI, se resumen las características de cada uno de ellos.

Tabla VI.- Características de cada uno de los transectos realizados con el ADCP, en inmediaciones del PNSAV, durante junio del 2007.

#	Día	Hora de inicio y final	Trayectoria principal con respecto a la línea de costa	Referencia geográfica
1	21-06-07	10:48–13:58	Perpendicular	Bahía Vergara, playa norte
2	22-06-07	07:38–10:26	Perpendicular	Dársena portuaria
3	22-06-07	10:27-13:41	Perpendicular	Porción central de PNSAV
4	22-06-07	13:45-16:35	Perpendicular	Desembocadura río Jamapa
5	25-06-07	14:10–15:30	Paralelo	Corredor turístico Veracruz-Boca del Río

TRANSECTO BAHÍA VERGARA.

Este transecto reveló, para la zona norte del **PNSAV**, dos corrientes bien definidas paralelas a la costa y con dirección contraria; la primera de ellas a partir de la isobata de los 40 m y hacia afuera de la costa con una dirección predominante hacia el **noroeste** y una velocidad promedio de 28.3 cm s^{-1} , mientras que para la porción más cercana a la costa se presentó un transporte hacia el **sureste** (denominada corriente litoral) con una velocidad promedio de 13.6 cm s^{-1} (Fig. 26). Durante el periodo de muestreo, el viento mantuvo una dirección hacia el **noroeste**, mientras que la marea se encontraba en condición de **bajamar**.

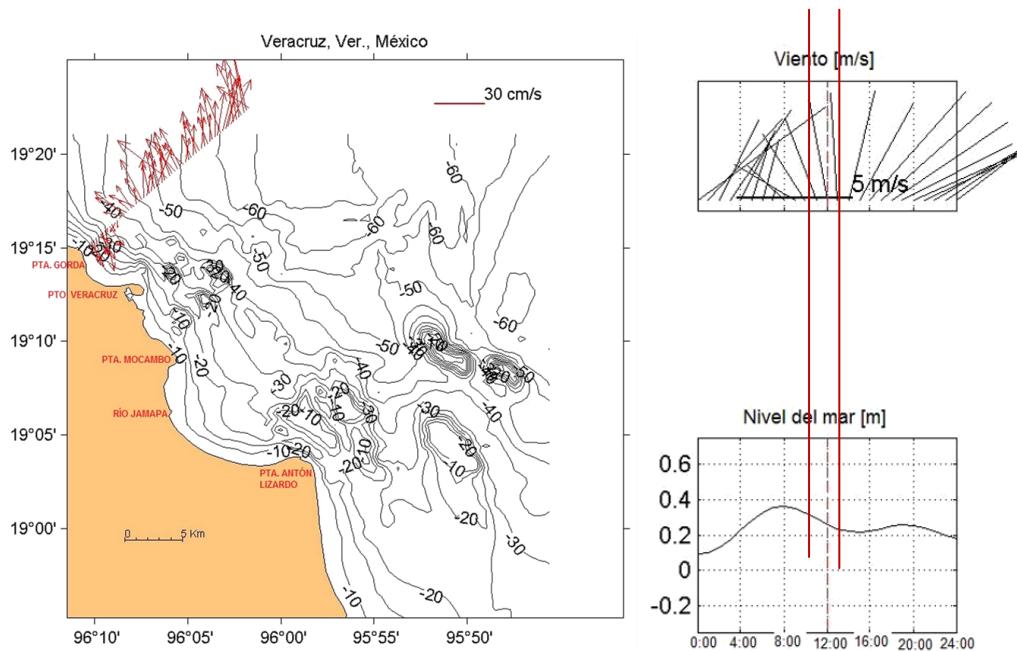


Figura. 26.- Corriente superficial (3-6 m de profundidad) obtenido mediante perfilación con ADCP en la zona de Bahía Vergara, Ver., el 21 de junio del 2007. A la derecha, las condiciones del viento y nivel del mar delimitadas por las líneas rojas para el periodo que duró el perfil.

Al representar a este transecto en particular, mediante un diagrama de contornos, se pudo observar, la dirección de los flujos a lo largo del transecto. En la figura 27, se muestra que el flujo paralelo al transecto (U_{\parallel} , este-oeste), presentó una velocidad hacia el oeste a partir de los 4 km, con variaciones a lo largo del transecto, mientras que el flujo perpendicular (V_{\perp} , norte-sur), la dirección es hacia el norte, coincidiendo con el análisis previo.

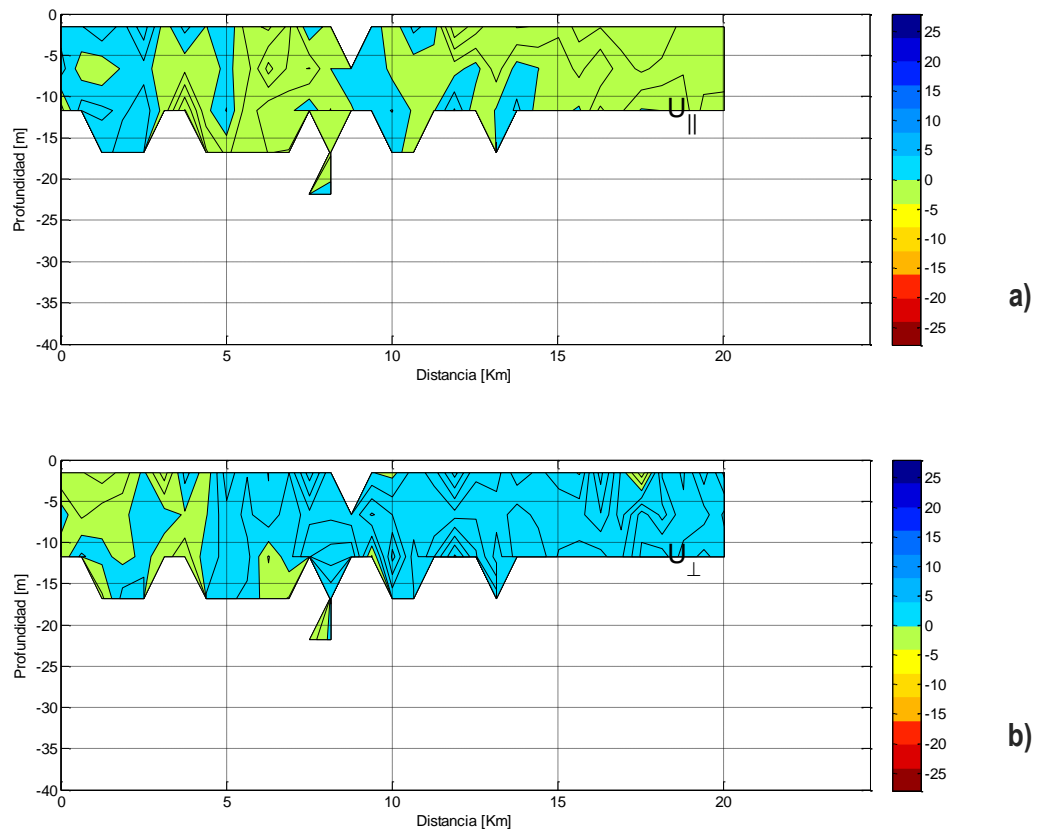


Figura. 27.- Diagrama de contornos obtenido a partir del arrastre de **ADCP** en la zona de Bahía Vergara, Ver., el 21 de junio del 2007. El análisis muestra la dirección predominante para dicho transecto, sureste en la porción cercana a la costa y noroeste en la porción alejada de la costa.

TRANSECTO DÁRSENA PORTUARIA.

El primer transecto realizado el día 22, mostró a nivel superficial, una velocidad promedio de 18.6 cm s^{-1} paralelas y con mayor intensidad conforme se aleja de la costa, con una dirección predominante hacia el noroeste (Fig. 28a). A diferencia del transecto realizado el día anterior, sí existen diferencias significativas al integrar las velocidades en toda la columna de agua (Fig. 28b) encontrándose una disminución importante en la velocidad con un promedio de 12.5 cm s^{-1} , la dirección predominante se mantuvo igual que en superficie. No fue evidente la corriente litoral con dirección hacia el sureste, en cambio, se presentó una dirección perpendicular a la línea de costa; por otro lado fue evidente el efecto de la batimetría y la presencia del arrecife Galleguilla, provocando cambios en la dirección de la corriente.

Durante el muestreo de este transecto, el nivel del mar, se encontraba en su fase de transición entre la **pleamar y bajamar**, mientras que la dirección del viento, se mantuvo del **noroeste** con variaciones en su intensidad.

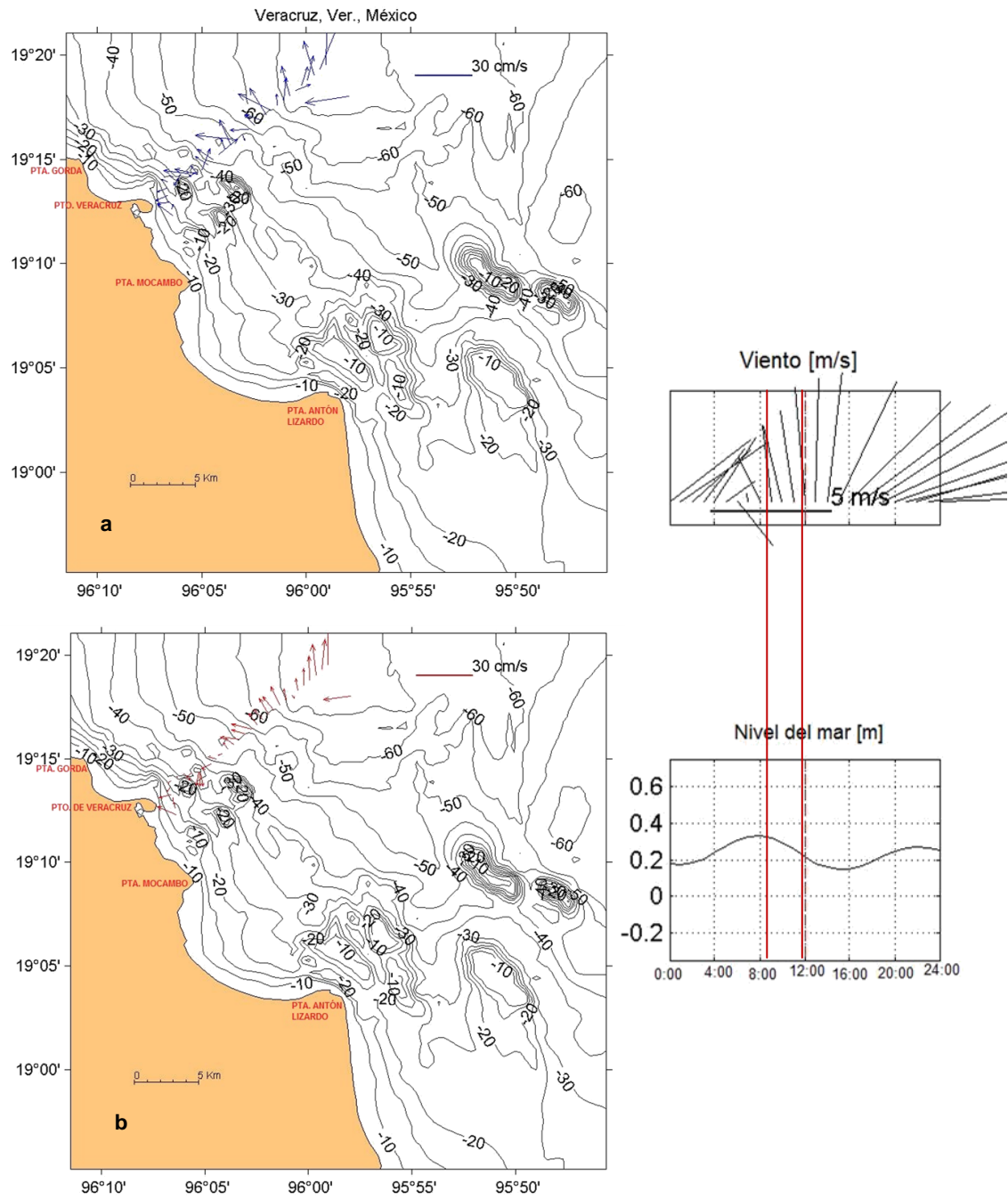


Figura. 28- Corrientes **a)** superficiales (3-6 m de profundidad) y **b)** columna integrada, obtenidos mediante perfilaciones con **ADCP** frente a la dársena del Puerto de Veracruz, Ver el 22 de junio del 2007. A la derecha, las condiciones del viento y nivel del mar delimitadas por las líneas rojas para el periodo que duró el perfil.

TRANSECTOS ZONA CENTRO PNSAV.

Este transecto, muestra la complejidad de la dinámica en la parte central del **PNSAV**; se realizaron tres líneas paralelas entre sí y dos perpendiculares a la costa comprendiendo las isobatas entre los 40 a 60 m de profundidad y teniendo como referencia geográfica de norte a sur el arrecife de Anegada de Adentro, Punta Mocambo y la desembocadura del río Jamapa. Pudieron observarse cambios importantes en superficie con respecto a la columna integrada; para ambos, se hace evidente el efecto del fondo debido al arrecife generando corrientes en dirección contraria a la costa siendo más evidentes al integrar la columna. Las condiciones de viento y marea durante el registro, fueron hacia el **noroeste** y de transición entre la **pleamar y bajamar**, respectivamente.

Específicamente para la línea norte, la dirección de la corriente fue predominantemente paralela a la costa con dirección hacia el **nornoreste**, excepto para la zona de los 40 m; en superficie, presentó una dirección hacia la costa, mientras que para la columna integrada, el vector muestra una dirección en sentido contrario. Para el transecto central y para ambas profundidades analizadas, no se evidenció un cambio en la dirección, la cual se mostró paralela a la costa hacia el **noroeste**, incrementándose conforme se aleja de ésta. En cambio, la línea sur, presentó cambios significativos; en superficie, la corriente se mantuvo con una dirección hacia la costa, mientras que al integrar la columna, la dirección predominante fue paralela a ésta (Fig. 29 a y b).

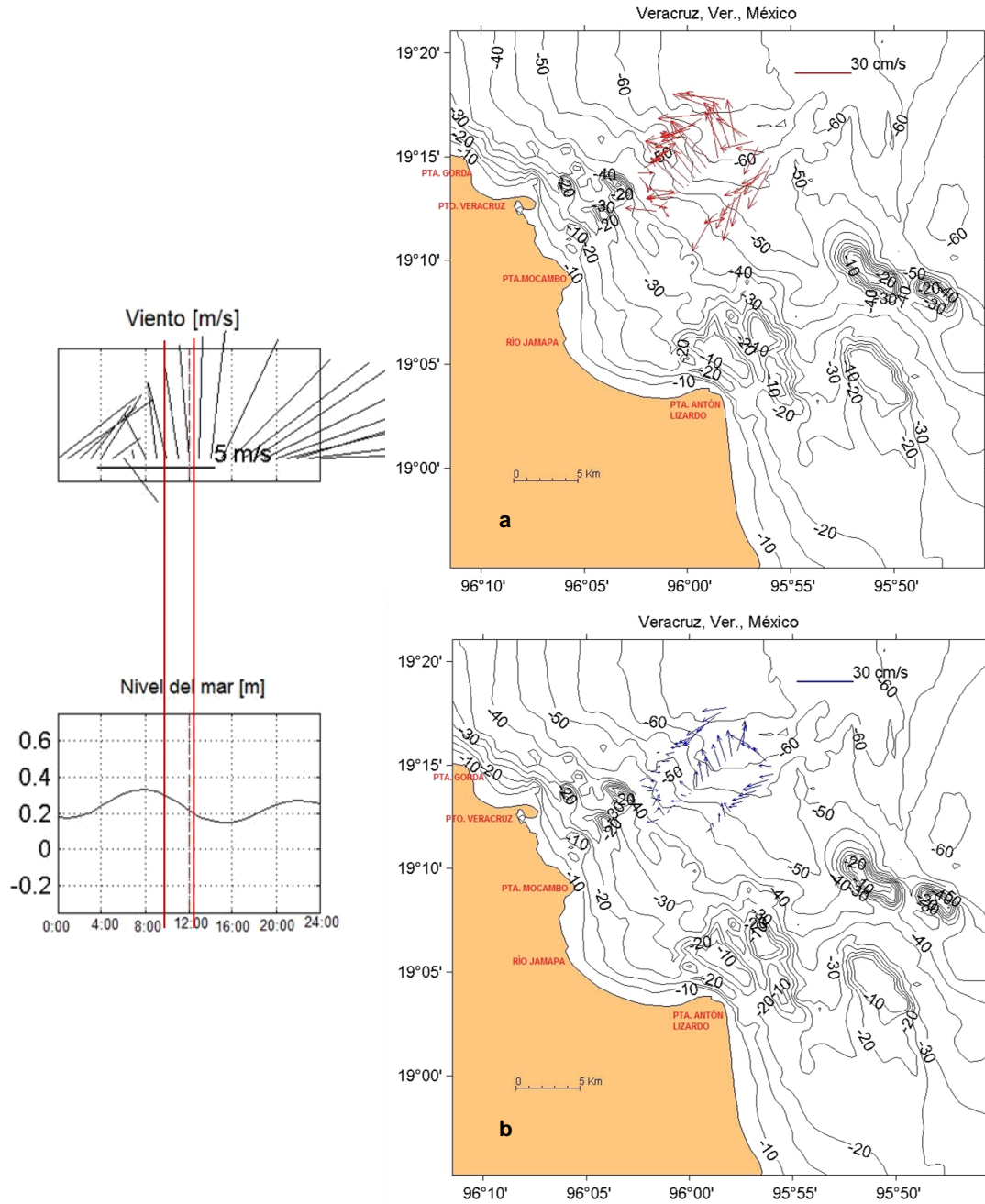


Figura. 29- Corrientes **a)** superficial (3-6 m de profundidad) y **b)** columna integrada, realizados mediante perfilaciones con **ADCP** en la porción central del **PNSAV**, el 22 de junio del 2007. A la izquierda, las condiciones del viento y nivel del mar delimitadas por las líneas rojas para el periodo que duró el perfil.

TRANSECTO RÍO JAMAPA.

Realizado el mismo día que los dos anteriores, bajo condiciones de **bajamar** y viento proveniente del **noreste** y rachas de máxima intensidad (6 m s^{-1}); se localizó en la zona cercana a la costa en las inmediaciones de la desembocadura del río, con dos trayectorias; la primera hacia afuera de la costa y una segunda paralela a la costa hacia Punta Antón Lizardo, la isobata de los 20 m, delimita de manera natural, dos comportamientos en cuanto a la dinámica de la zona; en la primera de ellas, la dirección se mantuvo hacia afuera de la costa, mientras que para la segunda, fue evidente la presencia de un giro ciclónico; el comportamiento fue el mismo tanto para aguas superficiales como al integrar la columna, variando solo en intensidad (Fig. 30).

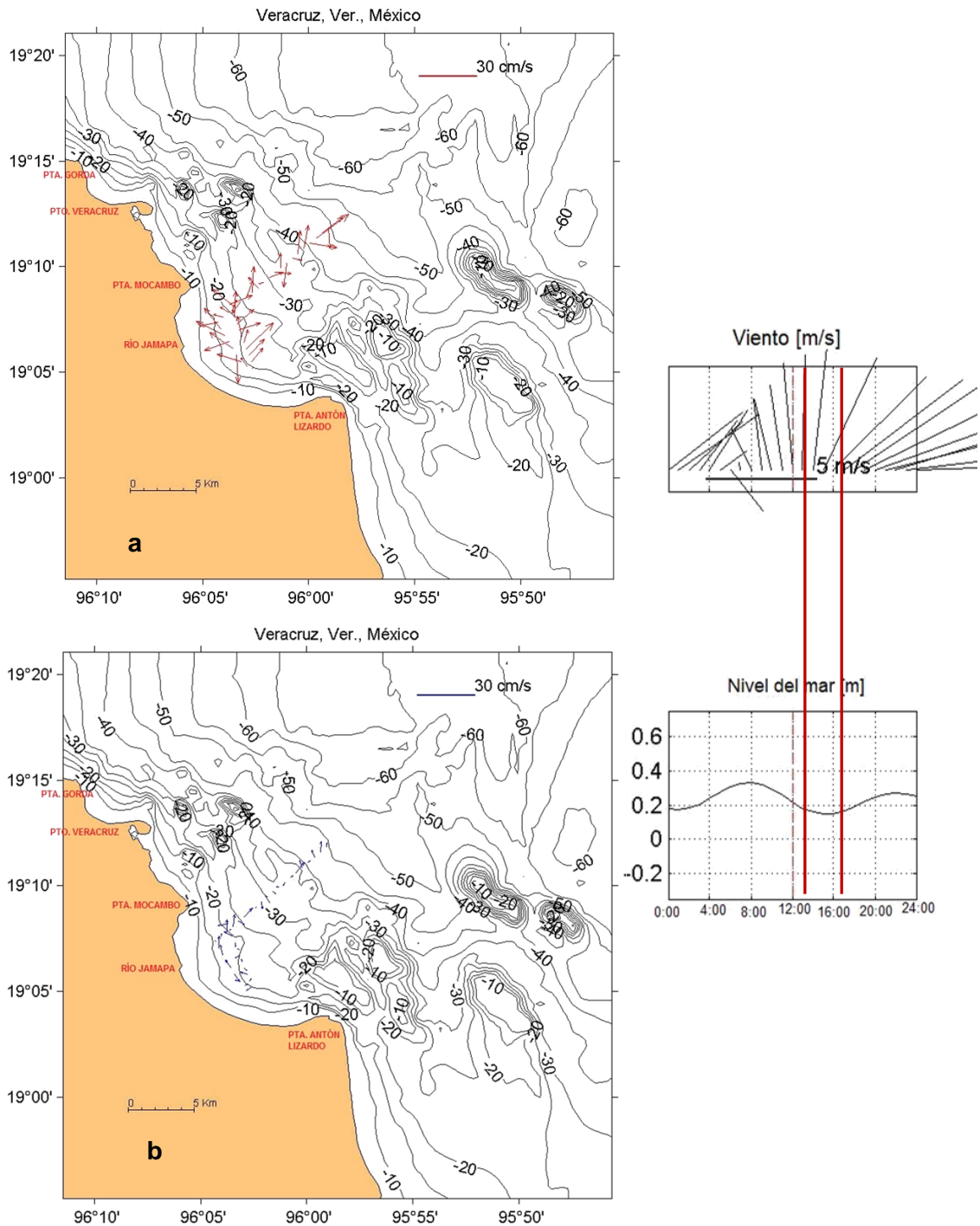


Figura. 30- Corrientes **a)** superficial (3-6 m de profundidad) y **b)** columna integrada realizados mediante perfilación con **ADCP** frente al río Jamapa, Boca del río, Ver., el 22 de junio del 2007. A la derecha, las condiciones del viento y nivel del mar delimitadas por las líneas rojas para el periodo que duró el perfil.

TRANSECTO CORREDOR TURÍSTICO.

Tres días después, el 25 de junio, bajo condiciones de **bajamar** y con vientos provenientes del **noreste**, se realizó un último transecto cubriendo desde la dársena portuaria hasta la porción sur del río Jamapa entre las isobatas de 10 y 20 m; las corrientes mostraron dos comportamientos divididos de manera imaginaria por Punta Mocambo e Isla Sacrificios; ambas presentan una dirección predominante hacia afuera de la costa noroeste; sin embargo si varían en intensidad, siendo menor en la margen norte de la isla y viceversa en la margen sur. Se hace evidente la presencia y efecto del fondo provocados por Isla Sacrificios, invirtiéndose la dirección de la corriente hacia la costa (Fig. 31).

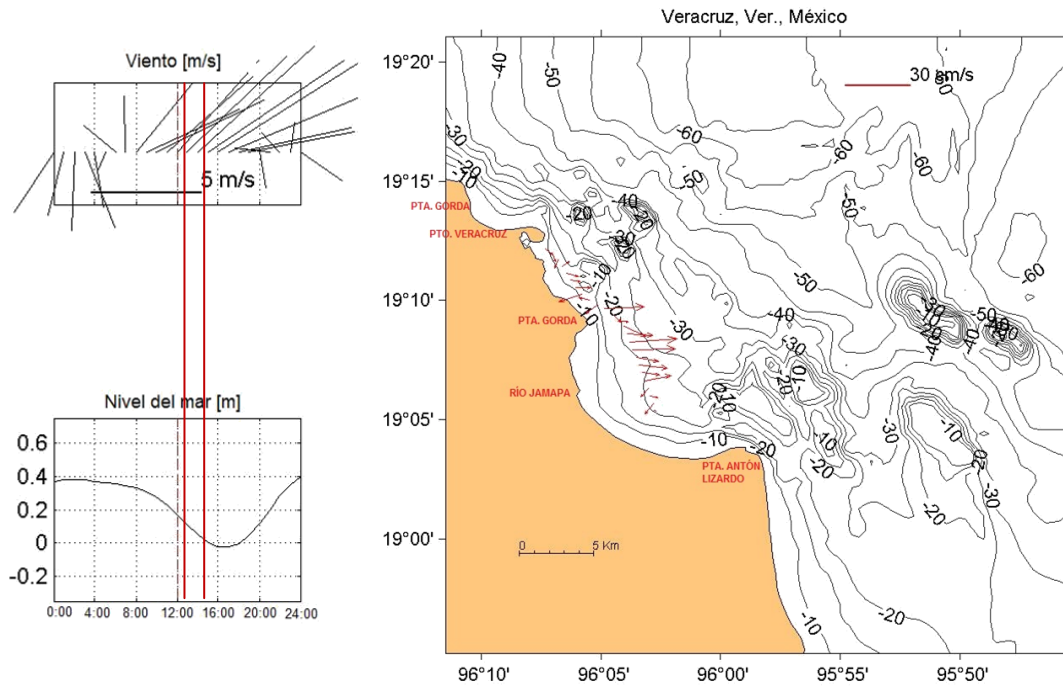


Figura 31.- Transecto de corrientes realizados mediante perfilaciones con **ADCP** en la zona del Corredor turístico Veracruz-Boca del río, Ver, el día 25 de junio del 2007. . A la izquierda, las condiciones del viento y nivel del mar delimitadas por las líneas rojas para el periodo que duró el perfil.

IV. DISCUSIONES.

Los conceptos clásicos sobre la hidrodinámica de lagunas, bahías o cuerpos de agua costeros en general, consideran tres agentes que modifican la dinámica de manera directa: la **batimetría**, las **variables meteorológicas** y la **marea**. Estos forzamientos generan patrones de circulación inmediata y dan lugar a la formación de otros factores que empiezan a interactuar con ellos (apilamientos de agua, gradientes de presión, gradientes de densidad, entre otros), y que incluso en algunas ocasiones, pueden llegar a ser más importantes que los forzamientos primarios (*Fischer et al.* 1979). Para el caso particular de la zona costera del corredor turístico Veracruz-Boca del Río, estos tres agentes y algunos otros más, se encuentran presentes e influyen de manera directa e importante sobre su hidrodinámica. Uno a uno, iremos discutiendo la manera en que afectaron en el patrón de circulación del **PNSAV** para el periodo mayo-junio del 2007.

La circulación en el **GM** notable por su intensidad y variabilidad, se encuentra gobernada por procesos de inestabilidad tanto barotrópicos como baroclínicos (*Thompson* 1986), que producen una circulación característica para su porción este y otra para la oeste; en la primera de ellas la corriente de Lazo es la predominante, mientras que para la segunda la presencia de dos giros perfectamente delimitados espacialmente; un giro anticiclónico en la porción oeste del **GM** y un ciclónico en la Bahía de Campeche; este último es de carácter semipermanente resultado del esfuerzo del viento ciclónico sobre esta bahía (*Vázquez de la Cerda* 1993, *Zavala-Hidalgo et al.* 2002), gobiernan su dinámica.

Mediante el uso de imágenes de altura dinámica y de velocidad geostrófica obtenidas de datos multisatelitales que se encuentran disponibles en el sitio de internet de AVISO (*Archiving Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data*, por sus siglas en ingles), así como de imágenes de temperatura superficial y clorofila *a* (**SeaWiFS** y **MODIS**) proporcionadas por el Dr. Eduardo Santamaría del Ángel, fue posible observar las condiciones de gran escala existentes en el área de estudio, principalmente en los días previos y durante el periodo de muestreo (28 de mayo al 28 de junio), mismos que confirmaron la presencia del remolino ciclónico característico de esta región el cual mostró una mayor intensidad durante la segunda quincena de mayo disminuyendo conforme finalizaba el experimento de medición de corrientes. Dicho remolino, se mantuvo interactuando con un anticiclónico formando un importante frente que fue desplazándose desde los 24 a 23° de latitud norte y de los 96 a 94° de longitud oeste aproximadamente en un tiempo de 30 días, este último adquiere mayor intensidad, desplazando al ciclónico (Fig. 32).

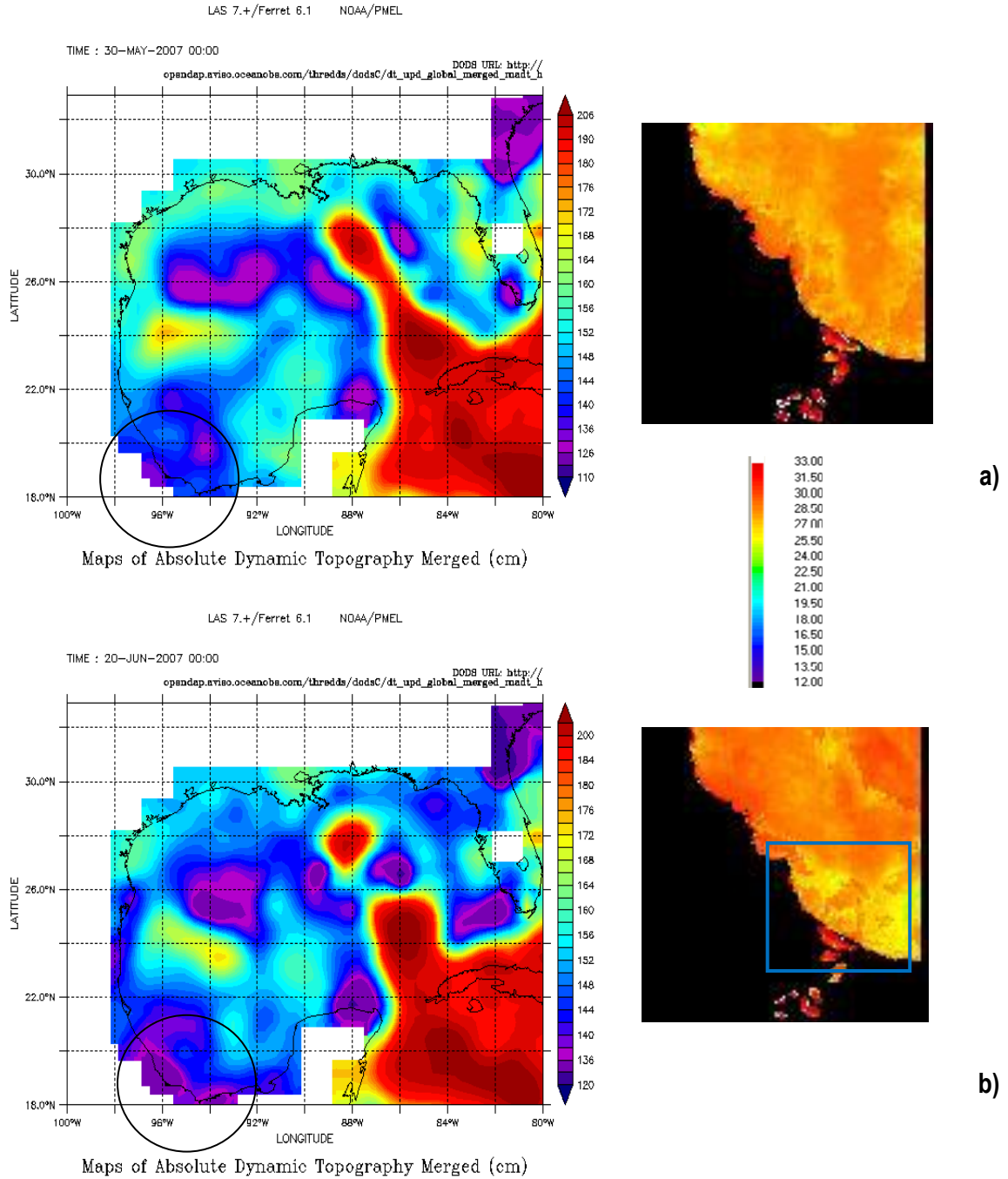


Figura 32.- Mapas de altura dinámica para el GM (izquierda) e imagen compuesta mensual de temperatura superficial del mar (derecha), obtenidas de NOAA y SeaWiFS respectivamente, durante **a)** mayo y **b)** junio del 2007. La zona remarcada en círculo en negro, corresponde al área de estudio y remarca también, la diferencia en intensidad del giro ciclónico presente. Obsérvese la disminución de la temperatura superficial (recuadro en azul) durante junio, debido al aumento en intensidad del remolino ciclónico.

La presencia de remolinos anticiclónicos y/o ciclónicos caracteriza las condiciones hidrográficas y de circulación; para los primeros la salinidad y temperatura tienden a aumentar, mientras que para los segundos disminuyen, esta última condición, se presenta en el **PNSAV**. Además de modificar la estructura hidrográfica, de acuerdo con *Rhines* (2001), su presencia en la zona costera modifican la distribución de contaminantes y nutrientes, la concentración de estos últimos llega a limitar incluso la productividad primaria definiendo a una zona como oligotrófica o eutrófica.

Esta condición de mesoescala existente en la zona de estudio, puede explicar en cierta medida, las condiciones de temperatura encontradas en la columna de agua, las cuales, sin considerar las que se encuentran en superficie y que están directamente bajo la influencia de la radiación solar, se encontraron en un rango entre los 26 a 22°C desde los 8 m de profundidad y provenientes del sur (Fig. 33); confirmándose también con el **ADP** anclado en Punta Mocambo, el cual registró temperaturas mínimas de 23°C a 20 m de profundidad. De acuerdo con Hernández-Téllez y Salgado-Rivero (1996), en la región del **PNSAV** se pueden distinguir dos tipos de agua; una costera resultado de la mezcla del Agua Común del Golfo de México (**CGMW**) con aguas propiamente costeras con valores entre los 21-29 °C y 34-36.5 ups y una segunda, denominada *masa de agua diluida* resultado de la mezcla entre aguas costeras con las de baja salinidad provenientes de las descargas del río y cuyos límites termohalinos se encontraron entre los 27-33.5 °C y 29-34 ups. Estas características coinciden con las encontradas durante este estudio, siendo mucho más evidente la influencia del Jamapa, incluso a 14 km hacia afuera de la costa y con salinidades de 18 ups cercanas a la costa.

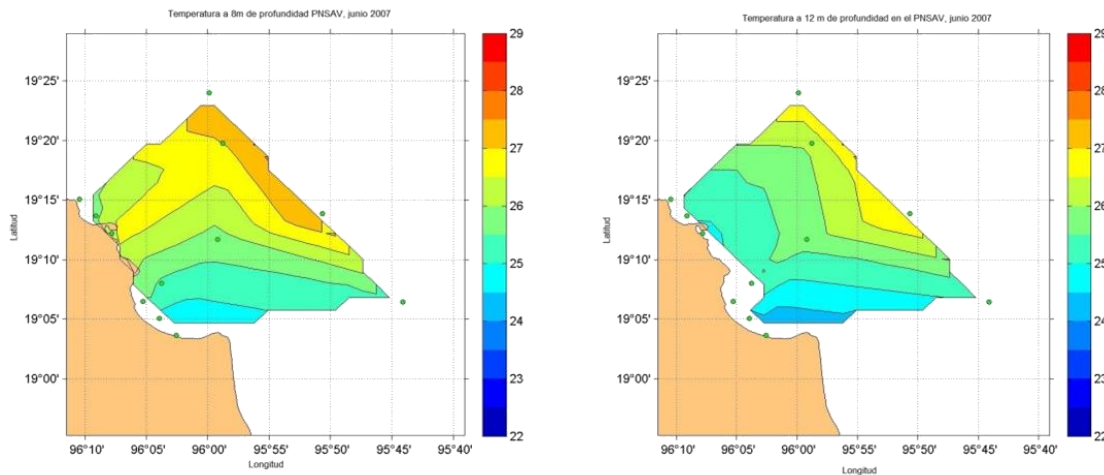


Figura 33.- Distribución horizontal de la temperatura a 8 (izquierda) y 12 m (derecha) de profundidad en el **PNSAV** durante junio del 2007. Datos obtenidos con CTD.

Considerando que la zona costera donde se encuentra el **PNSAV**, se encuentra influenciado por la descarga fluvial de los ríos Jamapa y Papaloapan (Fig. 34), así como por el vertimiento de aguas tratadas municipales, podemos entonces, considerar a las variaciones en la estructura hidrográfica como un agente modificador de su dinámica, misma que provoca frentes termohalinos, siendo los más frecuentes los halinos como producto de la diferencia entre la salinidad del agua del sistema fluvial y pluvial con la del agua de mar. Estos frentes fueron evidentes mediante la distribución vertical y horizontal de temperatura, salinidad y densidad de los datos obtenidos a partir del **CTD** y corroborados con la frecuencia de *Brunt Väisälä* que mostró la inestabilidad de la columna de agua en áreas específicas del área de estudio. Estas diferencias hidrológicas, permiten la formación de estructuras de microescala que aunadas a otros forzamientos, crean una dinámica particular; tal como se presentó en la zona centro y sur del **PNSAV**.



Figura 34.- Fotografía aérea del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (**PNSAV**) donde se hace evidente la influencia de la descarga del Río Papaloapan, Municipio de Alvarado, Ver. Imagen proporcionada por personal del Instituto de Ecología y Pesquerías de la **UV**.

Por otro lado, el **ADP** anclado en las inmediaciones de Punta Mocambo, mostró durante los dos periodos de mareas viva, inversiones en la dirección de la corriente, presentándose condiciones ciclónicas (Fig. 23) y donde sobresalen los valores de temperatura registrados por el mismo equipo, los cuales mostraron incrementos de hasta 2.5°C en 24 hrs; estos incrementos resultarían contrarios al comportamiento clásico de la columna de agua bajo condiciones ciclónicas; es por ello que para tratar de explicar este comportamiento, analizaremos el efecto de la marea sobre la columna de agua, de manera específica sobre la temperatura.

Durante los periodos de mareas vivas, el agua tiende a acumularse y/o apilarse en las zonas cercanas a la costa, aunado a lo anterior y como consecuencia de los bajos presentes en la zona, esta misma agua, retiene por mayor tiempo, el calor adquirido mediante la radiación solar; lo anterior, se hizo evidente en el registro de temperatura a 20 m de profundidad localizado en inmediaciones de Punta Mocambo (Fig. 35).

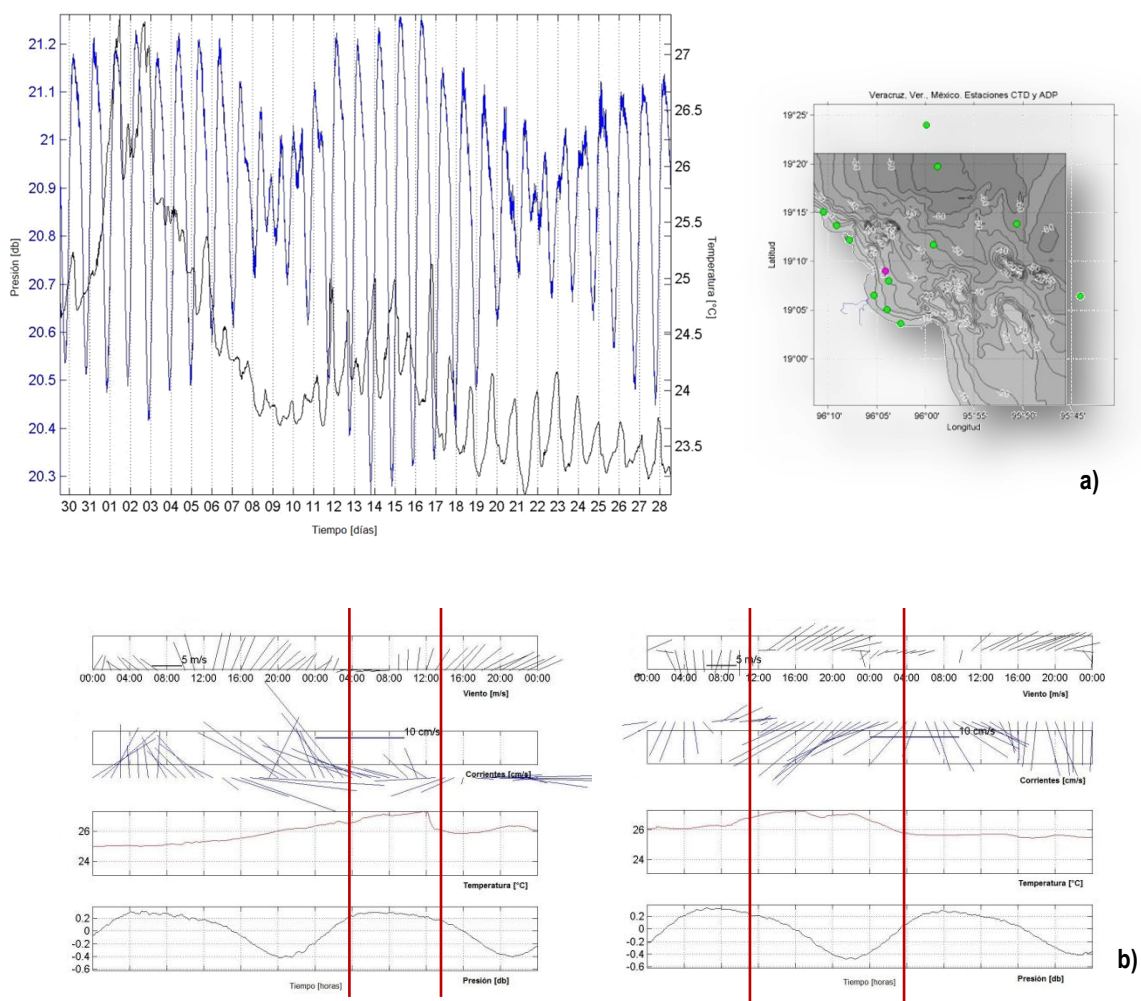


Figura 35.- a) Registro de presión (en azul) y temperatura (en negro) con el ADP anclado en inmediaciones de Punta Mocambo, Ver., del 30 de mayo al 28 de junio del 2007. A la derecha, se muestra sitio de anclaje del ADP (●). **b)** Diagramas de dirección del viento, corriente, temperatura y presión para los periodos de máxima temperatura registrados durante el periodo de registro.

Salas-Pérez *et al.* (2008), determinaron que la sola presencia del **PNSAV**, puede inducir la rectificación de la marea como un efecto a su posición casi en paralelo con la costa, a la variación en la topografía por los bajos y a la fuerte interacción entre el agua dulce y el agua de mar mismos que producen una intensa interacción dinámica con el sistema de corrientes que se pueden encontrar a lo largo de la costa.

Por otro lado, dada la cercanía del equipo anclado con respecto a la costa, es posible que éste haya registrado parte de la contracorriente costera, lo anterior, explicaría en gran medida, las variaciones en su dirección. Estudios realizados por **SEMAR** (1990) utilizando las variaciones del tamaño de grano de los sedimentos en el corredor turístico Veracruz-Boca del Río, determinaron un transporte litoral dominante entre Punta Gorda y Punta Mocambo hacia el sur, mientras que para el área comprendida desde Punta Mocambo y hasta Antón Lizardo, la dirección es hacia el norte (Fig. 36). Finalmente, los resultados permitieron inferir que la variación en la dirección de la corriente puede estar influenciada por aspectos batimétricos, morfológicos o por la configuración de la línea de costa, al sobresalir puntas y bajos que alteran y/o modifican dicha circulación.

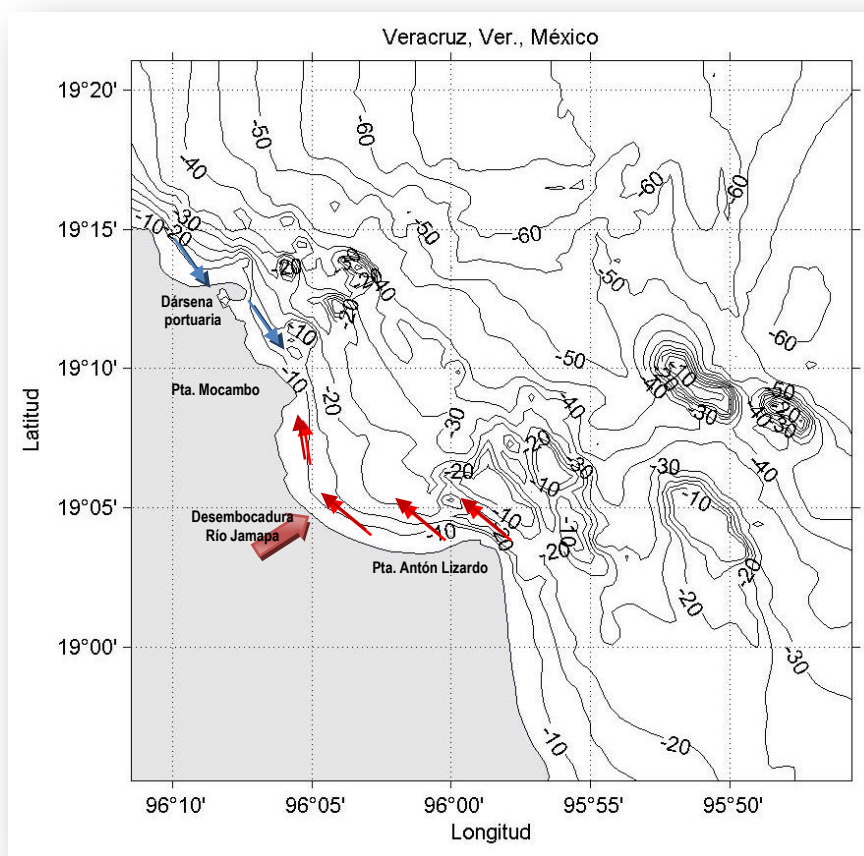


Figura 36.- Corriente litoral en la zona costera del corredor turístico Veracruz-Boca del Río, obtenido mediante tamaño de grano, **SEMAR** (1990).

Estos cambios en la dirección de la corriente, se encuentran fuertemente relacionados con el factor viento; de acuerdo con el análisis de los distintos productos de viento, que dieron como resultado, el comportamiento característico de gran escala para esta región del **GM**, la cual se encuentra en el límite norte de la zona tropical considerada como una de las más importantes regiones de interacción océano-atmosfera a nivel global. Sin embargo, el análisis permitió identificar

variaciones en escala de tiempo cortas las cuales generan un patrón de circulación de microescala muy particular.

Vázquez de la Cerda (1983) con mediciones *in situ* de corrientes, encontró que durante un evento de “norte” entre Isla Sacrificios y la costa, se tiene un flujo hacia el norte debido a los arrecifes Blanca y Chopas que actúan como una barrera natural que provocan acumulación de agua y gradientes de presión provocando una componente de la corriente hacia el **norte**.

En series de tiempo de 50 horas generadas por **SEMAR** durante 2003 y 2004 dentro del **PNSAV**, mostraron la variación en dirección de la corriente y su relación con el viento; así registraron para abril y agosto del 2003 una dirección de la corriente hacia el norte de 10 cm s^{-1} y 15 cm s^{-1} respectivamente, ambos periodos de muestreo con vientos provenientes del **este** (Figs. 37 y 38), dicho patrón de circulación, se registró a 20 m de profundidad. Dada la ubicación del anclaje, es probable que el efecto que tienen los bajos no afecte de manera significativa la hidrodinámica, sin embargo conforme las mediciones se realizan más cerca de la costa, el comportamiento varía.

El modelo aplicado por Caballero-Rosas, mostró variaciones zonales en la dirección de la corriente y la presencia de remolinos ciclónicos y anticiclónicos. Estos cambios de dirección en las distintas regiones del **PNSAV**, se hicieron evidentes en los distintos transectos realizados con el **ADCP**; en la porción norte, una contracorriente costera hacia el sur, y hacia el norte después de la isobata de los 40 m de profundidad; mientras que en la porción centro y sur, variaciones en la dirección, probablemente como efecto de los bajos localizados en la porción sur del **PNSAV**, así como la presencia de un remolino ciclónico frente a la desembocadura del río Jamapa.

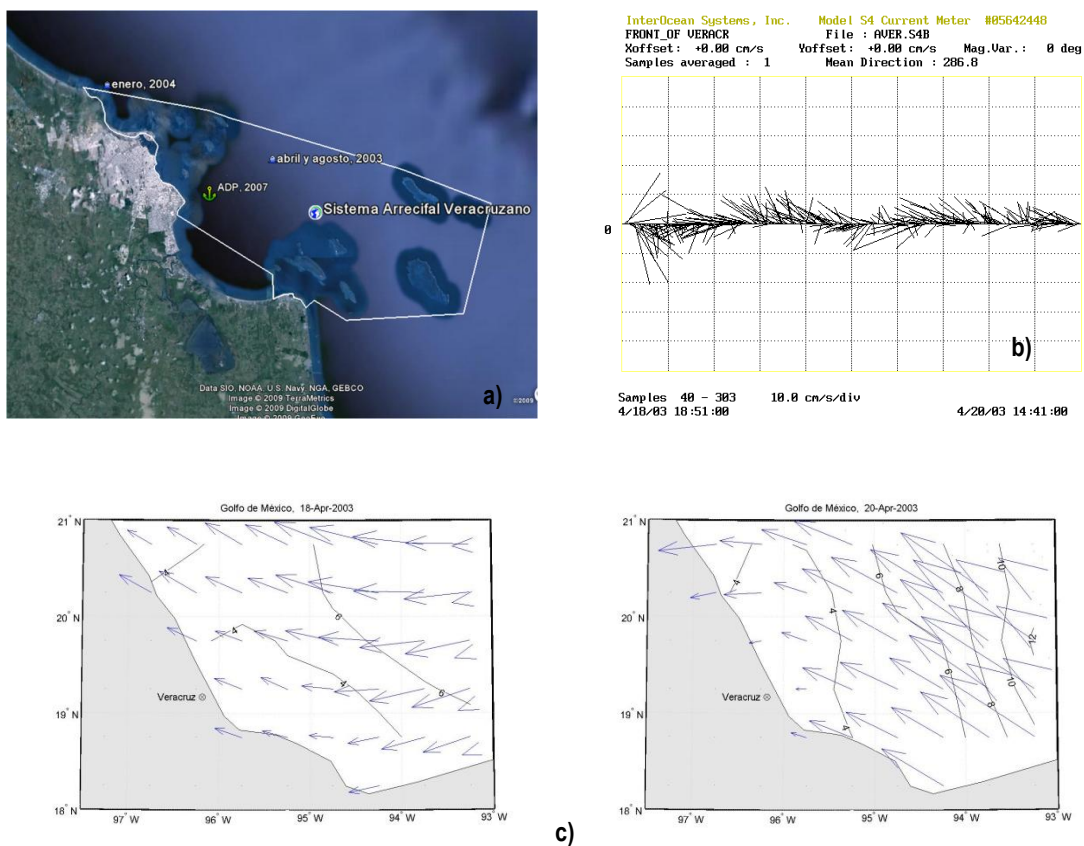


Figura 37.- a) Ubicación de los sitios de muestreo realizados por **SEMAR** en 2003, b) diagramas de astillas de corrientes durante abril, 2003, c) dirección del viento con datos de **QuikSCAT** días 18 y 20 de abril del 2003.

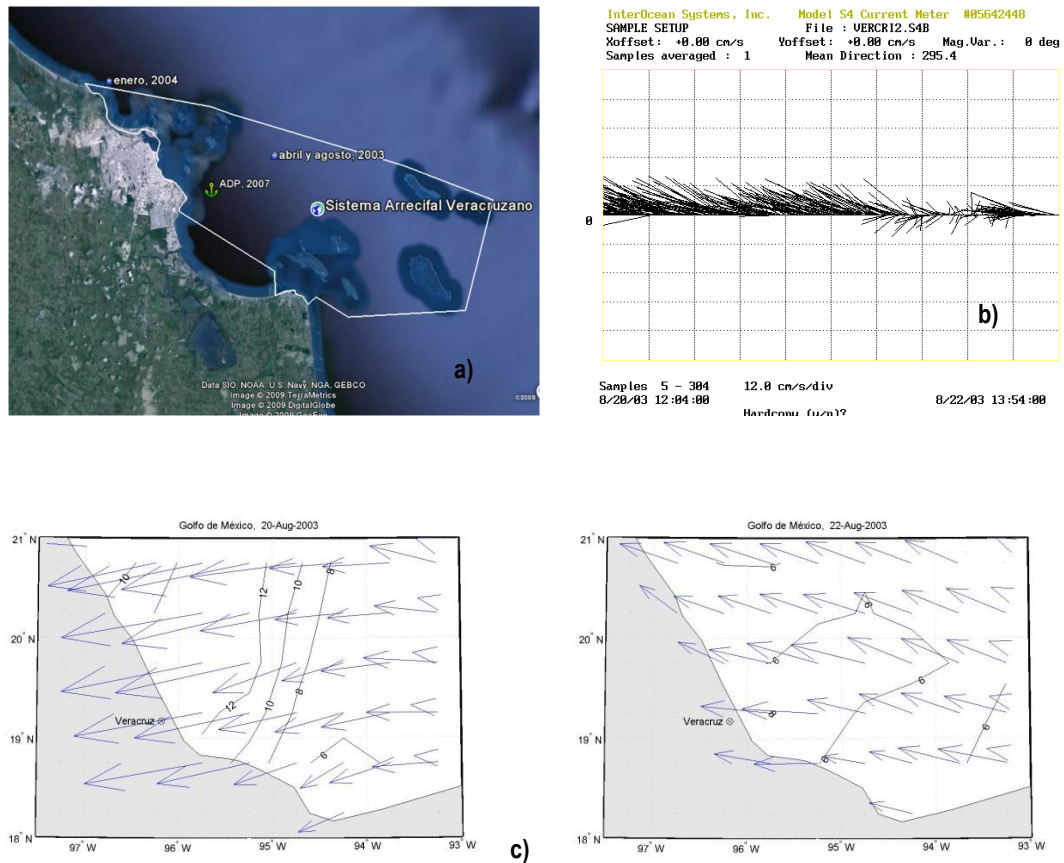


Figura 38.- a) Ubicación de los sitios de muestreo realizados por SEMAR, **b)** diagramas de astillas de corrientes durante agosto, 2003, **c)** dirección del viento con datos de QuikSCAT días 20 y 22 de agosto del 2003.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de viento, nivel del mar, estructura hidrográfica así como de la dirección y magnitud de las corrientes registradas mediante un correntímetro **ADP** anclado durante 30 días en las inmediaciones de Punta Mocambo, las perfilaciones con un correntímetro **ADCP** a lo largo del **PNSAV** así como al análisis de imágenes de gran escala, se observó que:

1. La estacionalidad bien definida mostrada por el viento (dirección y magnitud) para la porción sudoeste del **GM** y siendo éste, uno de los principales forzamientos en la dinámica de la zona, para el periodo de transición entre “nortes” y “no nortes”.
2. Existe una zonificación definida a partir de la estructura hidrográfica en: **costera**, altamente influenciada por los aportes continentales y uno de **mezcla** entre el anterior y agua de mayor profundidad.
3. En función a la distribución vertical y horizontal de la temperatura y salinidad, fue posible caracterizar al **PNSAV** en tres regiones **a) norte**, que corresponde a Bahía Vergara, **b) centro**, en la zona que comprende desde Punta Mocambo hasta la zona de influencia en la costa del río Jamapa y **c) sur** que comprende desde el río Jamapa hasta Punta Antón Lizardo.
4. Que de acuerdo al comportamiento de la misma estructura hidrográfica, es posible definir al **PNSAV**, como un sistema baroclínico.

5. Que de acuerdo al análisis de estratificación (*Brunt Väisälä*), la columna de agua en el PNSAV, se encuentra bien estratificada en las estaciones cercanas a la costa e inestable para las alejadas de la costa. La picnoclina, se evidenció a los 5 m de profundidad.
6. Esta zonificación provee a la porción costera del sudoeste del **GM** una hidrodinámica compleja, principalmente en la porción centro y sur del parque como producto de las diferencias en la estructura hidrográfica (gradientes de densidad), al efecto de la marea, el fondo y la configuración de la línea de costa (Punta Antón Lizardo).
7. En la porción norte, se encontró un patrón de corriente costera y litoral bien definido, hacia el norte a partir de los 40 m para la primera y hacia el sur para la segunda de ellas. Este comportamiento, corresponde al descrito por varios autores para esta época del año.
8. El efecto de la marea, fue evidente en el incremento de la temperatura a 20 m de profundidad, debido muy probablemente al apilamiento del agua en la zona cercana a la costa y al efecto de la radiación solar.
9. Existió un remolino ciclónico en las inmediaciones de la desembocadura del río Jamapa, como producto de la interacción del flujo de agua con Punta Mocambo, así como por la diferencia en los gradientes de densidad, producto de la influencia del río Jampa.

10. El efecto de los procesos de gran escala sobre la columna de agua, evidentes en las imágenes de satélite para los periodos de registro, influyó en la disminución de la temperatura superficial del agua, principalmente hacia finales del experimento.

VI. REFERENCIAS

Caballero-Rosas A., 1990. Modelación hidrodinámica numérica de la circulación por viento en la zona costera del Puerto de Veracruz y sus proximidades. Tesis de Maestría en Ingeniería Oceánica, Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, México, 70 pp.

Carricart-Ganivet J.P. y G. Horta-Puga, 1993. Arrecifes de coral en México. En: Biodiversidad marina y costera de México. (S.I. Salazra_Vallejo y N.E. González, eds) CONABIO y CIQRO, México, 81-92.

Carriquiry J.D., Risk M.J. y Schwarcz H.P., 1994. Stable isotope geochemistry of corals from Costa Rica as proxy indicator of El Niño (ENSO). *Geochim Cosmochim. Acta* 58:335-351.

Carriquiry J.D., Risk M.J. and Schwarcz H.P., 1998. Timing and Temperature Record from stable isotopes of the 1982-83 El Niño warming event in eastern Pacific corals. *PALAIOS*, v.3:359-364.

Carriquiry J.D, Cupul-Magaña A, Rodríguez-Zaragoza F y Medina-Rosas P., 2001. Coral bleaching and mortality in the Mexican Pacific during the 1997-1998 El Niño and prediction from a remote sensing

CONABIO 1998. **Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad**. La diversidad biológica de México: Estudio de País. México 1ª edición. pp. 158-181.

CONANP 2004. **Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas**. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

Day J.W., Diaz de León A., González-Sansón G., Moreno-Casasola P. y Yañez-Arancibia A., 2004. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México, Resumen Ejecutivo. En Diagnóstico Ambiental del Golfo de México (M.Caso, I. Pisanty and E. Ezcurra, eds). Instituto Nacional de ecología, SEMARNAT. México 1, 15-44 p.

De la Lanza-Espino G., 2001. Oceanografía de los Mares mexicanos AGT. Editor, S.A., México.

DiMarco, S. F., and Reid R. O., 1998. Characterization of the principal tidal current constituents on the Texas-Louisiana shelf, *J. Geophys. Res.*, 103(C2), 3093–3109.

D.O.F. 1992. **Diario Oficial de la Federación**, Lunes 24 de agosto, México.

Emery K.O., 1963. Estudios regionales-arrecifes coralinos en Veracruz, México. *Geofísica Internacional*. 3(1):11-17.

Fernández-Eguiarte, A., Gallegos A. y Zavala J., 1992. "Carta de Oceanografía Física" 1 y 2, clave IV.9.1 y IV. 9.2. Escala 4 000 000, Atlas Nacional de México, Vol. 2. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Fischer H.B., List E.J., Koh R.C., Imberger J. and Brooks N., 1979. Mixing in inland and coastal waters. Academic Press Inc. New York, N.Y. 483 p.

Gagan M.K., Ayliffe L.K., Beck J.W., Cole J.E. Druffel E.R.M., Dunbar R.B. and Schrag D.P., 2000. New Views of Tropical Paleoclimates from Corals. *Quaternary Science Reviews* 19:45-64.

Grace S.F., 1932. The principal diurnal constituent of tidal motion in the Gulf of México. *Mon. Not. R. Astronom. Soc. Geophys. Suppl.* 3:70-83.

He R and Weisberg R.H., 2002. Tides on the West Florida Shelf. *J. Phys. Oceanogr.* 32:3455-3473.

Hernández-Téllez J. y Salgado-Rivero J.C., 1996. Masas de agua en la costa de la ciudad de Veracruz, Ver., (MACCV), enero 1995 a febrero 1996. Reporte técnico, Dirección General de Oceanografía Marina. Secretaría de Marina, México, 39 p.

Horta-Puga G.J., 2008. Registro Geoquímico de la contaminación por metales pesados en corales Escleractinios: reconstrucción ambiental reciente del sur del Golfo de México. Tesis de Doctorado en Oceanografía Costera. Facultad de Ciencias Marinas. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. México. 164 p.

INEGI 2008. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Producto Interno Bruto Estatal 2006. Comunicado Núm. 061/08. Aguascalientes, Ags.

IPCC 2000. <http://www.ipcc.ch>

Kantha L. 2005. Barotropic tides in the Gulf of Mexico. In Wilton S, Lugo-Fernandez A. (eds) *Circulation of the Gulf of Mexico, Observations and Models.* American Geophysical Union, pp 159-164.

Karlson R.H. 1999. *Dynamics of coral communities.* Kluwer, Amsterdam.

Lankford, R. 1977. "Coastal lagoons: their origin and classification", Wiley, M. (ed.) *estuarine Processes*, Academic Press, New York, pp 182-215.

Monreal-Gómez, M.A. y D.A. Salas de León 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. En: M.F. Lavín (ed.) *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, pp183-199. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. México, D.F.

Oey, L.-Y., Ezer T. and Lee H.C. 2005. Lopp current, rings and related circulation in the Gulf of Mexico: a review of numerical models and future challenges. In: *Circulation in the Gulf of Mexico: Observations and Models.* W. Sturges and A. Lugo-Fernandez (eds) *Geophysical Monograph Ser.*, Vol. 161, pp31-56, American Geophysical Union, Washington, D.C.

Ortiz-Pérez M.A y De la Lanza-Espino, G. 2006. Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Textos Universitarios Geografía para el siglo XXI. 1ª ed. México, D.F.

PEMEX 1987. **Petróleos Mexicanos**. Evaluación de los corales Escleractinios del Sistema Arrecifal Veracruzano. PEMEX-SEMAR. México. pp 119.

Pereyra-Díaz, D y Pérez-Sesma. A. J.A. 2005. Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el estado de Veracruz. En: Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. pp. 81-99.

Ramírez-Elías, D.A. 2007. Climatología y eventos extremos del oleaje en la costa Tamaulipeca. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería. Pp 79.

Reyes-Bonilla, H., Carriquiry J.D. Leyte-Morales G.E., Cupul-Magaña A. 2002. Effects of the El Niño-Southern Oscillation and the Anti-El Niño event (1997-1998) on coral reefs of the western coast of México. *Coral Reefs* 21:368-372.

Rhines P.B.2001. Mesoscale eddies. University of Washington, Scholl of Oceanography, academic Press. Box 357940, Seattle, WA.98195 794, EEUU. doi:10.1006/rwos.2001.0143.

Salas-de León DA, Monreal-Gómez MA. 1997. Mareas y circulación residual en el Golfo de México. In: Lavín M. (ed.), Contribución a la Oceanografía Física en México. Monografía 3. Unión Geofísica Mexicana, pp. 201–223.

Salas-de León DA, Monreal-Gómez MA, Salas-Monreal D, Riverón-Enzástiga ML, Sánchez-Santillán N.L. 2006. Inter-annual sea level variability in the southern Gulf of Mexico (1966-1976).

Salas-Monreal, D, Salas-de León DA, Monreal-Gómez MA, Riverón-Enzástiga M.L. 2009. Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reef*. DOI 10.1007/s00338-009-0521-9

Salas-Pérez JJ., Salas-Monreal, D., Arenas-Fuentes VA., Salas-de León DA., , Riverón-Enzástiga M.L. 2008. Tidal Characteristics in a coral reef system from the western Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas*, 34(4): 467-478.

Salas-Pérez JJ, Granados-Barba A. 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz Reef System. *Atmósfera* 21(3): 281–301.

SEMAR 1982a. **Secretaría de Marina**. Algunos resultados del estudio de corrientes en la boca del Puerto de Veracruz, Ver. Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe. México. Editorial DIGADOC. 27 p.

SEMAR 1982b. **Secretaría de Marina**. Estudio de las corrientes marinas en el (S.A.V) Sistema Arrecifal Veracruzano. Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe. México. Editorial DIGADOC. 50 p.

SEMAR 1983. **Secretaría de Marina**. Corrientes marinas en las cercanías al puerto de Veracruz, en febrero de 1980. Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe. México. Editorial DIGADOC. 146 p.

SEMAR 1990. **Secretaría de Marina**. Determinación de la dirección del transporte litoral por medio de las variaciones de la distribución del tamaño de grano de los sedimentos en Veracruz, Ver. Dirección General de Oceanografía. México. pp29

SEMAR 1998 **Secretaría de Marina**. . Estudio de la dinámica marítima en mar territorial y zonas costeras de la República Mexicana 2da. Parte: Punta del Morro a Alvarado. Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe. México. Editorial DIGADOC. 138 p.

SEMAR 2000. **Secretaría de Marina**. Programa de Manejo del Parque Marino Nacional "Sistema Arrecifal Veracruzano". México. 126 pp.

SEMAR 2003 **Secretaría de Marina**. Dinámica costera de bahía Vergara. Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe. México. Editorial DIGAOHM. pp30.

Sontek ADP Acoustic Doppler profiler, Technical Documentation, 2001 <http://www.sontek.com>

Sorokin , Y.J.1995. Coral reef ecology. Ecological studies, V. 102. Springer ed. pp. 465

Sturges y Wiseman **1999**.- Wiseman, W.J. & W. Sturges. 1999. Physical Oceanography of the Gulf of Mexico: Process that regulate its biology. *In: H. Kumpf, K. Steidinger & K. Sherman (Eds.). The Gulf of Mexico, Large Marine Ecosystem. Assessment, Sustainability and Management.* Blackwell Sci., pp. 77-91.

Tejeda, M., A., F. Acevedo y E. Jáuregui. 1989. *Atlas Climático del Estado de Veracruz*. Col. Textos Universitarios, Universidad Veracruzana. 150 pp.

Toledo-Ocampo. A. (1996), "Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México". En A.V. Botello. A., J. L. Rojas-Galaviz. J. A. Benitez y D. Zarate-Lomeli (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX Serie Científica 5, pp. 1-24.

Tunnell, J.W. 1988. Regional comparison of southwestern Gulf of Mexico to Caribbean Sea coral reefs. *Proceedings 6th International Coral Reef Symposium* 3:303-308.

Vázquez de la Cerda, A. M. 1993. Bay of Campeche Cyclone, Ph.D. Dissertation, 91 pp., Department of Oceanography, Texas A&M University, College Station, Texas.

Vidal, V. M. V., F. V. Vidal and J. M. Perez-Molero, 1992. Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental slope of the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.* **97**, 2155–2172.

Vidal, V. M. V., F. V. Vidal, A. F. Hernandez, E. Meza and J. M. Perez- Molero, 1994. Baroclinic flows, transports, and kinematic properties in a cyclonic-anticyclonic-cyclonic triad in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 99(C4), 7571–7598.

Zavala-Hidalgo, J., S. L. Morey y J. J. O'Brien. 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research* 108 (C12), 3389, doi:10.1029/2003JC001879.

Zavala-Hidalgo *et al.* 2002) Zavala-Hidalgo, J., A. Pares-Sierra, and J. Ochoa, Seasonal variability of the temperature and heat fluxes in the Gulf of Mexico, *Atmósfera*, 15, 81– 104, 2002.

ANEXO I

CONFIGURACIÓN DEL CORRENTÍMETRO ADP TIPO ARGONAUT MODELO XR DE 1500 kHz.

File ----- mocambo.arg
File Size (bytes) ----- 626122
Number of Samples ----- 10092
Time of first sample ----- Time: 2007/05/28 10:33:05
Time of last sample ----- Time: 2007/07/02 11:28:05

ArgonautDP Hardware Configuration

ArgType ----- XR
SerialNumber ----- E179
Frequency ----- (kHz) --- 1500
Nbeams ----- 3
BeamGeometry ----- 3_BEAMS
SlantAngle ----- (deg) --- 25.0
CPUSoftwareVerNum ----- 5.7
DSPSoftwareVerNum ----- 1.0
BoardRev ----- C
SensorOrientation----- DOWN
CompassInstalled ----- YES
RecorderInstalled ----- YES
TempInstalled ----- YES
PressInstalled ----- YES
CtdSensorInstalled ----- NO
YsiSensorInstalled ----- NO
Ext Press Sensor ----- NONE
TempOffset (deg C) ----- 0.00
TempScale (deg C/deg C) -- 1.0000
PressOffset (dbar) ----- -1.158720
PressScale (dbar/count) -- 0.000765
PressScale_2 (pdbar/c^2) -- -59.000000
Transformation Matrix ----- 1.577 -0.789 -0.789
 0.000 -1.366 1.366
 0.368 0.368 0.368

Argonaut User Setup

DefaultTemp ---- (deg C) -- 26.00
DefaultSal ----- (ppt) ---- 35.00
TempMode ----- MEASURED
DefaultSoundSpeed (m/s) ---- 1536.70
CellBegin ----- (m) ----- 0.50
CellEnd ----- (m) ----- 5.00
DynBoundaryAdj ----- YES
WaveSpectra ----- YES
WaterDepth ----- (m) ----- 20.00
AvgInterval ---- (s) ----- 300
SampleInterval -- (s) ----- 300
YsiBufferSize --- (bytes) -- 0
BurstMode ----- DISABLED
BurstInterval --- (s) ----- 1200
SamplesPerBurst ----- 1
CoordSystem ----- XYZ
AutoSleep ----- YES
OutMode ----- AUTO
OutFormat ----- ASCII
DataFormat ----- LONG FORMAT
RecorderEnabled ----- ENABLED
RecorderMode ----- NORMAL
DeploymentName ----- 01R
DeploymentStart Date/Time -- Time: 2007/05/28 10:33:03
Comments:
mocambo

