

# Caracterización oceanográfica de la bahía de Solano

## *Oceanographic Characterization of Solano Bay*

Fecha de recepción: 2014-02-10 / Fecha de aceptación: 2014-04-17

Jorge Omar Pierini<sup>1</sup>, Adriana Alejandra Rodríguez Leguizamón<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Científico y Tecnológico Bahía Blanca-IADO-CIC. C.C. 804-8000. Bahía Blanca, Argentina  
jpierini@criba.edu.ar

<sup>2</sup>Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla". Barrio El Bosque, Isla de Manzanillo, Cartagena, Colombia. Correo electrónico: arodriguezl@dimar.mil.co

Pierini JO, Rodríguez AA. 2014. Caracterización oceanográfica de la bahía de Solano. Bol. Cient. CIOH 2014;32:223-256

### RESUMEN

Se caracterizaron los parámetros físicos oceanográficos de la bahía de Solano, ubicada al norte del Pacífico colombiano, partiendo de datos obtenidos en dos campañas oceanográficas, realizadas por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico en dos épocas del año 2013. Los patrones de movimiento hidrodinámico durante el ciclo de marea tienen una clara relación corriente-marea en el orden de sus movimientos. La dirección de las corrientes se ve afectada por los cambios del ciclo mareal y esta hidrodinámica obedece a un patrón sujeto a la batimetría de la bahía y vientos. Los resultados de esta caracterización reflejaron que la bahía tiene un régimen de mareas semidiurno, mesomareal, cuya influencia sobre el campo de corriente es del tipo mixta. Las corrientes residuales establecen una bahía netamente exportadora de sal, influenciada por la fuerza que ejercen los vientos. Se determinó que las variables meteorológicas tienen influencia en la interacción océano-atmósfera de la bahía y pueden ocasionar cambios en las corrientes superficiales. Por otro lado, las copiosas precipitaciones pueden generar variaciones en la salinidad y la temperatura superficial. La distribución de las mismas en profundidad es uniforme espacialmente, mientras que a lo largo del ciclo de marea se evidenciaron ligeras variaciones en la termoclina y en la haloclina.

**PALABRAS CLAVES:** bahía de Solano, parámetros físicos oceanográficos, mareas, corriente residual, variables meteorológicas, balance de sal, temperatura.

### ABSTRACT

A characterization of oceanographic physical parameters of Solano Bay were performed, which is located north of the Colombian Pacific coast, starting from data obtained from two oceanographic surveys, conducted by the Pacific Oceanographic and Hydrographic Research Center in two periods of 2013. The Hydrodynamic movement patterns during the tidal cycle have a clear - tide current relation in the order of their movements. The flow direction is affected by changes in the tidal cycle, and this hydrodynamics follows a pattern subject to the bathymetry of the bay and winds. The results of this characterization showed that the bay has a semidiurnal tides regime, meso-tidal, whose influence on the current field is mixed type. Residual currents establish a bay that exports salt, which is influenced by the force exerted by the wind. It was determined that the meteorological variables influence the ocean - atmosphere interaction in the bay, these can cause changes in the surface currents. On the other hand, the abundant rainfall can generate variations in the salinity and surface temperature. The distribution of the same cross is spatially uniform, and throughout the tidal cycle there are slight variations in the thermocline and halocline.

**KEYWORDS:** Solano Bay, oceanographic physical parameters, tides, residual flow, meteorological variables, salt balance, temperature.

## INTRODUCCIÓN

Las franjas costeras de los mares del mundo, desde la orilla hasta el límite de la zona económica exclusiva, ocupan un área equivalente a un quinto de la superficie oceánica mundial; sin embargo, el conocimiento de los procesos físicos y biológicos que ocurren en esta franja son extremadamente limitados. Con algunas excepciones, los modelos de los procesos físicos que caracterizan las plataformas continentales son primitivos y las posibilidades para pronosticar los cambios en los recursos vivos de estas zonas, pese a su alta productividad biológica, son casi inexistentes [1].

En 2013 el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCCP) de la Dirección General Marítima (Dimar) adelantó el proyecto 'Calidad de aguas en Bahía Solano y Bahía Cupica; Fase I mayo-junio de 2013, Fase II agosto-septiembre 2013', en el cual se basó esta investigación con el objetivo de ampliar el conocimiento acerca de la dinámica de las aguas y la incidencia de variables naturales y antropogénicas a lo largo de la zona costera de este litoral, programándose el estudio en áreas del Pacífico norte que presentan muy poca información bibliográfica y representan gran interés para el desarrollo del país, como lo es la bahía de Solano [1].

Siendo la bahía de Solano, expresada en términos geográficos, una entrada del puerto

hacia el mar, se hace de vital importancia geoestratégica estudiar a profundidad su configuración, tanto terrestre y marítima, como en el caso de esta investigación; así, dentro del presente estudio se busca aprovechar las mediciones generadas en las fases de trabajo de campo del CCCCp para consolidar un conocimiento inicial de la bahía de Solano.

## ÁREA DE ESTUDIO

La bahía de Solano se encuentra ubicada en la cuenca Pacífica colombiana, en la latitud  $06^{\circ}13'05.20''$  N, longitud  $077^{\circ}24'03.96'$  O. El área general de esta región, está configurada por zonas montañosas, debido a la presencia de la serranía del Baudó, y planicies marinas, formas aluviales, colinas, serranías y cordilleras en las cuales se encuentran representados importantes accidentes geográficos como son: la ensenada de Utría, los golfos y manglares de Tribugá y Cupica, los morros en Jurubirá, Morro de Mico, Tebada y Los Vidales, Cabo Corrientes y Cabo Marzo [2] (Fig. 1).

Para el desarrollo de esta investigación se caracterizó la zona comprendida entre los dos puntos más sobresalientes en la zona continental costera de la bahía: Punta Lana -latitud  $06^{\circ}15'2.36''$  N longitud  $077^{\circ}23'58.67''$  O- y Junacito -latitud  $06^{\circ}14'41.87''$  N longitud  $077^{\circ}25'21.16''$  O-.

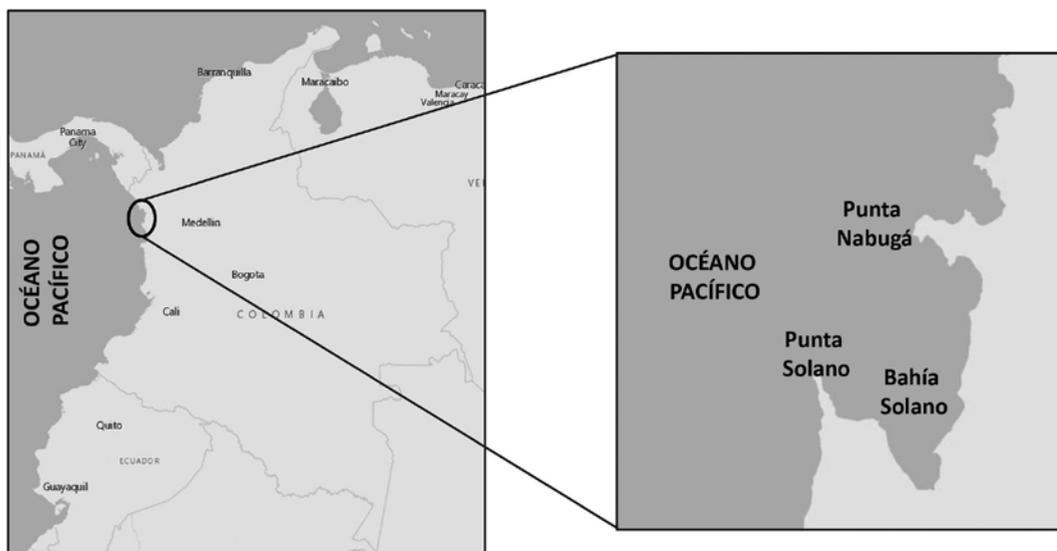


Figura 1. Descripción área de estudio. Modificado de [3].

Sus playas están conformadas en su mayoría por manglares y esteros que presentan un relieve plano de 0 al 1 %; sedimentación fluvio-marina y lacustre que por la ocurrencia de las mareas se redistribuye constantemente, formando barras temporales de playas, esto además genera cambios frecuentes en las desembocaduras de los ríos y quebradas [2]. El componente hidrológico del área costera de esta bahía tiene aportes fluviales, en tanto a que presenta ríos y quebradas a lo largo de su geografía, característica propia del Pacífico colombiano. Estos aportes tienen drenajes de abundante caudal y corto cauce, en razón a la cercanía de las montañas de la serranía del Baudó. Los principales ríos cercanos al área de estudio son:

- **Río Valle**

El más importante del municipio por el tamaño de su cuenca y por su aporte a la producción agropecuaria. El valle de este río ha sido la principal despensa agrícola de la región durante muchos años. Los principales afluentes son el río Boroboro, las quebradas Nimiquía, Diego, Aradó y Mutatá, con sus afluentes quebrada Copirijo y Bocas.

- **Río Cupica**

Ubicado al norte del municipio, es la segunda cuenca en tamaño. La parte alta de este río y sus afluentes presenta caídas altas y caudales fuertes. Sus principales afluentes son la quebrada Coreadó, Jaradó, Mojaudó y Mojaudocito.

- **Quebrada Jella**

Por la facilidad y seguridad para el movimiento de embarcaciones menores, es el pilar del desarrollo, transporte e intercambio de Ciudad Mutis con las poblaciones vecinas. Presenta en la parte baja y hasta su desembocadura una zona de manglar muy importante para la dinámica de las poblaciones de peces de la bahía, que son el más importante aporte proteico para la población [2].

Sin embargo, toda la costa de esta bahía se ve influenciada por quebradas de aporte continental, las cuales generan influencia en las características de sus playas, como lo son: Quebrada Piña, Cacique, Resaca, Chicocota, Limones, Chirichirito, Juan Girón, Chirichiri, La Gloria, La Nutria, Tebada, Abegá, Jellita, Jorató,

Chadó, Guadales, Chokolatal, La Virgen, La Esso y San Pichí [2].

La zona de la bahía que comprende esta investigación tiene aportes de aguas dulces de las cuencas hidrográficas de las quebradas que drenan hacia ella (Jella, Jellita, Chokolatal, La Virgen y La Esso). Al encontrarse entre la serranía del Baudó y el océano Pacífico —el más extenso y profundo del planeta— presenta diariamente fuertes variaciones meteorológicas por efecto de los cambios en las corrientes de aire océano-continente, durante el día y continente-océano, durante la noche, produciendo precipitación general por procesos convectivos térmicos en las horas de la noche. La precipitación media anual es de aproximadamente 5000 mm, por encontrarse en la región de El Chocó, siendo ésta considerada como una de las más húmedas y con mayor precipitación en el mundo [2].

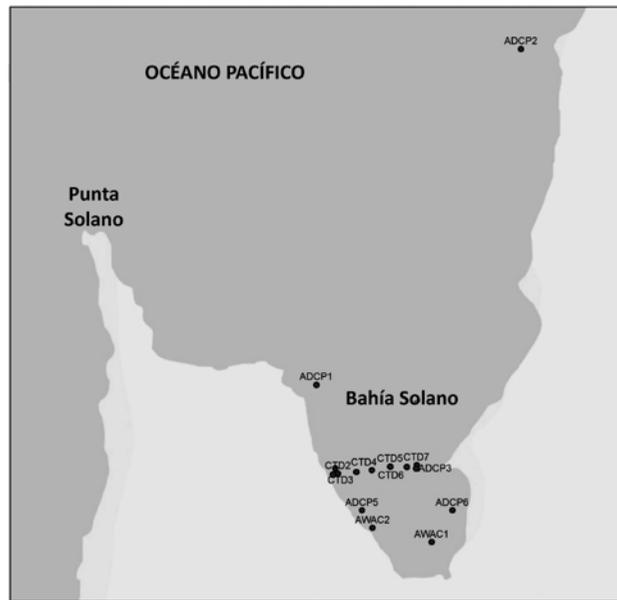
Las condiciones climáticas de la zona están determinadas fundamentalmente por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo cual genera bajas en las presiones que originan dos periodos de precipitación (abril-junio y septiembre-noviembre) [4]. La distribución de la precipitación es de tipo monomodal, con descenso en febrero y marzo. La temporada lluviosa empieza en abril y se prolonga hasta noviembre; el período de menos intensidad de lluvias va de enero a marzo, y el promedio anual de temperatura para esta región es de 26.3°C [5].

## METODOLOGÍA

En la presente investigación se tuvieron en cuenta los datos obtenidos durante las campañas efectuadas por el CCCP durante 2013, en las cuales se realizaron tomas de muestras de variables oceanográficas; entre ellas, datos de marea, olas, corrientes, fenómenos físicos y meteorológicos, obteniendo datos de presión atmosférica, temperatura ambiente, humedad relativa, intensidad, dirección y velocidad del viento, y clima en general.

- **Obtención de datos**

Para la medición de las mareas se utilizaron sensores de medición del nivel del mar sumergibles. Durante las dos campañas, estos equipos se programaron con una frecuencia de medición datos cada 30 minutos; el primero de estos se ubicó en la zona interna de la bahía y el segundo en frente de la costa occidental (Fig. 2).



**Figura 2.** Ubicación de las estaciones y los equipos en la bahía de Solano, durante la primera y la segunda campaña oceanográfica realizadas dentro en el marco del proyecto 'Calidad de aguas fase 2013 a realizarse en Bahía Solano y Bahía Cupica' del CCCP- Dimar. (Tomado de [1]).

**Tabla I.** Coordenadas y profundidades de las estaciones ubicadas en la bahía de Solano.

Estación	Latitud	Longitud	Profundidad (m)
CTD 1	06° 14'55.8"	077° 25'22.8"	40
CTD 2	06° 14'56.4"	077° 25'19.2"	60
CTD 3	06° 14'57.6"	077° 25'06.0"	70
CTD 4	06° 14'58.8"	077° 24'54.6"	70
CTD 5	06° 15'01.5"	077° 24'41.4"	70
CTD 6	06° 15'01.2"	077° 24'29.4"	55
CTD 7	06° 15'02.4"	077° 24'22.2"	30
AWAC1	06° 14'07.4"	077° 24'11.5"	20
AWAC2	06° 14'17.6"	077° 24'54.3"	30
ADCP1	06° 16'00.0"	077° 25'34.8"	70
ADCP2	06° 20'00.0"	077° 23'06.0"	80
ADCP3	06° 15'00.0"	077° 24'22.8"	40
ADCP4	06° 15'00.0"	077° 25'21.0"	60
ADCP5	06° 14'30.0"	077° 25'01.8"	60
ADCP6	06° 14'30.0"	077° 23'56.4"	40

Teniendo en cuenta que en el área de la bahía de Solano no existía para el momento de las campañas un sensor del nivel del mar, los datos obtenidos con los mareógrafos instalados durante

el desarrollo de las campañas no son suficientes para describir adecuadamente el comportamiento de la marea y determinar los niveles más altos y bajos de la marea astronómica. Se tomaron

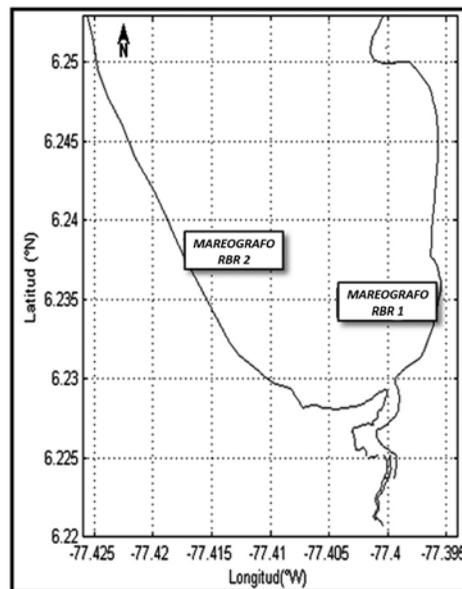
entonces los pronósticos de pleamares y bajamares del Ideam para 2013, con el fin de establecer si existe una correlación confiable entre los datos observados en campo y los pronosticados.

Para el análisis de los datos meteorológicos se tuvieron en cuenta los registros de la estación meteorológica electrónica instalada en la misma ubicación durante las dos campañas (Capitanía de Puerto de Bahía Solano, Lat.  $06^{\circ}13'36.73''$  N Long.  $077^{\circ}24'19.95''$  O) (Fig. 5), datos con los cuales se determinó el comportamiento de variables atmosféricas como: temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, y precipitación. Los sensores meteorológicos se ubicaron a una altura aproximada de 10 msnm.

La temperatura y salinidad se observaron utilizando un *Conductivity, Temperature and Depth Profiler* (CTD). La medición de los parámetros de este equipo se realizó utilizando los datos registrados por el mismo a través del funcionamiento de dos sistemas; el primero, un termómetro utilizado para determinar la temperatura en función de la profundidad como una característica de las masas de agua oceánicas; mientras que el segundo utiliza los circuitos que calculan la salinidad desde el parámetro de conductividad [6]. Se estableció un transepto entre Punta Lana y Junacito, ubicando siete (07)

estaciones para toma de perfiles de temperatura y salinidad, con profundidades cercanas a 70 m, sobre las cuales se tomaron datos en cada estación durante la marea llenante y vaciante. El resultado de estas observaciones permitió analizar la variabilidad espacial de los parámetros de temperatura y salinidad. Adicionalmente se tomaron datos en dos estaciones, una en el centro y otra en el extremo oriental de la bahía (Punta Lana), aproximadamente cada hora, a lo largo de un ciclo completo de marea. Con lo anterior se estableció la variabilidad del campo termohalino en función del tiempo. Las estaciones fueron seleccionadas en consideración a la configuración de la batimetría del transepto (Fig. 2).

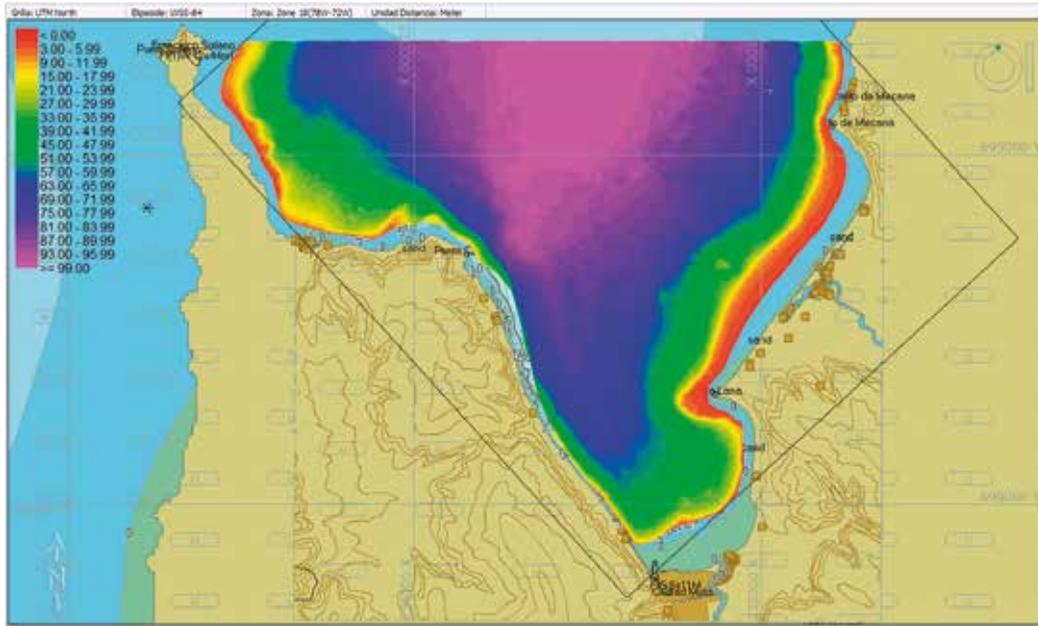
En las dos campañas las corrientes se midieron utilizando la aproximación Euleriana, con equipos perfiladores acústicos de corrientes *Acoustic Doppler Currentmeter Profiler* (ADCP). Se tomaron datos de corriente en dos puntos fijos con ADCP, instalados en modo fondeo, uno frente a la desembocadura de la quebrada Jella y otro frente a la costa occidental, en el sector sur de la bahía (Fig. 2). El otro ADCP registró datos de corrientes en modo *mount vessel con bottom track*, el cual fue instalado en el buque oceanográfico ARC "Gorgona", con el cual se efectuaron dos transeptos caracterizando el campo de corrientes en toda la bahía exterior e interior, tanto en marea llenante como en vaciante (Fig. 3).



**Figura 3.** Ubicación de los equipos de medición de mareas, corrientes y estación meteorológica en la bahía de Solano, durante la primera y la segunda campaña del proyecto 'Calidad de aguas fase 2013 a realizarse en Bahía Solano y Bahía Cupica' del CCCP.

Los datos de batimetría de la bahía de Solano fueron recopilados de cartas náuticas e información batimétrica del área entregada por el CCCP. Teniendo en cuenta que éste es un parámetro muy importante para la caracterización del área de estudio y sus

variables físicas, se tuvo en cuenta en el procesamiento de los datos y en las rutinas utilizadas para que los resultados tuviesen una base, con respecto a la variación de la profundidad del lecho marino, en cada medición y en cada perfil (Fig.4).



**Figura 4.** Batimetría de la bahía de Solano.

Para el cálculo del flujo total de sal se realizó la medición de las áreas de las celdas de los perfiles de los transeptos de CTD correspondientes a las estaciones 2, 4 y 6, por ser éstas las centrales del transepto establecido y se calculó la intensidad del flujo de las corrientes residuales en cada una de ellas, para de esta manera determinar

la cantidad total de sal residual durante el ciclo de marea. Los valores de flujo residual de sal se calcularon a partir de las intensidades de corriente residual después de un ciclo de marea, medidos en el área de cada celda con su valor de salinidad registrada en los perfiles tomados con CTD (Tabla II).

**Tabla II.** Tabla del cálculo del flujo de sal residual a diferentes capas y distribución espacial en la bahía de Solano.

Profundidad	Estación sector occidental	Estación sector central	Estación sector oriental
(Capa superficie-aprox 0 a 20 m)	$(Ic_1) \cdot (A_1) = Q_1$ $Fs_1 = Q_1 \cdot C_1$	$(Ic_4) \cdot (A_4) = Q_4$ $Fs_4 = Q_4 \cdot C_4$	$(Ic_7) \cdot (A_7) = Q_7$ $Fs_7 = Q_7 \cdot C_7$
(Capa media-aprox 20 a 50 m)	$(Ic_2) \cdot (A_2) = Q_2$ $Fs_2 = Q_2 \cdot C_2$	$(Ic_5) \cdot (A_5) = Q_5$ $Fs_5 = Q_5 \cdot C_5$	$(Ic_8) \cdot (A_8) = Q_8$ $Fs_8 = Q_8 \cdot C_8$
(Capa fondo-aprox 50 a 80 m)	$(Ic_3) \cdot (A_3) = Q_3$ $Fs_3 = Q_3 \cdot C_3$	$(Ic_6) \cdot (A_6) = Q_6$ $Fs_6 = Q_6 \cdot C_6$	$(Ic_9) \cdot (A_9) = Q_9$ $Fs_9 = Q_9 \cdot C_9$

En la Tabla II (Q) es el caudal en m/s, producto de la intensidad de la corriente residual ( $I_c$ ) por el área de la celda ( $A$ ). El flujo de sal residual ( $F_s$ ) es entonces el producto del caudal  $Q$  por la concentración de sal ( $C$ ) de cada celda. El valor es calculado tanto en el ciclo de marea llenante y de marea vaciante en ambas campañas. El flujo total de sal residual, es decir; el balance de sal total resultante de un ciclo de marea es la sustracción del flujo residual de sal en marea llenante menos el flujo residual de sal en marea vaciante.

### • Análisis de los datos

Se revisó la calidad de los datos por medio de la graficación de cada variable objeto del análisis, para identificar posibles registros anómalos y brechas. Para el tratamiento de los datos, después de revisada su calidad, se efectuó un procesamiento primario de los mismos mediante la utilización de la herramienta de software matemático *MATrix LABoratory* (MatLab, por sus siglas en inglés); posteriormente se generaron las figuras y gráficas ilustrativas de la modelación en general con la misma herramienta.

Después del primer procesamiento se verificaron los datos en cada una de las variables consideradas como parámetros físicos y oceanográficos. Los datos del CTD se organizaron de tal forma que se pudo representar la variación de los parámetros en función de la profundidad y el tiempo. Se utilizó el método de interpolación de Stineman [7] para determinar la calidad de reproducción de cada una de las variables de los datos utilizados y con ello no afectar el resultado esperado. Los datos de las dos campañas realizadas por el CCCP se evaluaron de acuerdo con sus características y sus parámetros (espacial y temporal), para tener una primera aproximación a la valoración de cada uno. Con lo anterior se determinó la homogeneidad de los datos a lo largo de todo el ciclo de marea para establecer las características de los demás parámetros oceanográficos dentro de la bahía de Solano.

En la Tabla III se presenta una relación de los equipos utilizados y la descripción metodológica de la obtención de datos (del mismo modo para sendas campañas).

**Tabla III.** Tabla de organización de los datos de las dos campañas realizadas por el CCCP dentro del proyecto 'Calidad de aguas fase 2013 a realizarse en Bahía Solano y Bahía Cupica'.

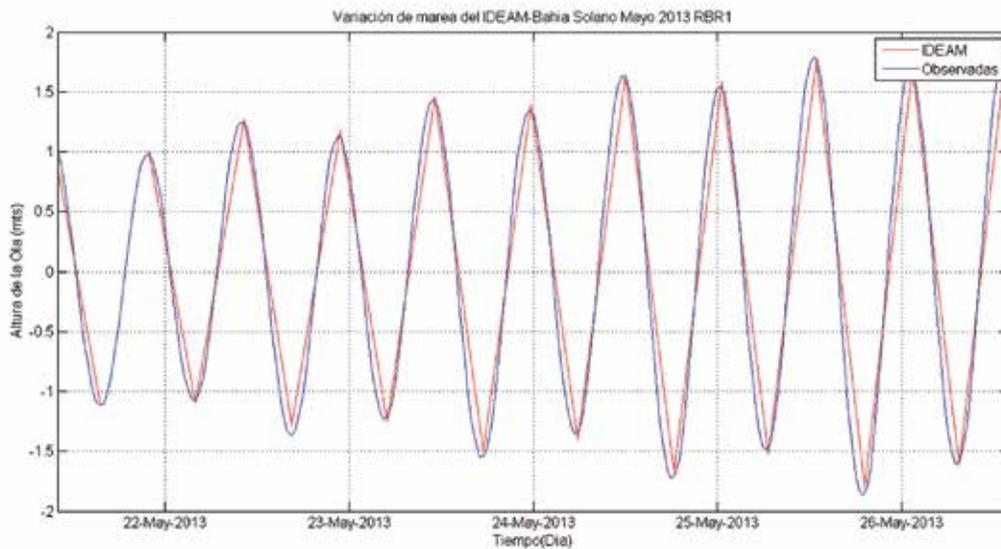
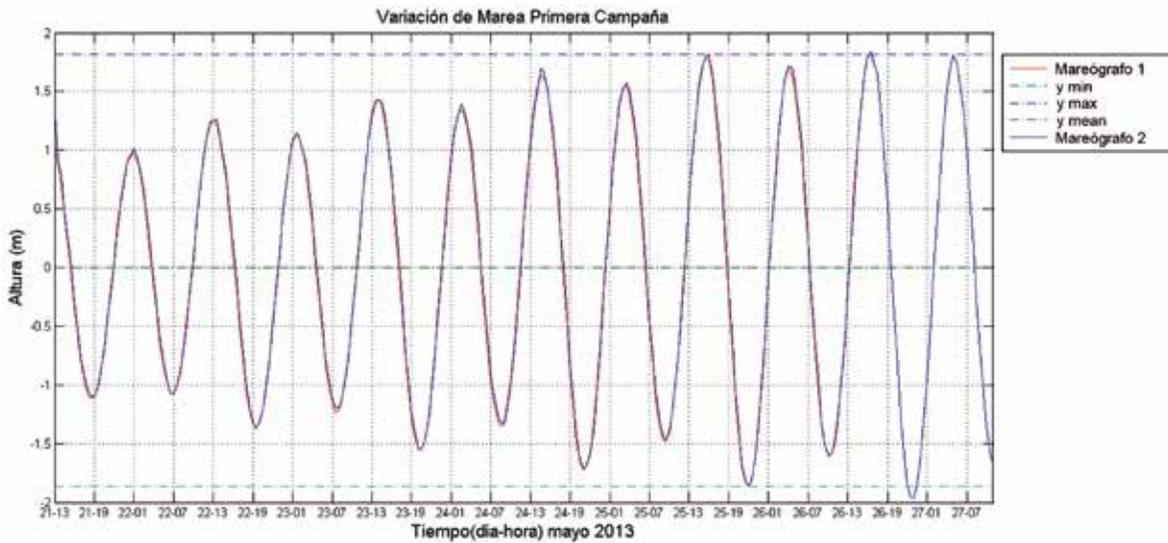
Variable	Equipo	Intervalo muestreo	Rango medición	Resolución espacial	Objetivo
Temperatura	CTD	Horario	12 horas	Metro a metro (vertical)	Variación temporal campo termohalino
Salinidad	CTD	Horario	12 horas	Metro a metro (vertical)	Variación temporal campo termohalino
Temperatura	CTD	6 horas	13 horas	500 yardas (aprox)	Variación Espacial campo termohalino
Salinidad	CTD	6 horas	13 horas	500 yardas (aprox)	Variación Espacial campo termohalino
Corrientes	ADCP	10 seg	13 horas	Metro a metro (vertical)	Medición corrientes <i>Mount Vessel</i>
Corrientes	ADCP	30 min	5 días	Metro a metro (vertical)	Medición de corrientes Eulerianas
Mareas	Mareógrafo	30 min	5 días	2 estaciones en la bahía	Medición del nivel del mar
Presión atmosférica	Estación meteorológica	10 min	5 días	1 estación en el área	Medición parámetros atmosféricos

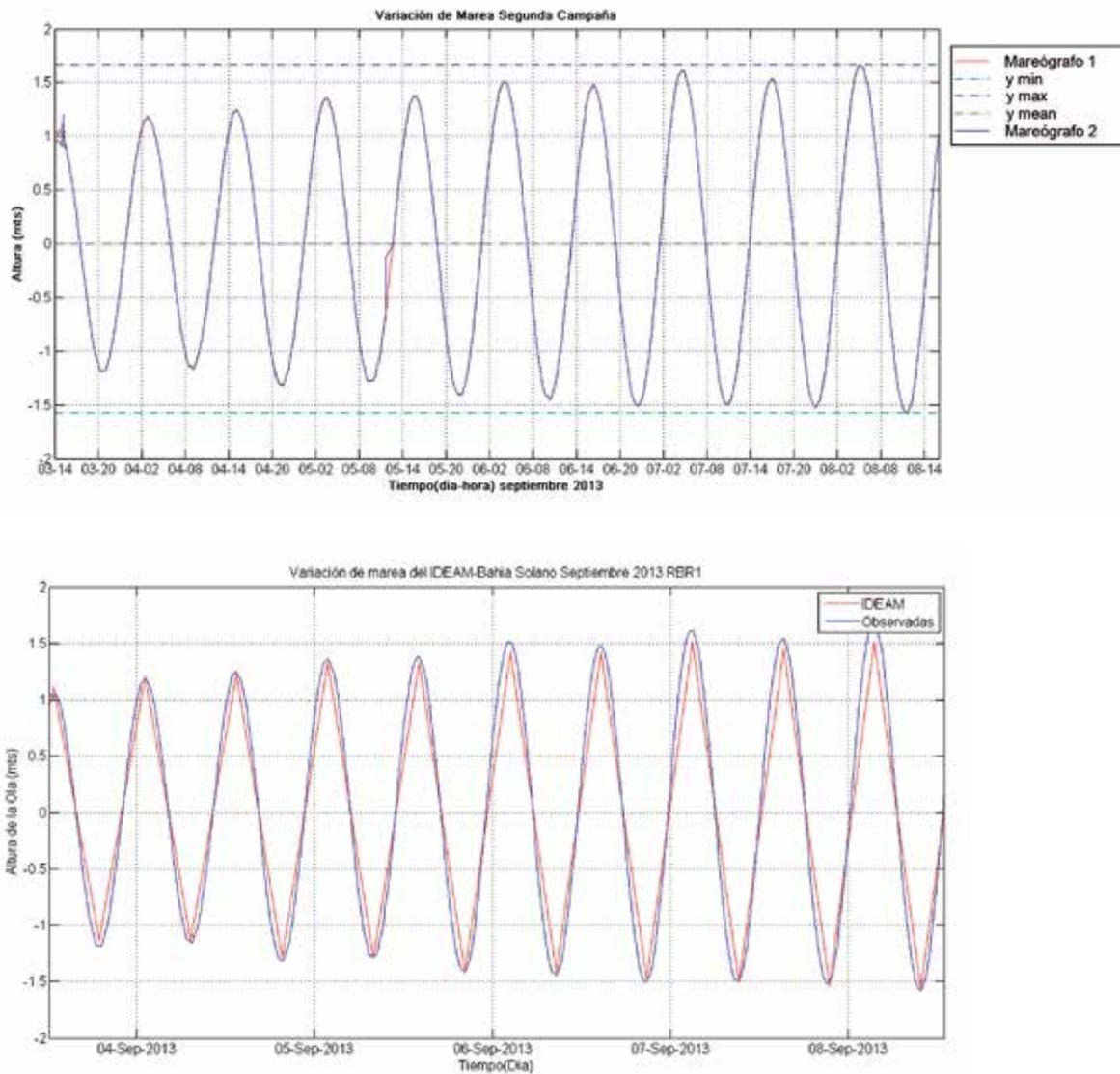
## RESULTADOS

### • Mareas

Durante la toma de muestras de la primera campaña (mayo 2013) el rango mareal máximo registrado por el mareógrafo 1 fue de 3.6 m y el rango mareal máximo registrado por el mareógrafo 2 fue de 3.7 m. Entre cada pleamar y bajamar se observó un período de tiempo de 6 horas, aproximadamente. En la segunda campaña (septiembre 2013) los mareógrafos tuvieron la misma ubicación que la primera campaña. El rango mareal máximo apreciado con el mareógrafo 1 fue de 3.2 m y con el mareógrafo 2 se registró un rango mareal máximo de 3.2 m, igualmente (Fig. 5).

La comparación entre las mareas medidas durante la primera campaña con el pronóstico de mareas del Ideam, permitió observar que el pronóstico de pleamares y bajamares coincide en amplitud y fase con las mediciones observadas. Pequeñas diferencias entre 5 y 10 cm pueden observarse en algunos casos, por efectos locales. La comparación se hizo tomando únicamente los datos del mareógrafo 1 de ambas campañas. En la segunda campaña se evidenció un comportamiento similar al observado en la primera campaña; el dato medido comparado con el dato de predicción es muy cercano en relación recíproca. Cabe resaltar que ninguna de las campañas se desarrolló en época de cuadratura ni sicigia, lo que hace que los datos observados no presenten variaciones o cambios fuertes (Fig. 5).





**Figura 5.** Variación de la altura de la marea (nivel del mar) en m vs. datos pronóstico de pleamares y bajamares costa Pacífica colombiana, área Bahía Solano [5].

### Variables meteorológicas

- **Aire y presión atmosférica**

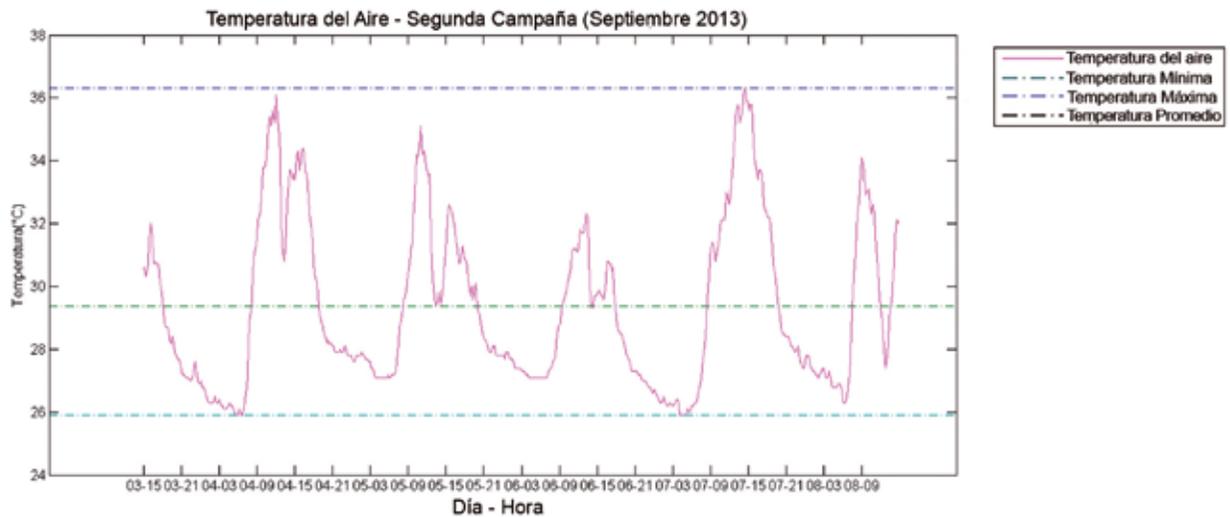
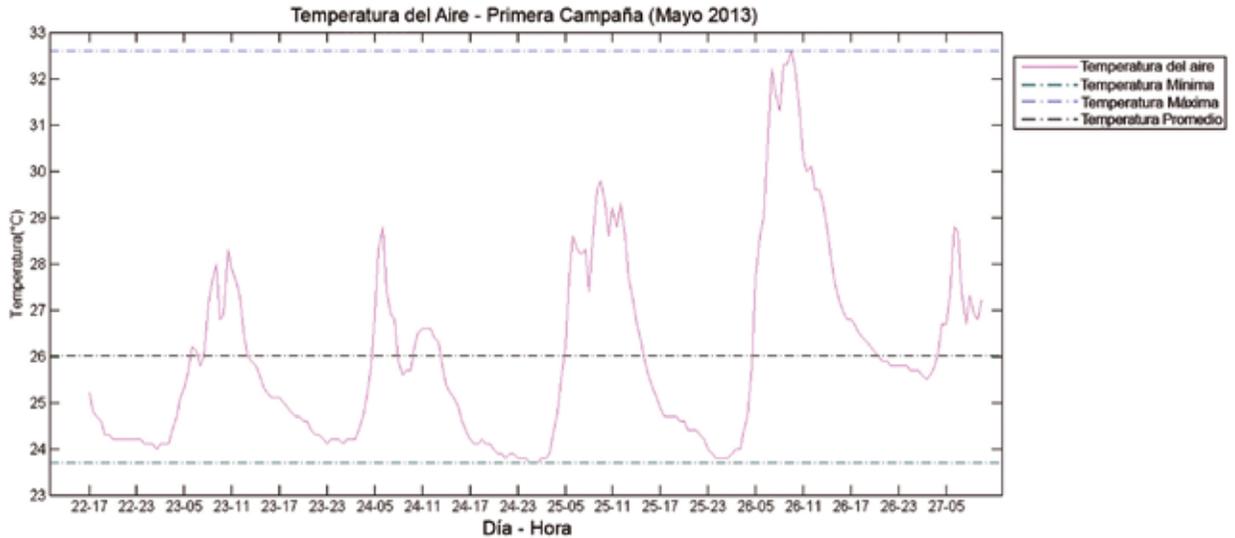
La variable de temperatura del aire presentó incrementos en horas diurnas hasta alcanzar sus valores máximos en las horas de la tarde, para luego iniciar un descenso hasta alcanzar las temperaturas mínimas en horas de la madrugada. Este comportamiento fue similar durante las dos campañas.

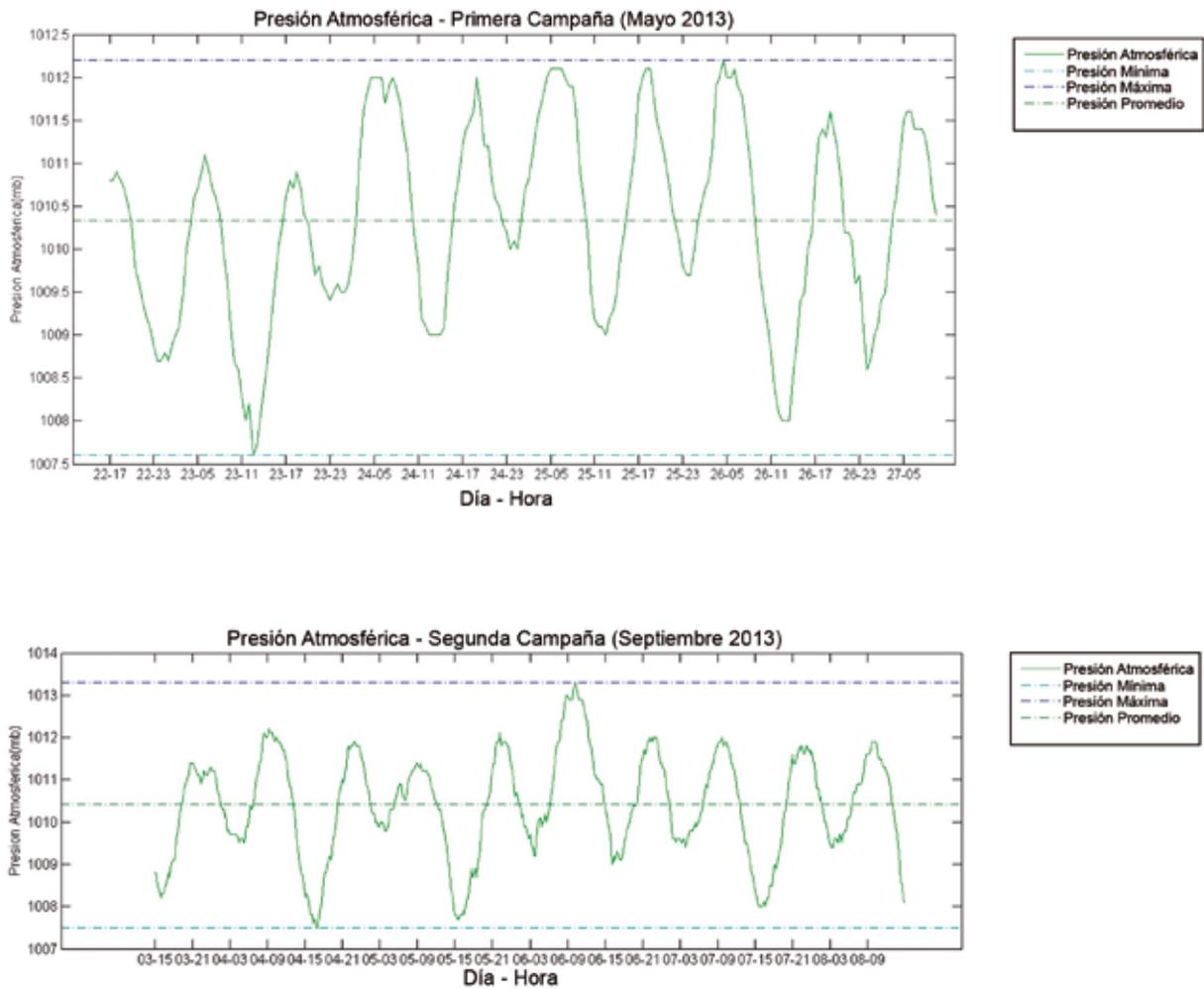
En la primera campaña la temperatura promedio fue de 26°C, aproximadamente, alcanzando la temperatura más alta con un valor aproximado de 32.6°C y la temperatura más baja con un valor de 23.7°C. Durante la segunda campaña el promedio de la temperatura presentó un valor de 29°C; la temperatura más alta registró un valor de 36.2°C y la temperatura más baja 25.9°C.

Durante la primera campaña se observó una oscilación diaria en los valores de presión

atmosférica entre 1007.5 y 1012 Mb, encontrando los valores más altos hacia el final de la tarde, durante la madrugada y primeras horas de la mañana; los valores más bajos hacia el mediodía y la media noche. El valor promedio registrado fue de 1010 Mb. Durante la segunda campaña se observa una oscilación diaria con promedio de

1010.4 Mb, en la cual se aprecian dos altas y dos bajas de presión; las primeras a media mañana y hacia la noche (alrededor de las 10:00 a.m. y cerca de 10:00 p.m.), las más bajas en horas de la madrugada y media tarde (entre 3:00 p.m. y 4:00 p.m.). El valor más alto registrado fue de 1013.2 Mb y el mínimo de 1007.5 Mb (Fig.6).





**Figura 6.** Temperatura del aire en grados centígrados (°C) y presión atmosférica en milibares (Mb).

• **Precipitación y humedad relativa**

Según las mediciones de precipitación acumulada obtenidas para los días de muestreo de la primera campaña, la precipitación total para el tiempo del trabajo de campo fue de 30.92 mm; mientras que durante la segunda campaña se registró una precipitación acumulada de 68.45 mm.

Los valores de humedad para el período de los muestreos estuvieron entre

el 75 y 100 % de humedad relativa, con un promedio de 94.5 %. Se observó un marcado ciclo diario, con máximos valores de humedad relativa en la tarde y los más bajos durante la mañana y hasta después de mediodía. La humedad relativa durante la segunda campaña se registró entre 72 y 100 %. El promedio se mantuvo por encima del 95 % y durante todos los días de la campaña se registraron valores en el tope de 100 % de humedad relativa (Fig. 7).

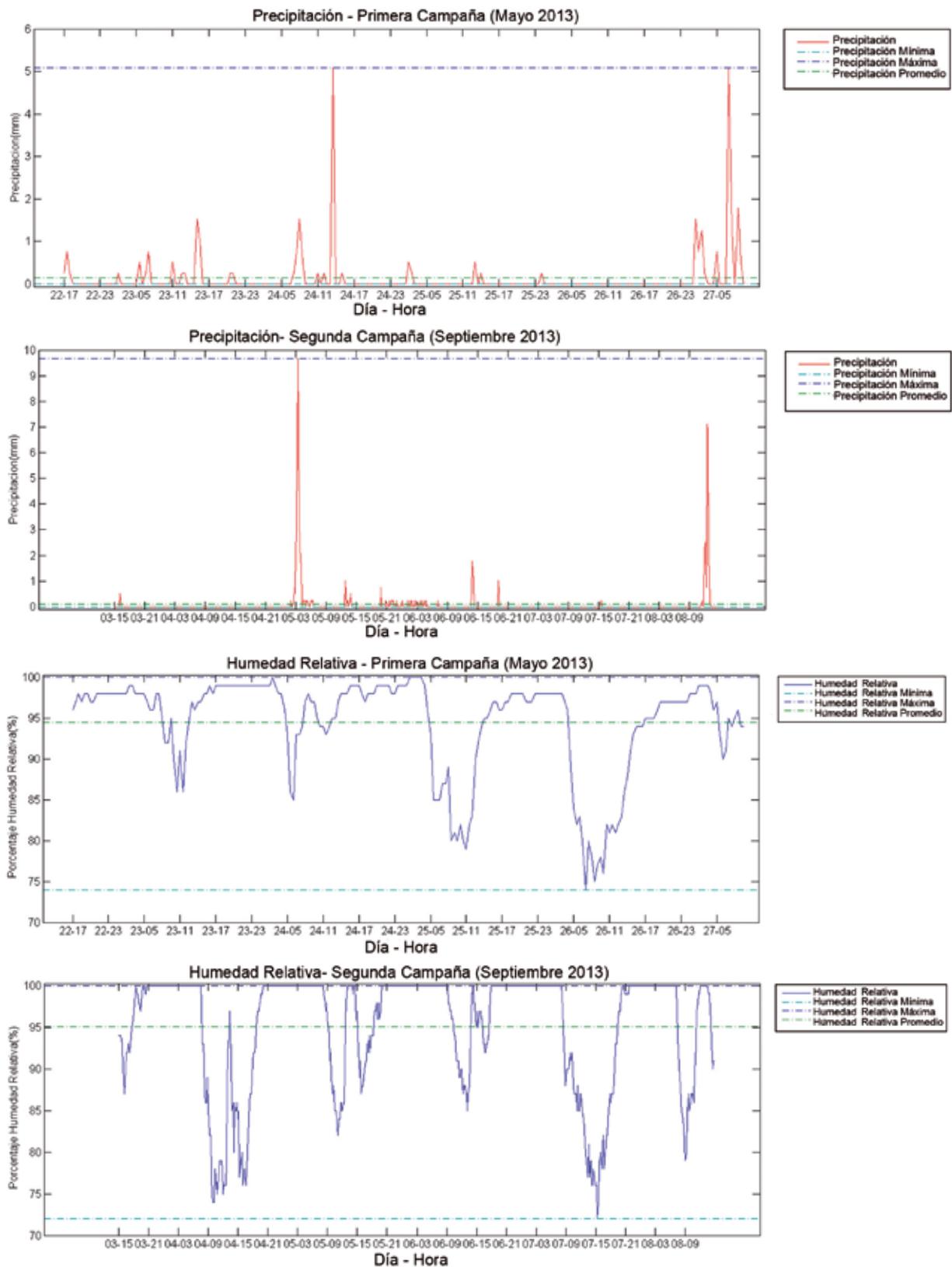


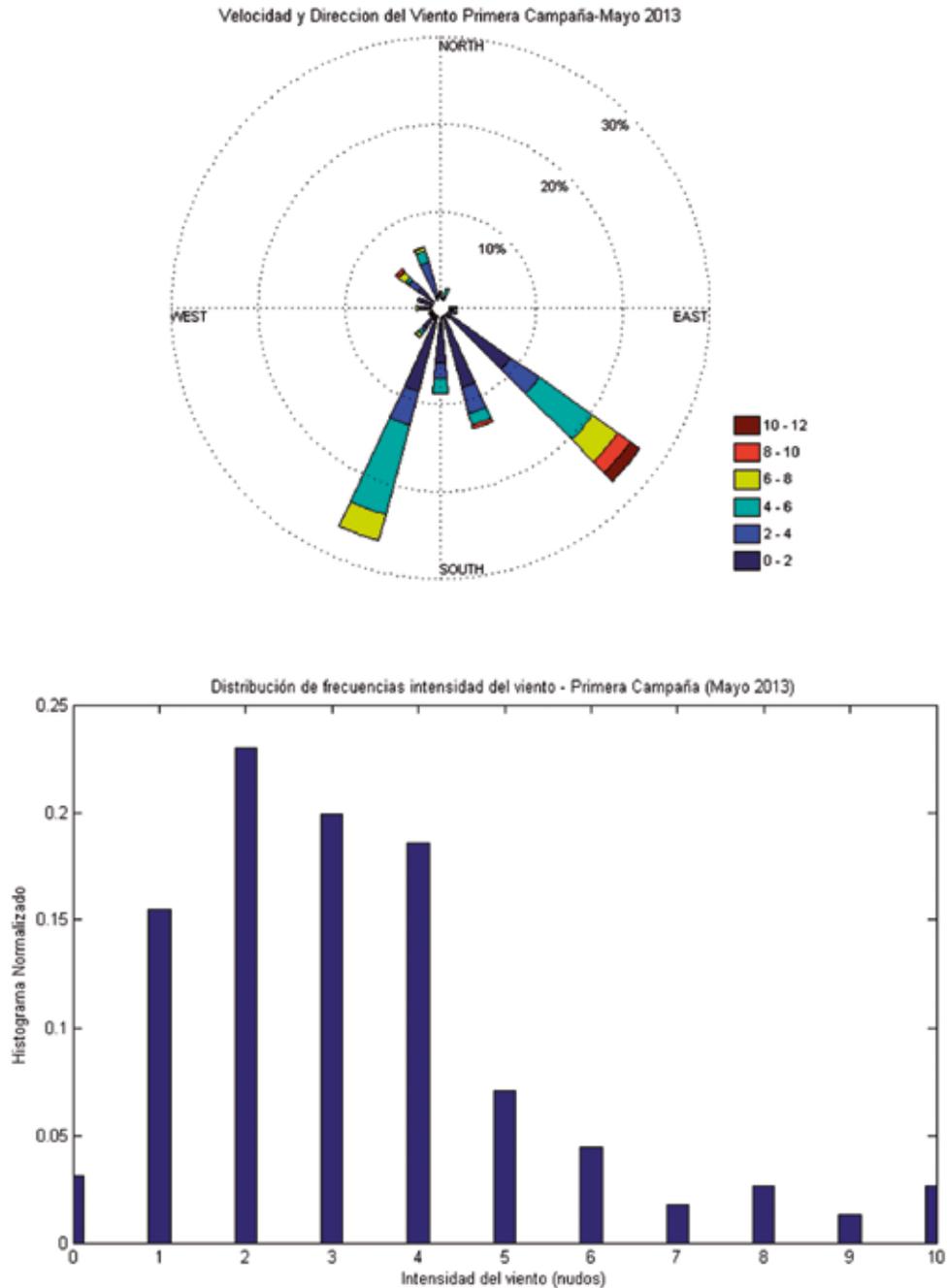
Figura 7. Precipitación en milímetros (mm) y porcentaje de humedad relativa (%).

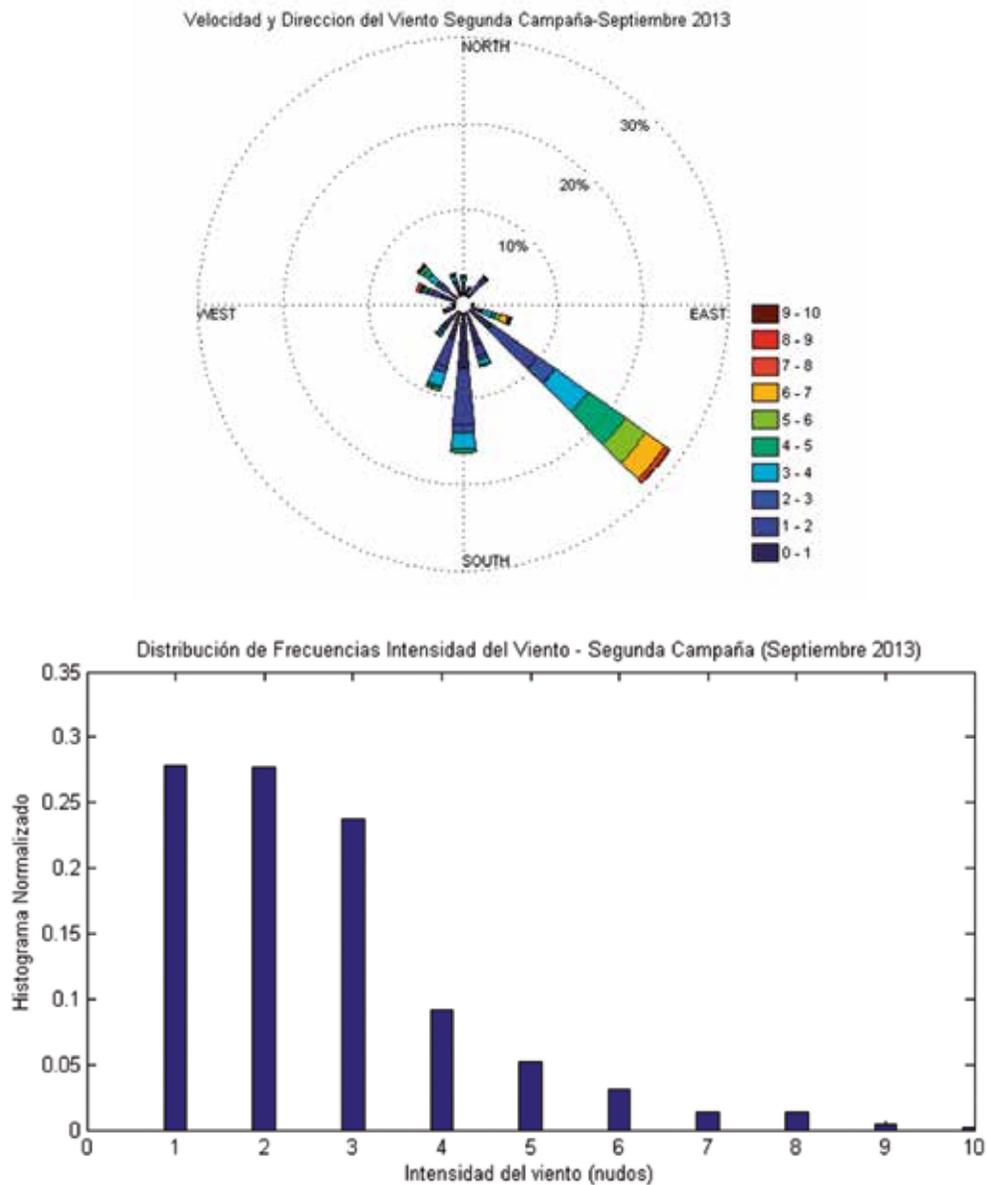
• **Viento**

Durante la primera campaña se observó un viento con alta variabilidad, principalmente entre 1 y 5 nudos. En promedio el viento fue de 3.4 nudos; el valor más alto registrado fue de 11.3 nudos. Las principales componentes del viento fueron sur-suroeste, con intensidad

predominante entre 2 y 4 nudos, con más de un 60 % de ocurrencia.

En las mediciones realizadas durante la segunda campaña la velocidad máxima fue de 9.5 nudos y los valores mínimos de 0.7 nudos; la principal componente del viento es sureste, con intensidad predominante entre 1 y 3 nudos, con más de un 75 % de ocurrencia (Fig. 8).





**Figura 8.** Rosa de vientos y distribución de frecuencias para los vientos.

**Parámetros físicos**

- **Variación espacial de la temperatura y la salinidad en ciclo de marea llenante y vaciante**

En el comportamiento de la temperatura del agua en la bahía durante el ciclo de marea llenante se observó un perfil estratificado con temperaturas entre los 30°C cerca de la superficie y los 18°C en el fondo. Se encontró

una ligera inversión térmica alrededor de los 20 m de profundidad, encontrando en este sector los valores de temperatura más altos con respecto a la vertical. La termoclina se presenta entre los 45 y 60 m de profundidad a lo largo del transepto, sobre el cual no se encontraron diferencias a lo largo del mismo.

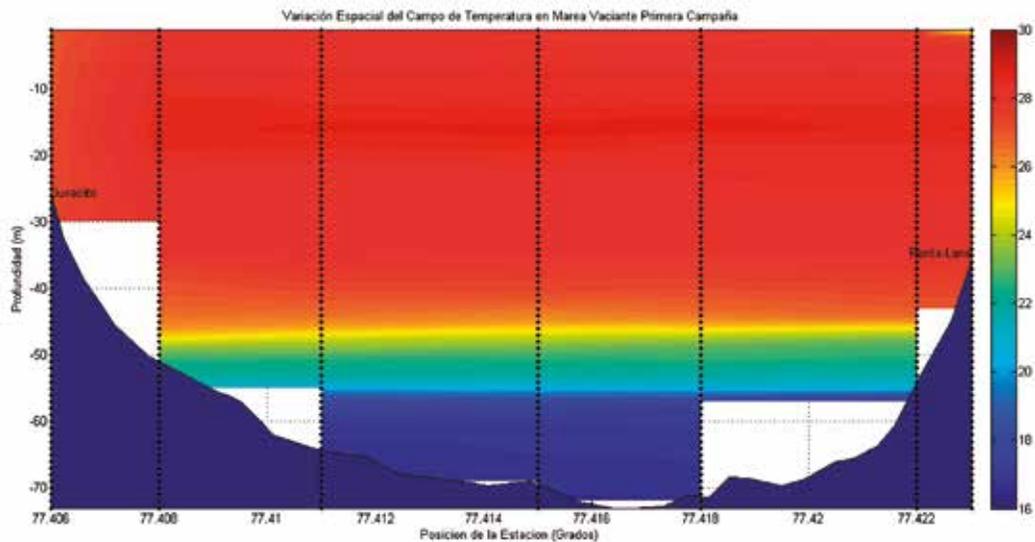
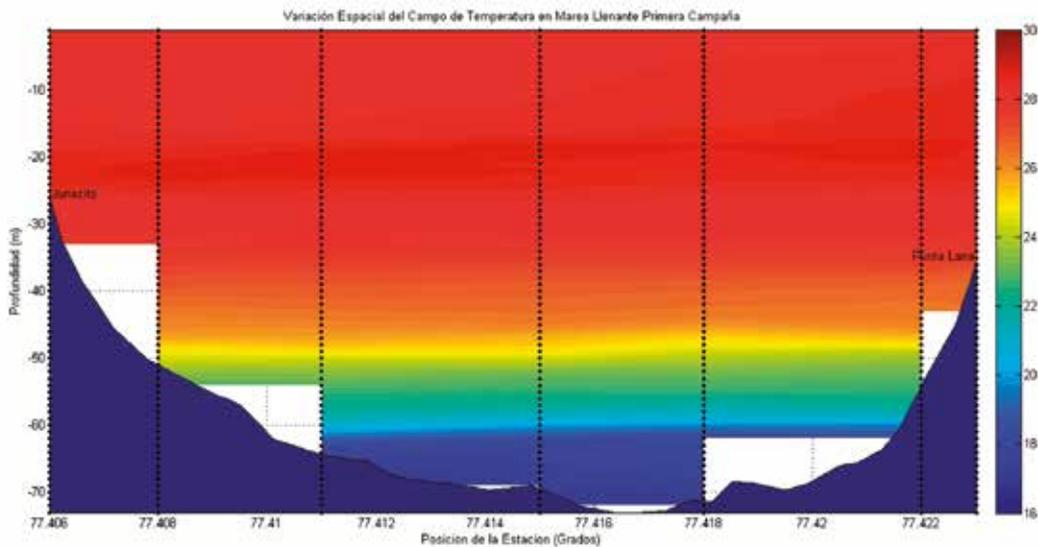
Durante la segunda campaña, en el ciclo de marea llenante se observó un perfil estratificado con temperaturas entre los 30°C cerca de la

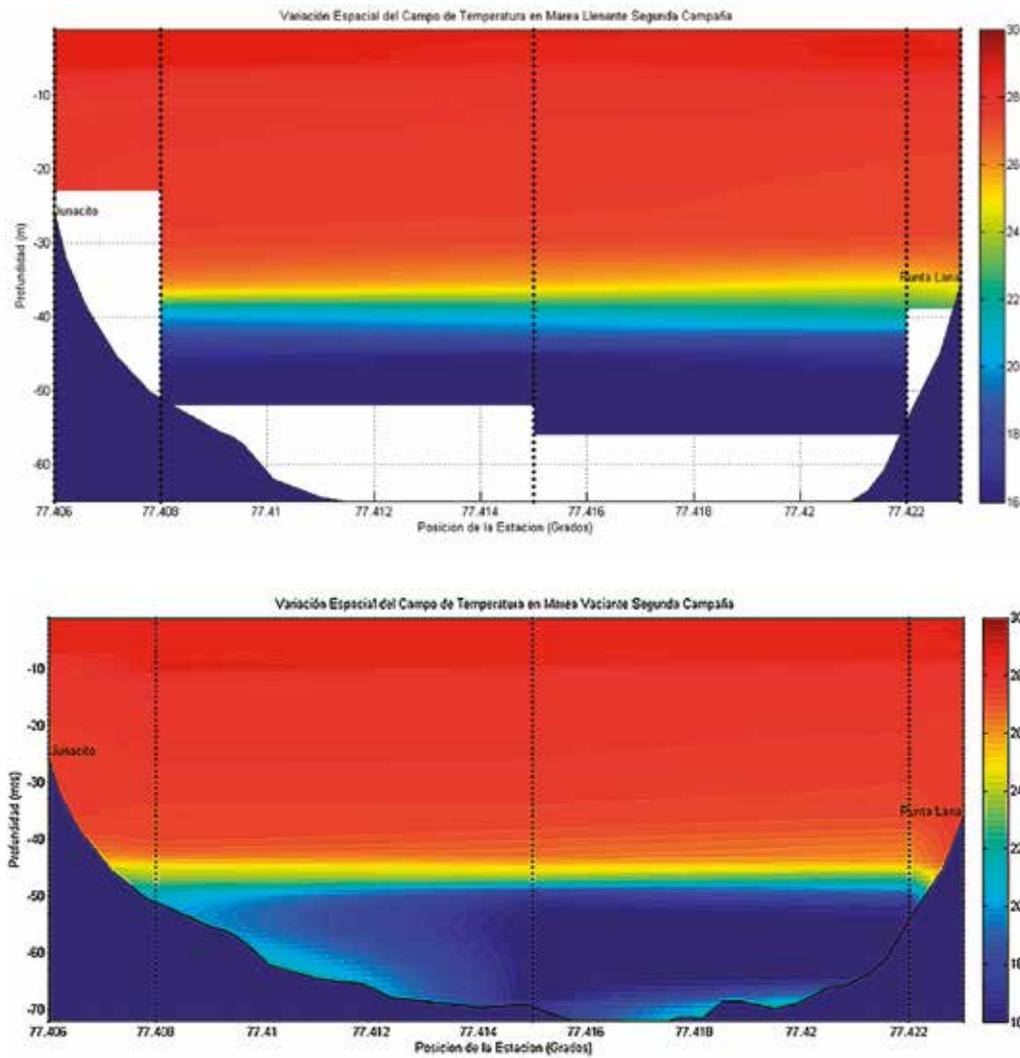
superficie y los 16°C en el fondo. La termoclina se presentó entre los 35 y 45 m de profundidad a lo largo del transecto, sobre el cual no se encontraron diferencias a lo largo del mismo (Fig. 9).

Durante el ciclo de marea vaciante se mantuvo un perfil de estratificación de la temperatura, encontrando los valores de termoclina en la misma profundidad en las dos campañas. Las variaciones fueron similares y no se registraron inversiones térmicas. La temperatura disminuyó en razón de la profundidad. Durante la primera campaña se observó un perfil estratificado, con temperaturas entre los 30°C cerca de la superficie y los 18°C en el fondo. Se encontró

una ligera inversión térmica alrededor de los 15 m de profundidad, encontrando en este sector los valores de temperatura más altos, respecto a la vertical. La termoclina se presentó entre los 45 y 55 m de profundidad a lo largo del transecto, sobre el cual no se encontraron diferencias a lo largo del mismo.

En la segunda campaña se observó un perfil estratificado, con temperaturas entre los 30°C cerca de la superficie y los 16°C en el fondo y hacia el costado oriental. La termoclina se presentó entre los 40 y 50 m de profundidad a lo largo del transecto, sobre el cual no se encontraron diferencias a lo largo del mismo (Fig. 9).





**Figura 9.** Variación espacial de la temperatura durante un ciclo de marea llenante y vaciante.

En el parámetro de salinidad no se observaron cambios significativos producidos bajo el efecto de la marea; la estratificación de la salinidad en la columna de agua mantuvo un comportamiento uniforme a lo largo de los registros tomados en el transepto longitudinal de CTD durante el ciclo de marea llenante. En el ciclo de marea vaciante, durante la primera campaña, la estructura salina fue uniforme a lo largo de toda la sección transversal. La capa superficial se extendió hasta aproximadamente los 18 m de profundidad y su valor en promedio fue de 29.5 UPS; la haloclina se ubicó entre 18 y 25 m de profundidad.

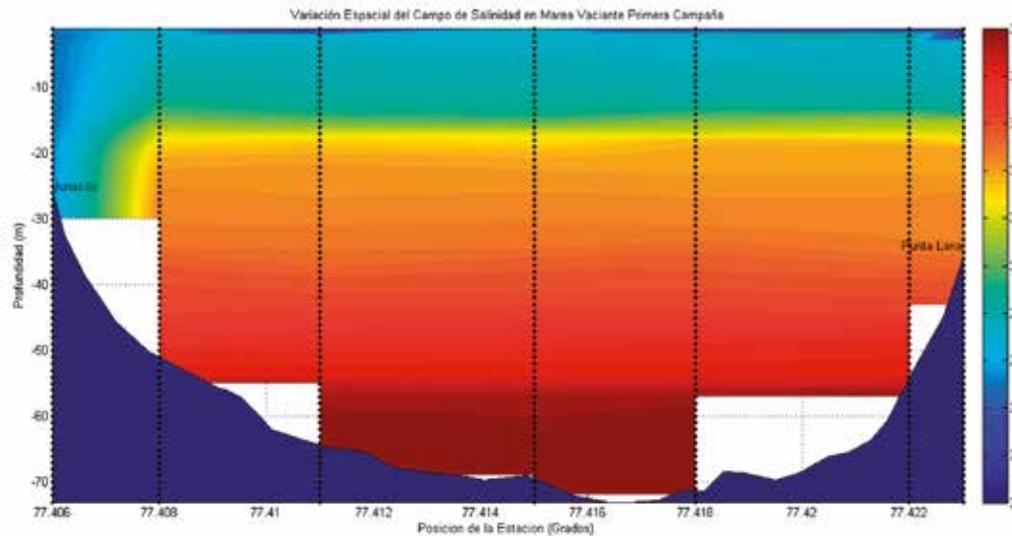
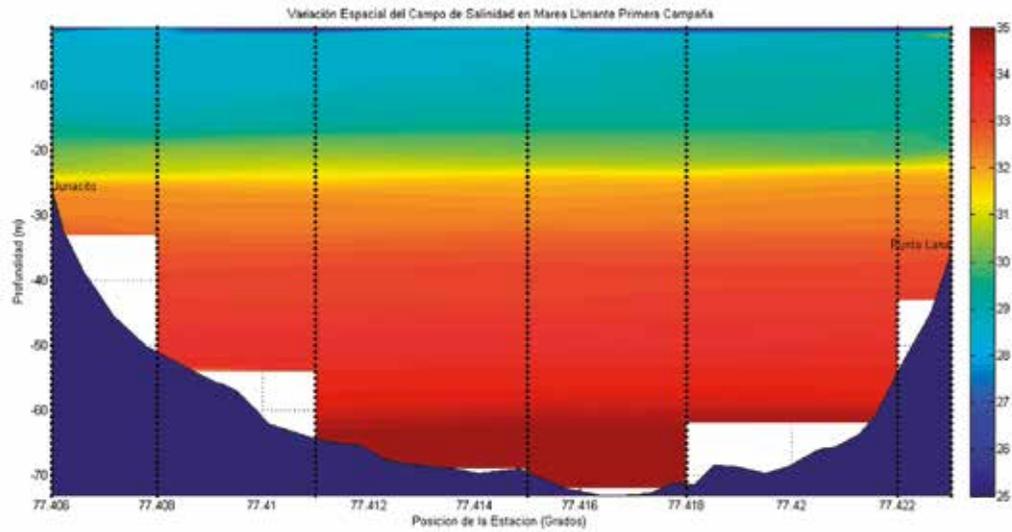
En la segunda campaña no se apreció una variación espacial relevante. Los valores de

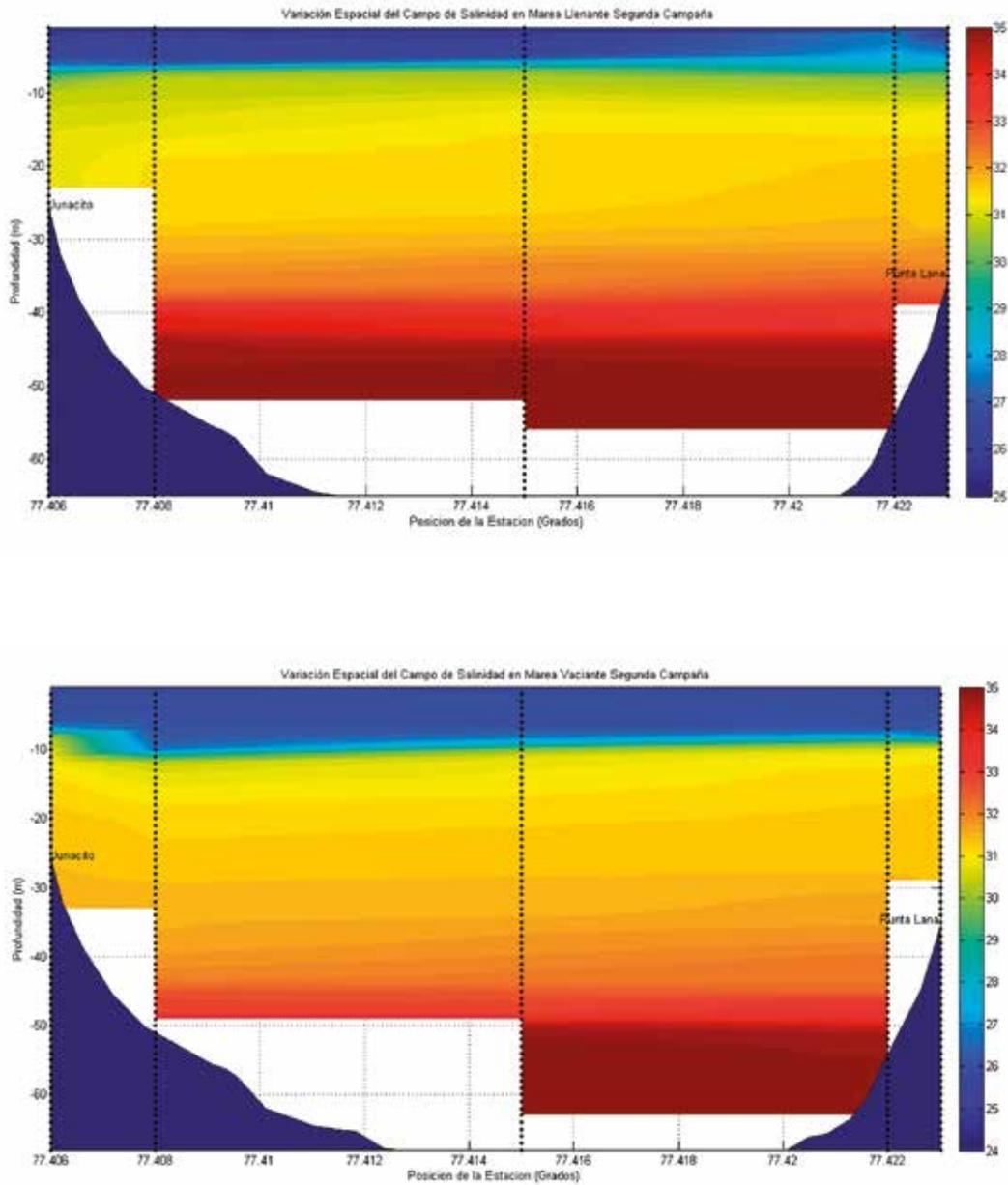
salinidad se encontraron entre 25 y 35 UPS. Se observó una haloclina cerca de la superficie con un gradiente pronunciado alrededor de los 7 m de profundidad. Una segunda haloclina se presentó entre 35 y 40 m de profundidad. El promedio de temperatura en la capa superficial fue de 26 UPS y en una capa intermedia, entre los 10 y 35 m de profundidad, la salinidad promedio fue de 31.5 UPS (Fig. 10).

Durante el ciclo de marea vaciante, en la primera campaña, la haloclina se ubicó aproximadamente a 19 m de profundidad, teniendo un comportamiento particular en la punta extrema de la entrada de la bahía, específicamente en la punta de Junacito, donde

se aprecia que la salinidad mantuvo valores entre 27 y 29 UPS, hasta los 45 m de profundidad aproximadamente. En la segunda campaña se mantuvo un comportamiento estratificado a lo largo de toda la columna de agua, observando

que inmediatamente después de la haloclina los valores de salinidad tuvieron una tendencia ascendente, hasta alcanzar valores de 35 UPS, aproximadamente, en las capas más profundas (Fig. 10).





**Figura 10.** Variación espacial de la salinidad durante un ciclo de marea llenante y vaciante.

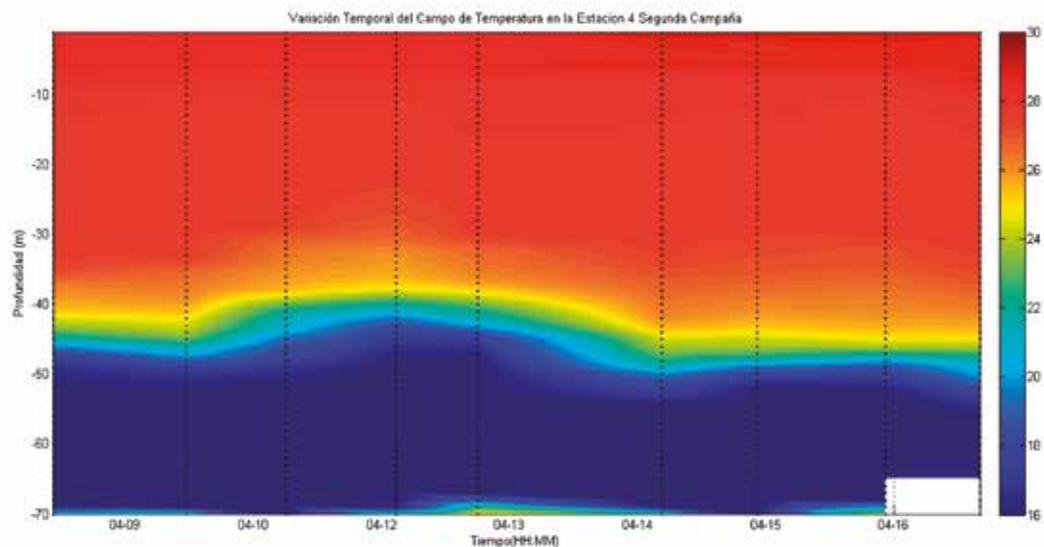
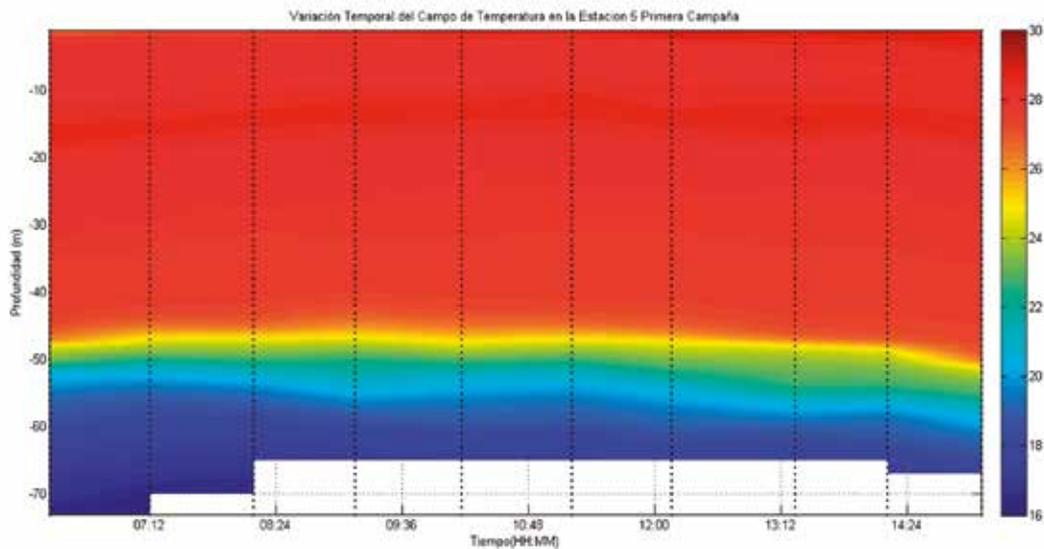
- **Variación temporal de la temperatura y la salinidad en un ciclo de marea**

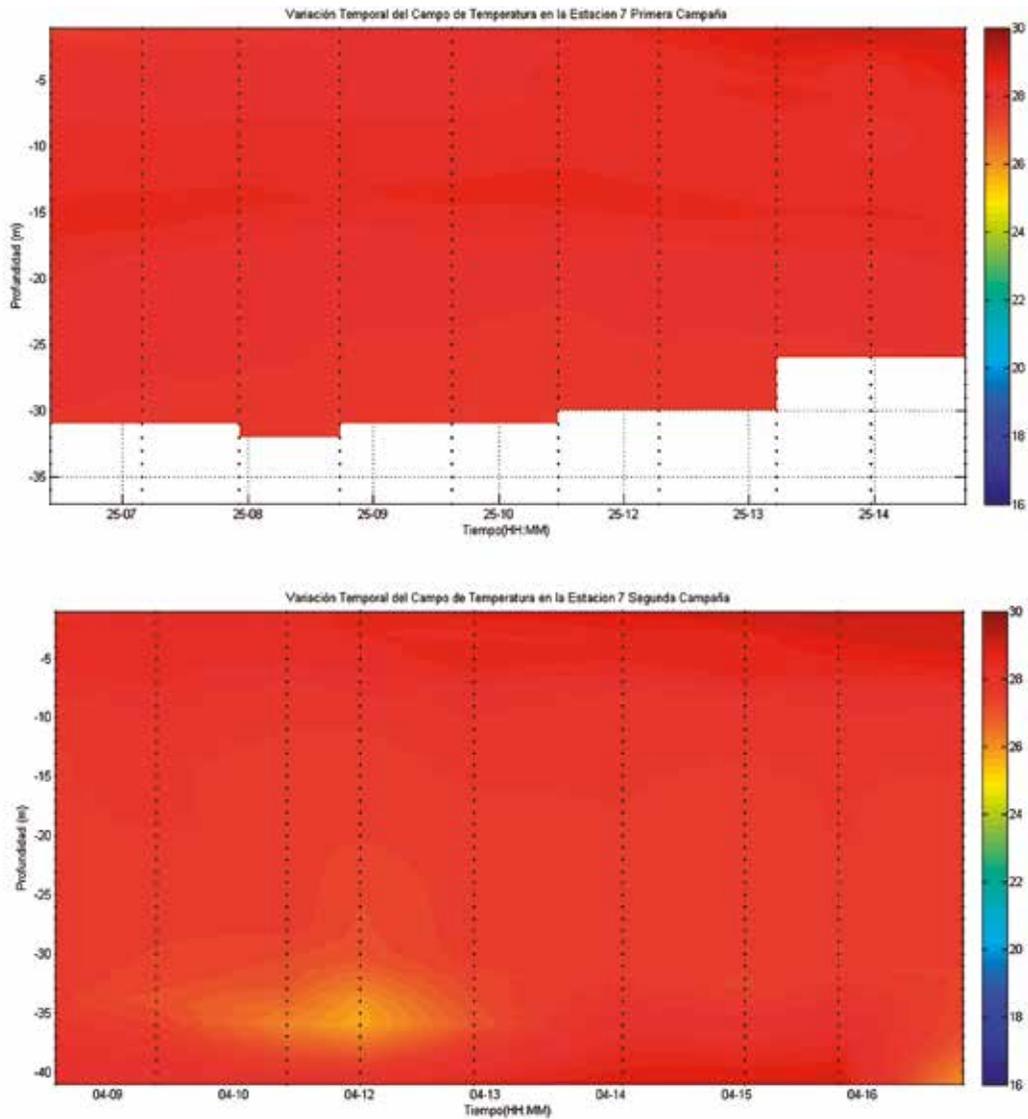
Para efectuar el análisis de la variación temporal de los campos de temperatura de las dos campañas se tomaron dos estaciones, una en el centro del transecto (sector de mayor profundidad) y otra en el extremo oriental (sector

de menor profundidad). La ubicación de estas estaciones permitió observar el comportamiento temporal de una forma integral; la estratificación de la temperatura medida aproximadamente cada hora a lo largo de un ciclo completo de marea permitió una clara apreciación del comportamiento de la masa de agua en su totalidad.

En la primera campaña el perfil de temperatura ubicado en el centro del transepto presentó valores entre 29 y 16°C. Ligeras variaciones en cuanto a la profundidad y espesor de la termoclina pudieron observarse a lo largo del ciclo mareal. Durante la fase llenante la termoclina se encontró entre 48 y 53 m de profundidad; al final del ciclo se presentó mayor espesor, extendiéndose hasta 58 m aproximadamente. El perfil de temperatura en el extremo oriental presentó valores de temperatura entre 27 y 29°C. Durante la fase llenante no se encontraron variaciones significativas. Una vez se inicia el ciclo vaciante se evidencia la presencia de aguas ligeramente más cálidas, desde la superficie hasta los 5 m de profundidad (Fig. 11).

Durante la segunda campaña, en la estación más profunda ubicada al centro del transepto, se registraron valores de temperatura entre 29 y 16°C. La termoclina se encontró entre los 40 y 50 m de profundidad, presentando ligeras variaciones a lo largo del ciclo de marea; durante la fase llenante se observó una ligera elevación, alcanzando su punto más alto sobre los 40 m de profundidad; durante el ciclo vaciante descendió nuevamente hasta situarse alrededor de los 45 m. En el extremo oriental se observaron valores entre 26 y 29°C. Durante el ciclo llenante se observó un valor de temperatura subsuperficial ligeramente menor; durante la fase vaciante valores más altos de temperatura se apreciaron cerca de la superficie (Fig. 11).





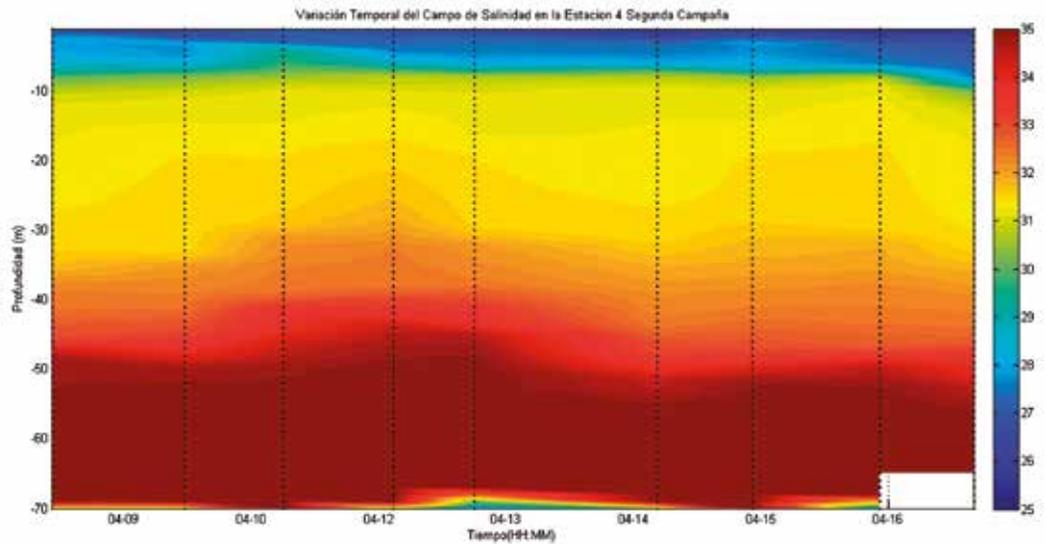
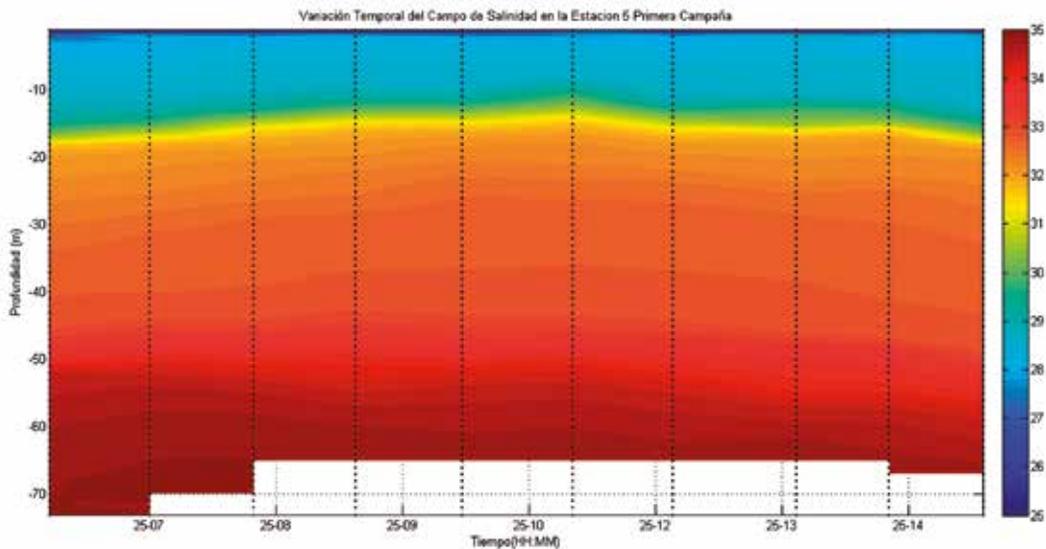
**Figura 11.** Variación temporal de la temperatura durante un ciclo de marea.

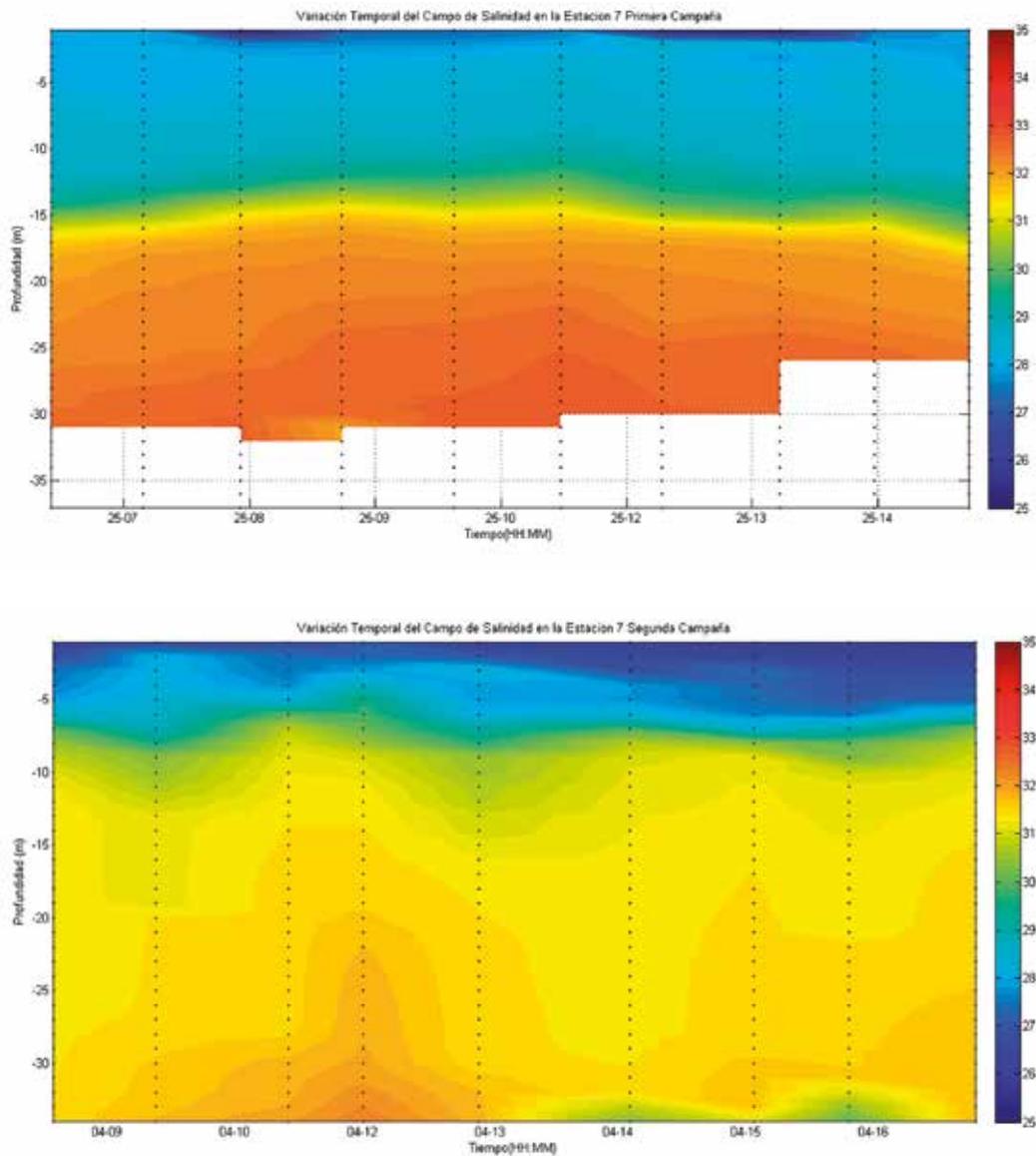
Para el análisis de la variación de la salinidad a lo largo de un ciclo de marea se tomaron dos estaciones, una en el centro del transepto (sector de mayor profundidad) y otra en el extremo oriental (donde se encuentra la menor profundidad). Durante la primera campaña, en la estación al centro del transepto se observó la haloclina entre los 15 y 20 m de profundidad, aproximadamente; se apreció un ligero aumento de la salinidad, aproximadamente a las 1200R, coincidiendo con el momento del ciclo en que la marea se encontraba en ascenso. A lo largo del resto de horas de la medición se observó

un comportamiento constante. En la capa más profunda se alcanzaron valores de salinidad de 35 UPS, teniendo un comportamiento ascendente en razón a la profundidad. En la estación extremo oriental la haloclina se observó entre 13 y 18 m de profundidad; se apreció un comportamiento ascendente de la salinidad en relación a la profundidad. En la capa más profunda de esta estación se registraron valores de salinidad de 33 UPS, manteniendo el valor constante por debajo de la haloclina. Es importante tener en cuenta que esta estación es la menos profunda, alrededor de 32 m (Fig. 12).

Durante la segunda campaña se observó un comportamiento uniforme en relación al tiempo de las mediciones y con algunas variaciones en razón de la profundidad. En la estación del centro del transecto se observó la haloclina entre 5 y 10 m de profundidad, manteniendo un valor de salinidad de 27 UPS en la capa más superficial y aumentando en razón de la profundidad. Aproximadamente a las 1200R y con el ciclo mareal en ascenso para esa hora se registró un aumento en la salinidad en las capas

media y profunda de la columna de agua. La capa más profunda registro valores de 35 UPS. En el extremo oriental se observó la haloclina entre 5 y 10 m de profundidad, manteniendo valores de salinidad de 26 UPS, aproximadamente, cerca de la superficie y alrededor de 32 UPS cerca del fondo. Aproximadamente a las 1200R y con el ciclo mareal en ascenso para esa hora se registró un aumento en la salinidad en las capas media y profunda de la columna de agua (Fig. 12).





**Figura 12.** Variación temporal de la salinidad durante un ciclo de marea.

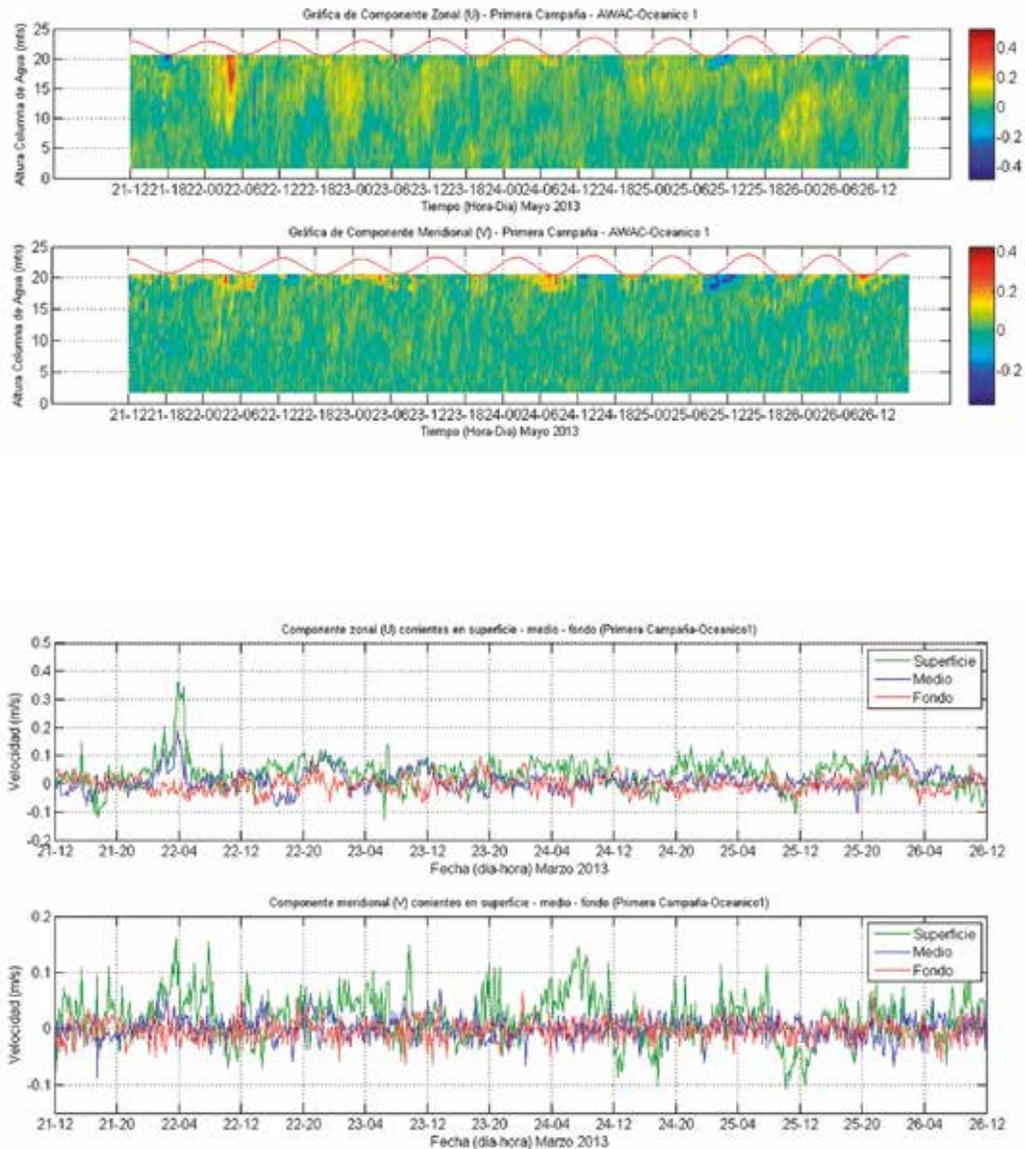
• **Corrientes**

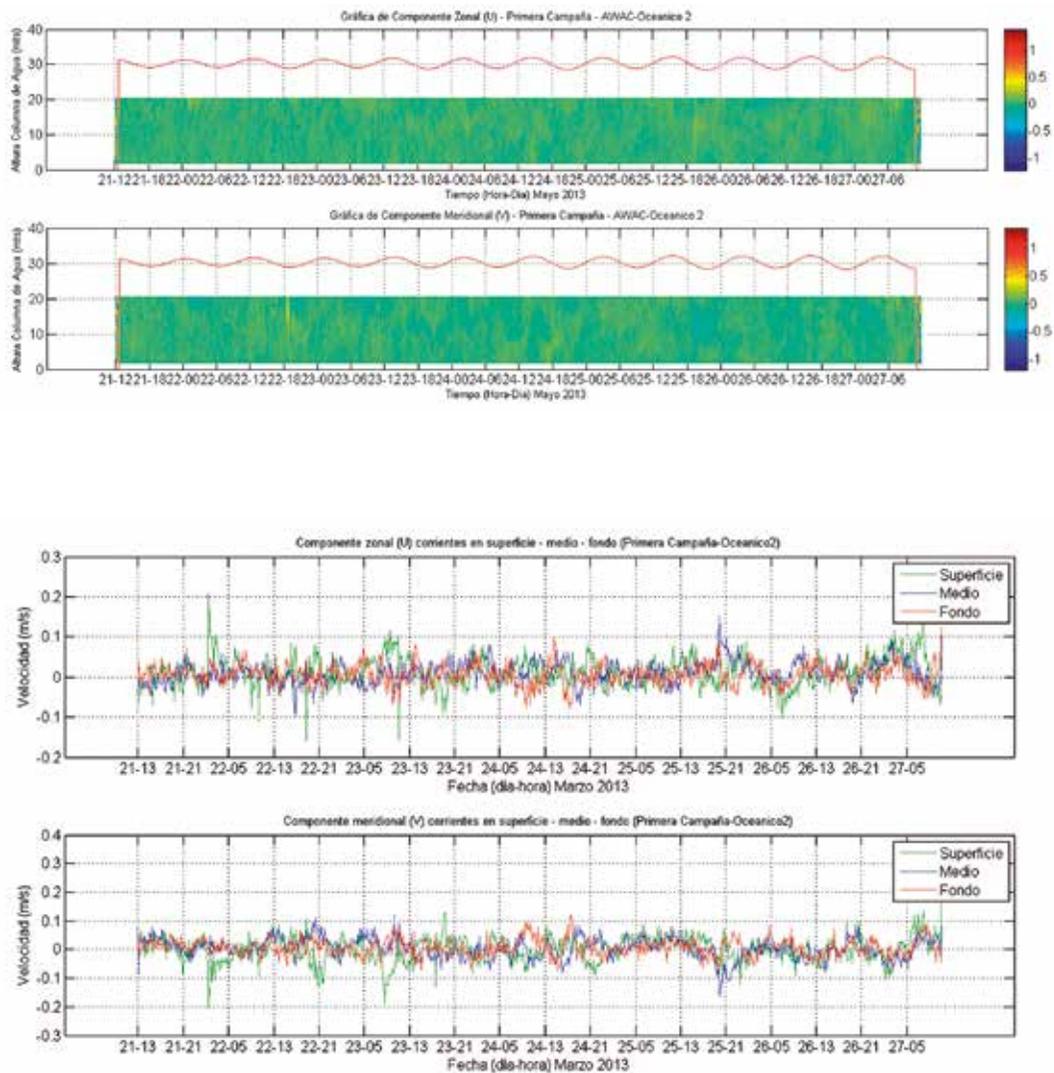
En el desarrollo de la primera campaña el ADCP 1 registró valores de corriente zonal (Componente U) entre -12 y 36 cm/s en superficie; entre -40 y 18 cm/s en el medio de la columna de agua y -8 y 10 cm/s en el fondo. Se presentaron unos picos de corrientes en superficie y en el medio de la columna de agua; en el resto del período se encontraron los valores con variaciones entre -10 y 10 cm/s. La corriente

meridional (Componente V) registró valores entre -17 y 16 cm/s en superficie, en la parte media valores entre -8 y 7 cm/s y -7 y 7 cm/s en el fondo. En esta componente se registraron picos de corrientes a lo largo de la medición en la parte superficial. Durante el ciclo de marea llenante hubo un desplazamiento de la masa de agua en dirección suroriental, con velocidades entre los 0,04 y 0,07 m/s. En el ciclo de marea vaciante se registraron velocidades entre -0,04 y -0,02 m/s (Fig. 13).

El ADCP 2 registró valores de corriente zonal (Componente U) de -15 y 23 cm/s en superficie; entre -9 y 15 cm/s en la parte media de la columna de agua y desde -7 y 12 cm/s en el fondo. En esta componente no se registraron picos de corriente apreciables. En la corriente meridional (Componente V) se registraron valores de -20 y 39

cm/s en la parte superficial, en la cual se presentó un pico de velocidad al inicio de la medición de -30 y 25 cm/s en el medio, y -11 y 12 cm/s en el fondo. Durante el ciclo de marea llenante se registraron velocidades entre los 0.01 y 0.05 m/s. En el ciclo de marea vaciante se registraron velocidades entre -0.03 y -0.09 m/s (Fig. 13).

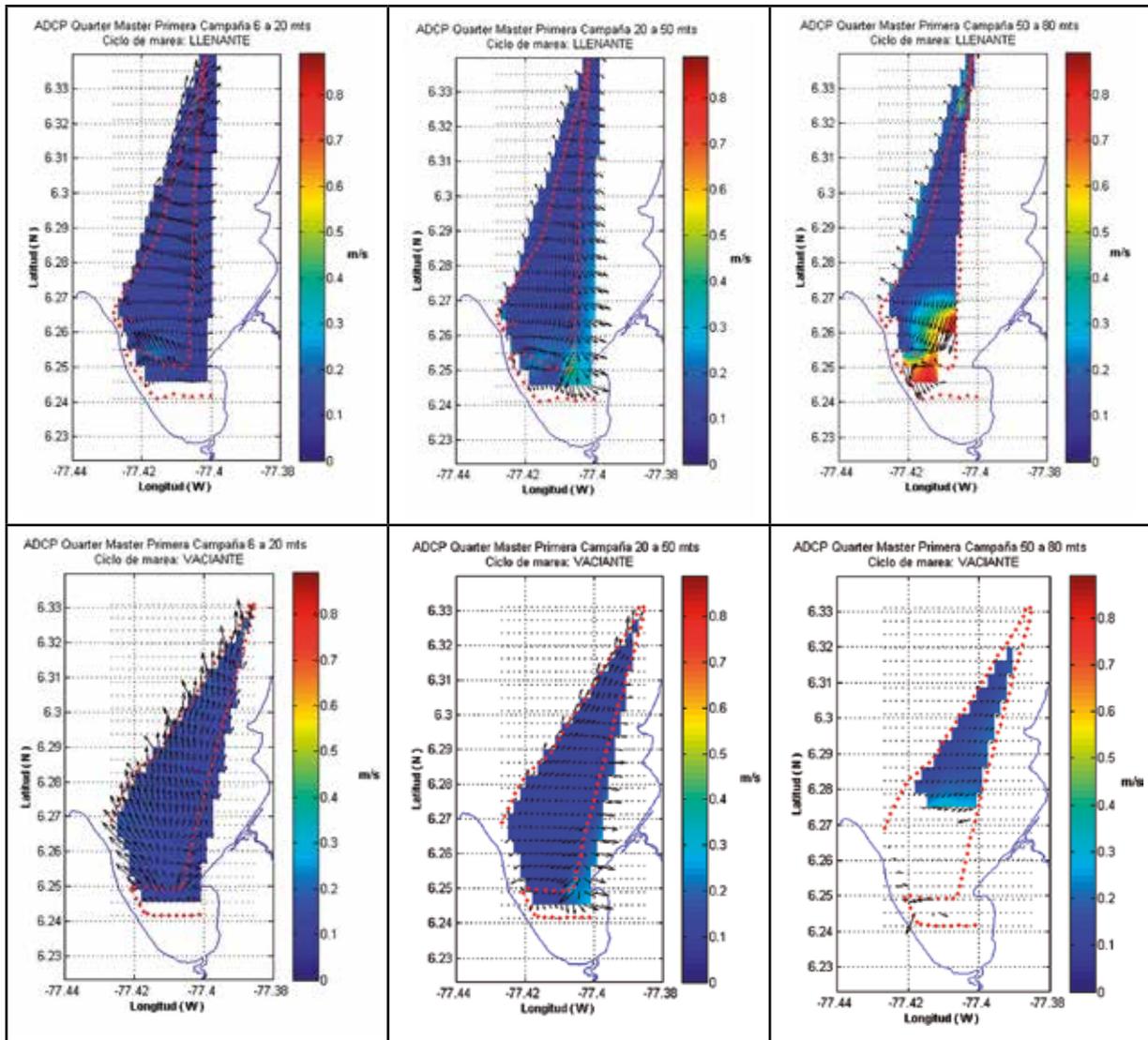




**Figura 13.** Gráfica de los componentes de corriente zonal y meridional en aguas superficiales, medias y de fondo, medidas con el ADCP en la primera campaña.

En el desarrollo de la primera campaña, durante el ciclo de marea llenante, se observaron corrientes superficiales entrando hacia la bahía de Solano por el costado oriental, con intensidades cercanas a 10 cm/s; por el costado occidental de la bahía se observan corrientes hacia el norte (saliendo de la bahía), con intensidades cercanas a 20 cm/s. Hacia el norte de la bahía externa las corrientes se presentaron en dirección nororiental. En la capa media las corrientes ingresaron por el mismo sector (cerca de Punta Lana) con intensidad

entre 30 y 40 cm/s. Cerca del fondo y en sector más estrecho de la bahía interna se observó dirección predominante hacia dentro de la bahía (sur) con intensidades entre 60 y 80 cm/s. Durante el ciclo de marea vaciante las corrientes superficiales en general se presentaron en sentido hacia afuera de la bahía, con dirección noroccidental hacia el costado occidental, con intensidad entre 10 y 15 cm/s. En la capa media cerca de Punta Lana se observaron corrientes hacia adentro de la bahía con intensidades de 20 a 30 cm/s (Fig. 14).



**Figura 14.** Gráfica de corrientes superficiales en ciclo de marea llenante y vaciante, medidas en recorrido con el ADCP durante la primera campaña.

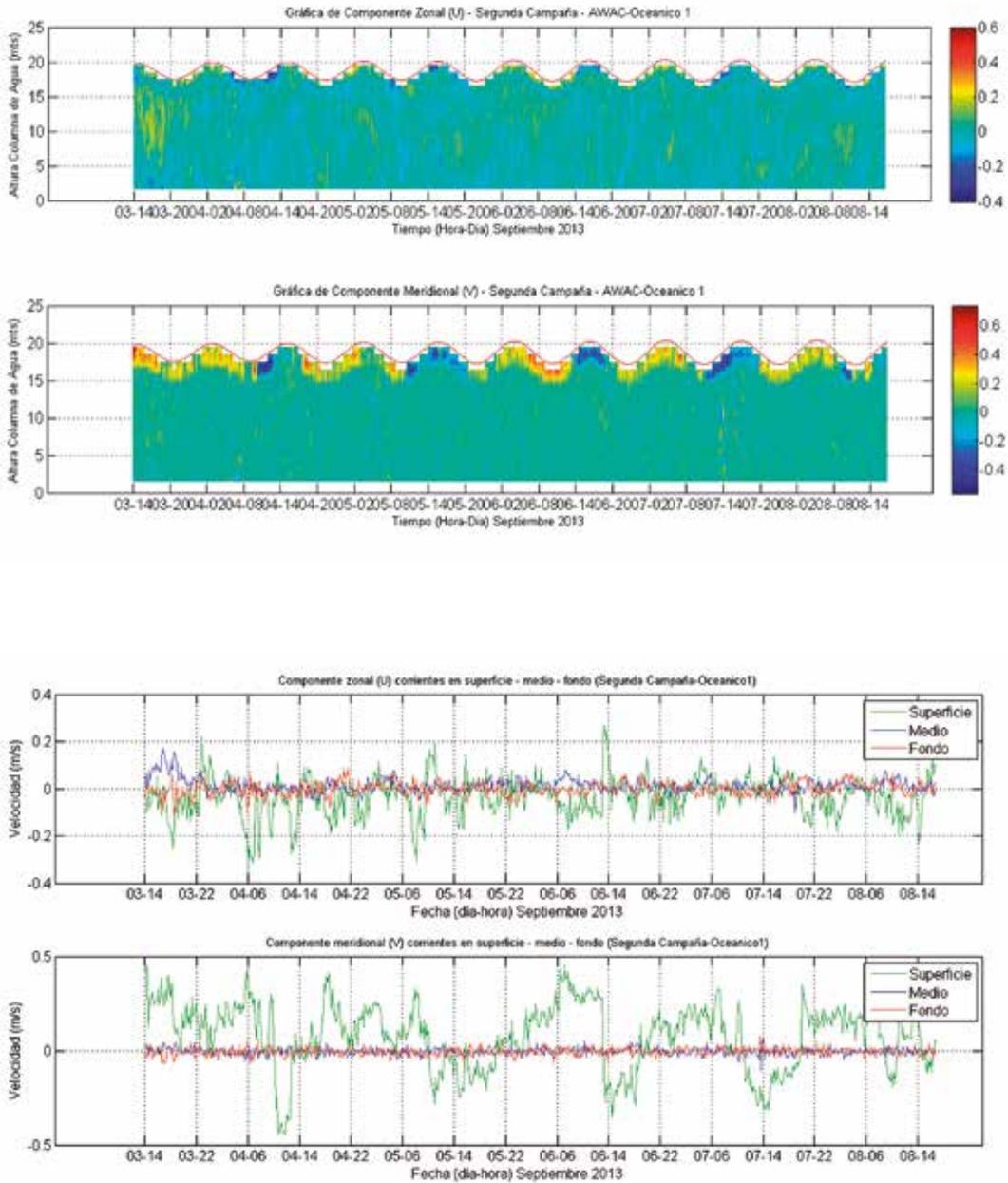
Durante la segunda campaña el ADCP 1 registró valores de velocidad de corriente zonal (Componente U) en la parte superficial de -34 y 27 cm/s; de -10 y 17 cm/s en la parte media, y -11 y 8 cm/s en el fondo de la columna de agua. En la parte superficial se observó un comportamiento de tendencias ascendentes, con picos de velocidad constantes y de poca amplitud a lo largo de toda la medición. Las mediciones de corriente meridional (Componente V) registraron valores de -44 y 45 cm/s en superficie; -10 y 7 cm/s en la parte media, y valores desde -6 hasta

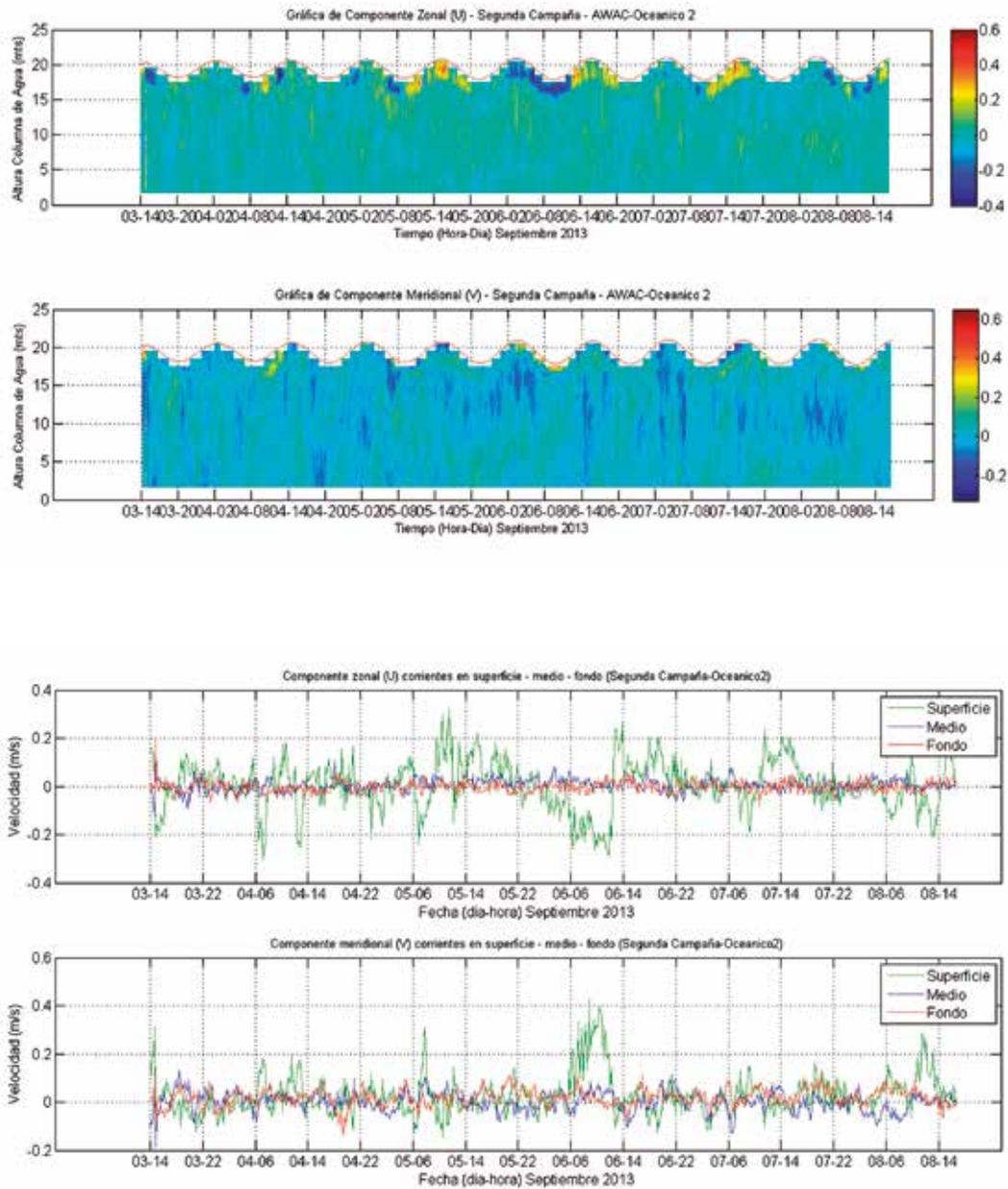
7 cm/s en la parte del fondo. En las mediciones superficiales se observaron picos de velocidad de corriente con amplitud considerable durante toda la medición. Durante el ciclo de marea llenante se registraron velocidades entre los 0.02 y 0.04 m/s. En el ciclo de marea vaciante se registraron velocidades entre -0.04 y -0.02 m/s (Fig. 15).

El ADCP 2 registró valores de velocidad de corriente zonal (Componente U) en la parte superficial de la columna de agua desde -30

hasta 32 cm/s; en la parte media desde -11 hasta 16 cm/s, y desde -8 hasta 20 cm/s en el fondo. La corriente superficial tuvo fluctuaciones a lo largo de la medición, sobre todo en la parte media. En las mediciones de corriente meridional (Componente V) se registraron valores de velocidad superficiales desde -14 hasta 42 cm/s; en la parte media de la columna de agua desde

-18 hasta 14 cm/s, y en la parte del fondo desde los -14 hasta los 11 cm/s. En la medición de corriente superficial se observó un pico alto de velocidad en la parte media. Durante el ciclo de marea llenante se registraron velocidades entre los 0.02 y 0.06 m/s. En el ciclo de marea vaciante se registraron velocidades entre -0.01 y 0.01 m/s (Fig. 15).

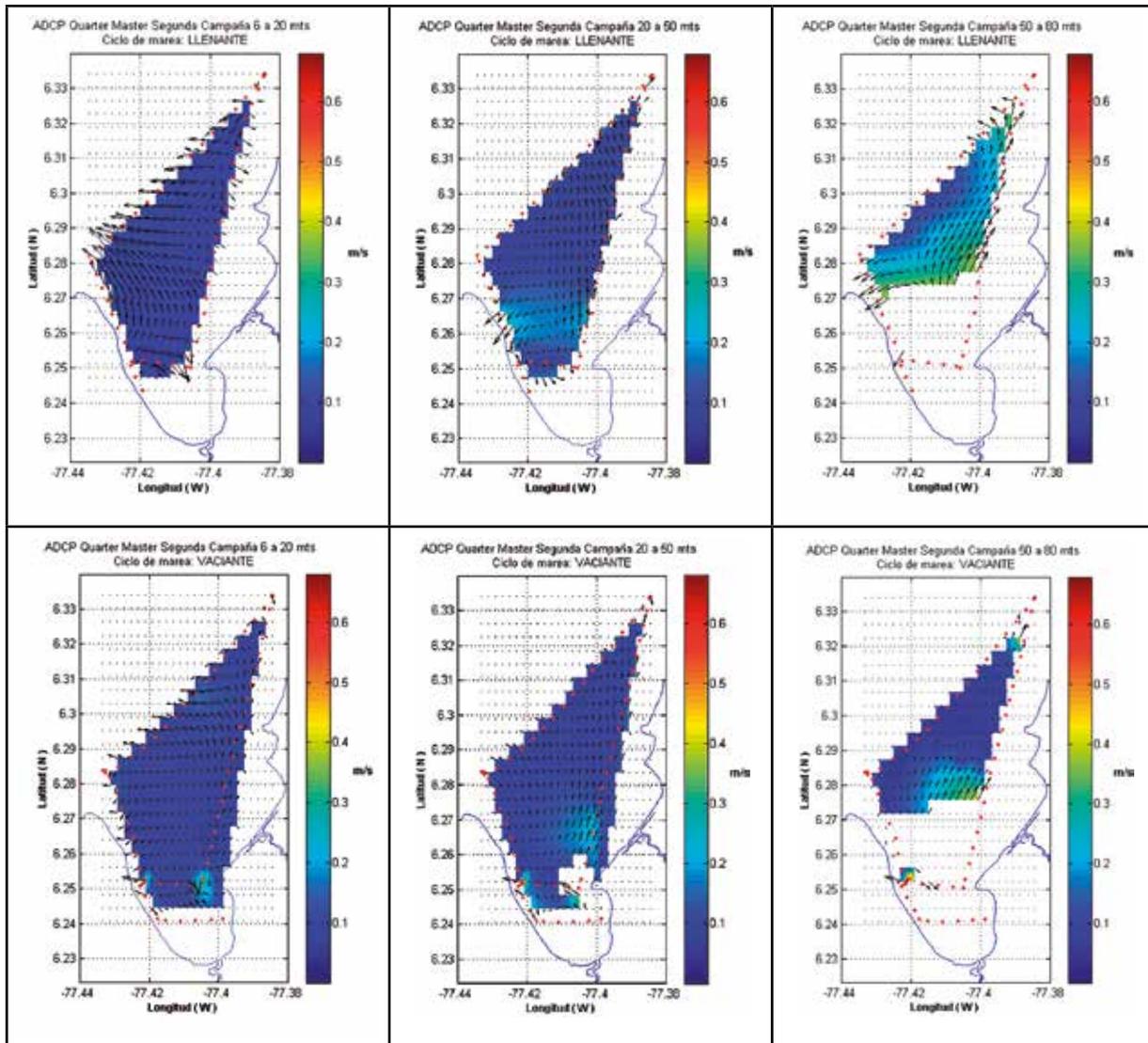




**Figura 15.** Gráfica de los componentes de corriente zonal y meridional en aguas superficiales, medias y de fondo, medidas con el ADCP durante la segunda campaña

Durante la segunda campaña, en el ciclo de marea llenante, las corrientes superficiales entraron hacia la bahía por el costado oriental, las intensidades de corriente presentaron valores desde 10 hasta 20 cm/s. Las corrientes observadas en el costado occidental mantuvieron dirección norte hacia la salida de la bahía y los valores de

la intensidad se mantuvieron en 20 cm/s en las profundidades superficiales y medias. La intensidad de la corriente en el fondo de la columna de agua (50 a 80 m) aumentó en la parte sur de la bahía (profundidades cercanas a la línea de costa), donde se observaron valores de intensidad de corriente de 30 cm/s, aproximadamente (Fig. 16).



**Figura 16.** Gráfica de corrientes superficiales en ciclo de marea llenante y vaciante, medidas en recorrido con el ADCP durante la segunda campaña.

• **Corrientes residuales**

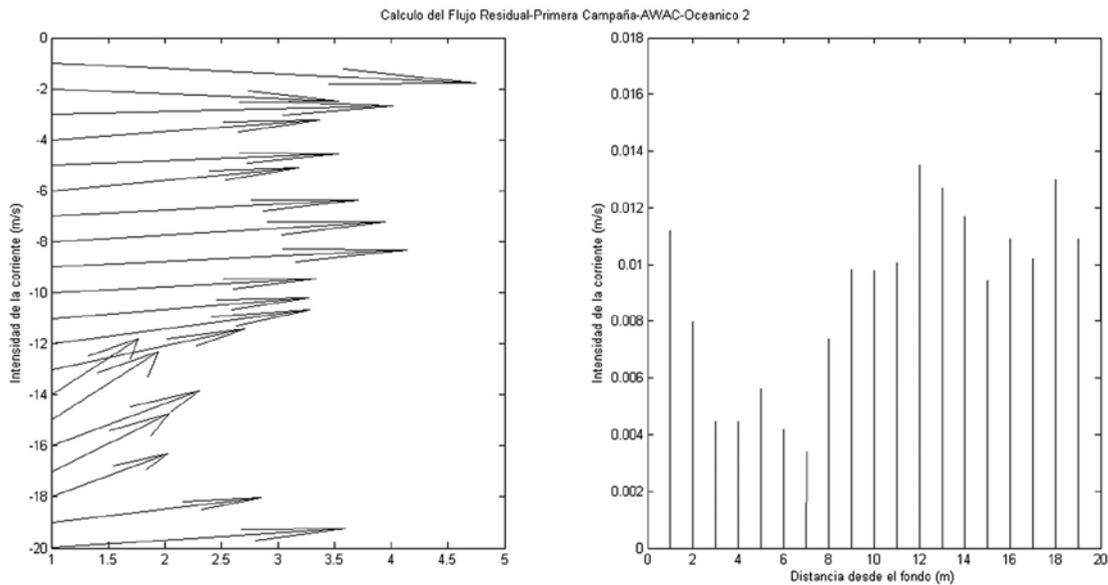
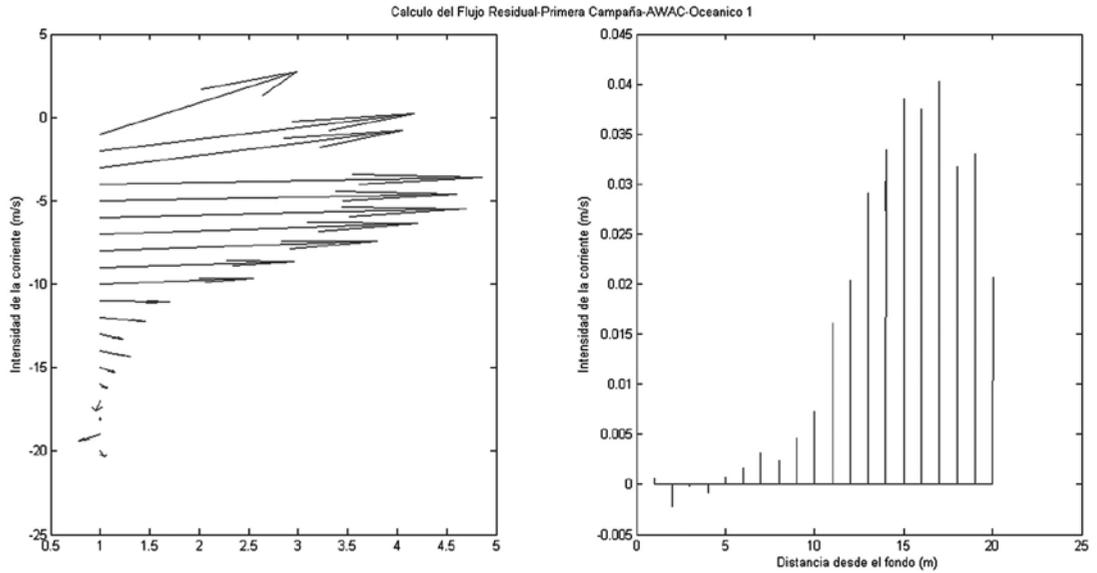
En la primera campaña las corrientes resultantes de todo el período de estudio permitieron observar para el ADCP 1 una dirección predominante, desde la superficie hasta los 20 m de profundidad, hacia el este con valores entre 3 y 4 cm/s. Por debajo de los 10 m de profundidad los valores se encontraron alrededor de 0.5 cm/s o menos, presentado un giro en sentido horario. Los flujos resultantes para el ADCP 2, presentaron

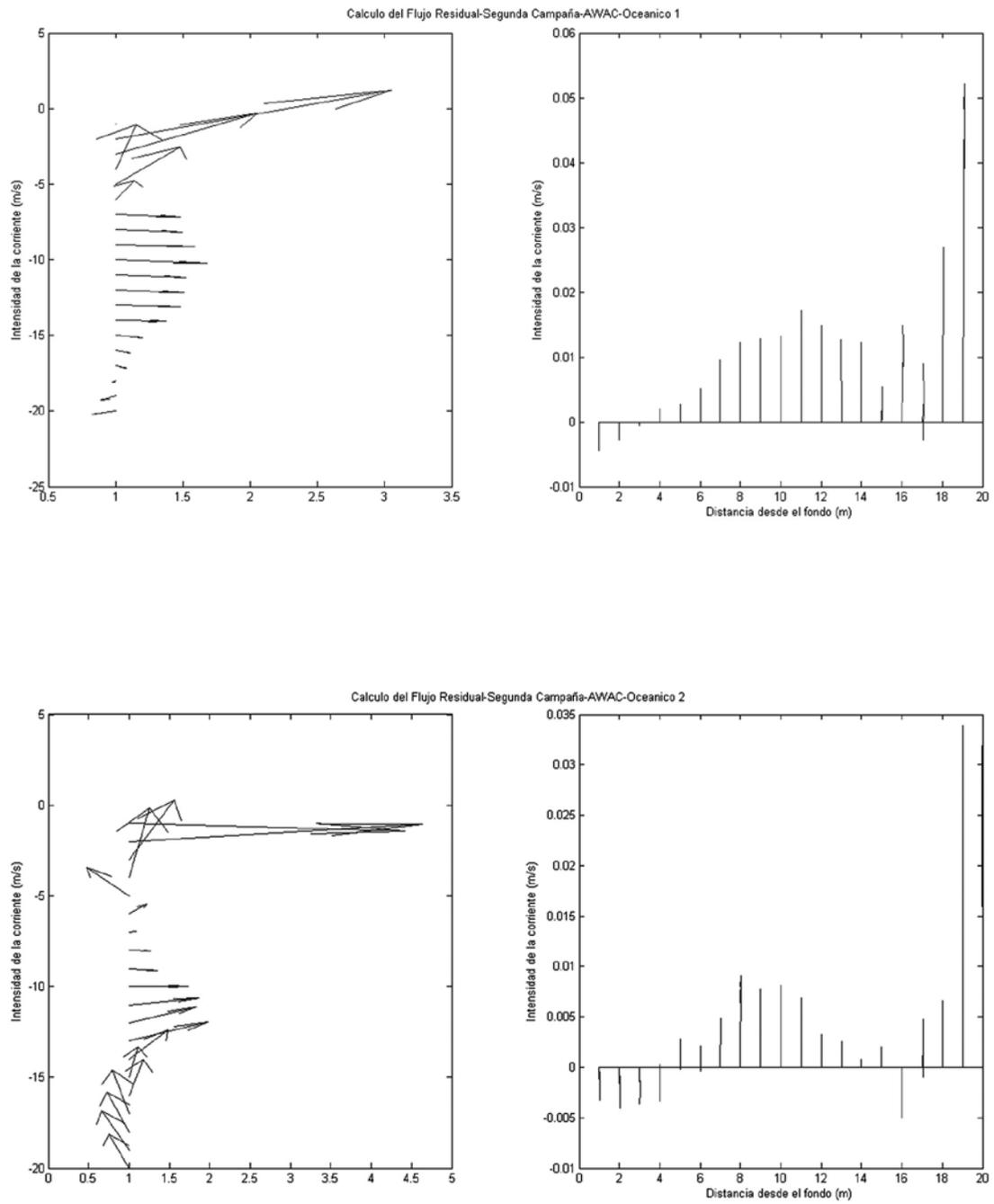
una dirección predominante hacia el este entre la superficie y los 10 m de profundidad, y noroeste entre los 10 m y el fondo. Los valores resultantes se encontraron entre 0.4 y 1.6 cm/s (Fig. 17).

Durante la segunda campaña las corrientes resultantes permitieron observar para el ADCP 1 una dirección predominante, desde la superficie hasta los 20 m de profundidad, hacia el este con valores entre 1 y 6 cm/s. Por debajo de los 5 m de profundidad los valores se encontraron

aproximadamente entre 0.6 cm/s y en descenso. El ADCP 2 registró valores de corrientes resultantes en dirección este; desde la superficie hasta los 15 m de profundidad se observó un

cambio de dirección hacia el noroeste de los 15 m a los 20 ms de profundidad. En estas observaciones los valores resultantes se encuentran entre 0.6 y 3.5 cm/s (Fig. 17).



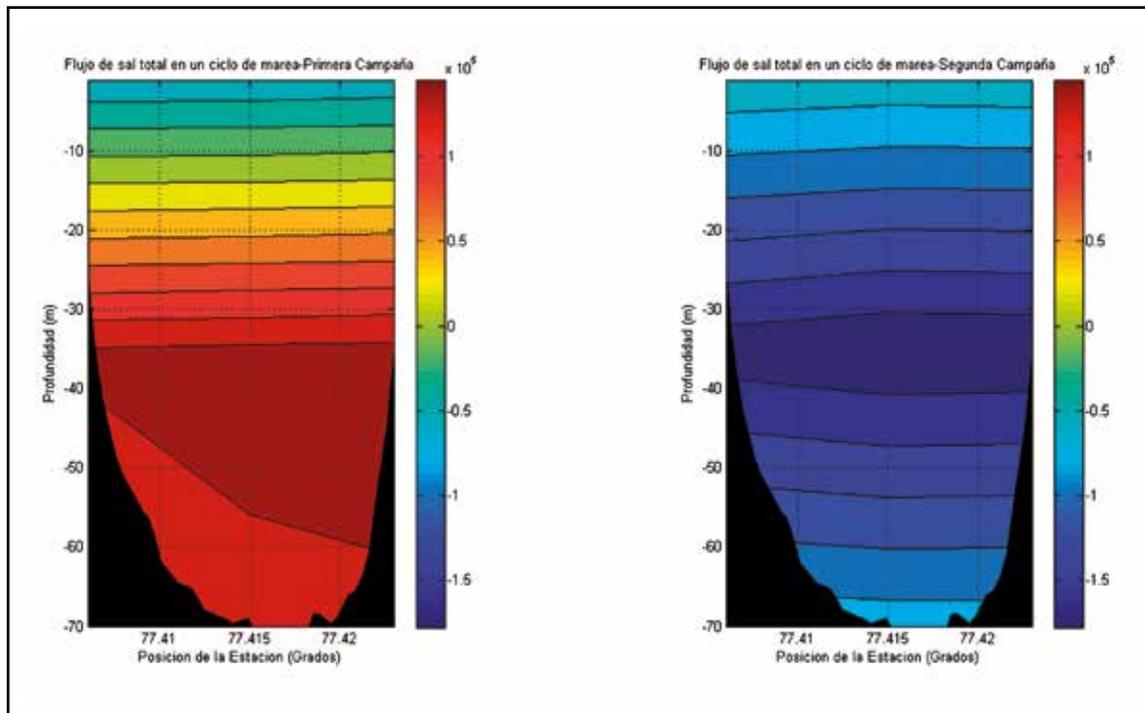


**Figura 17.** Gráfica de corrientes residuales.

• **Balance de sal**

Durante la primera campaña el valor de flujo de sal en marea llenante fue de  $1.2 \times 10^4$  (m /s)\*C en la capa superficial; en la capa media el cálculo arroja un valor de  $2.3 \times 10^4$  (m /s)\*C, y de  $2.5 \times 10^4$  (m /s)\*C en el fondo. Para el cálculo de valores de flujo de sal en marea vaciante se obtuvo un valor de  $1.7 \times 10^4$  (m /s)\*C en la capa superficial;  $1.8 \times 10^4$  (m /s)\*C en la capa media, y de  $2.1 \times 10^4$  (m /s)\*C en el fondo. El flujo de sal residual en la primera campaña fue de  $-0.4 \times 10^4$  (m /s)\*C para la capa superficial;  $-0.5 \times 10^4$  (m /s)\*C para la capa superficial;  $1.4 \times 10^4$  (m /s)\*C y  $1.3 \times 10^4$  (m /s)\*C, para la capa media y de fondo, respectivamente (Fig. 18).

En los cálculos que se realizaron para la segunda campaña el valor de flujo de sal en marea llenante fue de  $1.5 \times 10^4$  (m /s)\*C, en la capa superficial; en la capa media el cálculo arroja un valor de  $2.3 \times 10^4$  (m /s)\*C, y de  $2.5 \times 10^4$  (m /s)\*C en el fondo. Para el cálculo de valores de flujo de sal en marea vaciante se obtuvo un valor de  $1.9 \times 10^4$  (m /s)\*C en la capa superficial;  $4.0 \times 10^4$  (m /s)\*C en la capa media, y de  $3,2 \times 10^4$  (m /s)\*C en el fondo. El flujo de sal residual en la primera campaña fue de  $-0.4 \times 10^4$  (m /s)\*C para la capa superficial;  $-1.7$  (m /s)\*C y  $-0.6 \times 10^4$  (m /s)\*C para la capa media y de fondo, respectivamente (Fig. 18).



**Figura 18.** Balance de sal en un ciclo mareal completo.

**DISCUSIÓN**

• **Influencia de la marea sobre las corrientes**

La influencia de la marea en las corrientes oceánicas de una bahía, entendiendo la misma como un accidente geográfico que tiene un cuerpo

de agua entre dos cabos o salientes geográficas, tiene un impacto variable, teniendo en cuenta los factores físicos que intervienen en el desarrollo de ese movimiento dinámico. La marea tiene una tendencia a perder fuerza en las áreas medias de los océanos, pero al llegar a las costas tiene una tendencia a ampliar su rango de variabilidad para propagarse en aguas de influencia continental y cercanas a la costa.

El océano Pacífico colombiano se caracteriza por presentar un rango de marea entre macromareal y mesomareal con comportamiento semidiurno [8]. En el área de estudio, la bahía de Solano, se observó un régimen de mareas semidiurno y rango de marea mesomareal, de acuerdo con los resultados obtenidos de los datos analizados. Sin embargo, en el área caracterizada no se cuenta con equipos de medición y registro de mareas permanente, ni existen estaciones mareográficas, lo que de existir, permitiría registros más largos en el tiempo; suficientes para realizar un análisis armónico y determinar con ello las principales componentes de la marea. No obstante, la comparación de los datos de marea medidos en campo coinciden en amplitud y fase con el pronóstico de pleamares y bajamares del Ideam.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que las mareas de la bahía de Solano tienen una influencia muy marcada en la corriente de la bahía, teniendo en cuenta la diferencia entre los dos flujos y los dos reflujos del ciclo de mareas, esto hace que la corriente se pueda clasificar como mixta [9]. Lo mismo se corroboró en las mediciones de corriente efectuadas con el ADCP, en las cuales se apreció cuáles son los patrones de movimiento hidrodinámico durante el ciclo de marea. Teniendo en cuenta el patrón de movimiento y las direcciones durante la marea llenante y la marea vaciante, se observó una relación corriente-marea en el orden de sus movimientos. Los datos de corriente registrados permitieron conocer el cambio de dirección de las corrientes y los efectos que tiene el cambio del ciclo mareal sobre las mismas.

El comportamiento de la marea en esta área es el típico esperado en una bahía de configuración geográfica con esas características geomorfológicas, en donde las dos penínsulas forman una entrada y una salida del agua de mar con tendencias simétricas. Esto hace que la hidrodinámica obedezca a un patrón sujeto a la batimetría y a la configuración del lecho marino, empero de la pendiente pronunciada en el sector occidental de la bahía, la planicie mareal al interior de la bahía y la saliente pronunciada de Punta Lana.

En las observaciones y en los registros medidos con el correntómetro utilizado en modo *bottom track* se observa que la corriente de ingreso por el costado oriental de la bahía sigue un recorrido con tendencia a rodear la geografía de la península, teniendo en cuenta que la corriente de salida en todas las observaciones presenta una dirección hacia el norte, relacionando este patrón de movimiento con el ciclo mareal. En la parte de

la velocidad de la corriente y de acuerdo con las mediciones realizadas con los ADCP, también se aprecia que, por efectos de la batimetría y en los sitios de menor profundidad y cercanos a la línea de costa, la velocidad de la corriente tiende a aumentar en las mediciones efectuadas durante la marea llenante. Estos comportamientos fueron similares en ambas campañas.

- **Balance de sal en el ciclo de marea**

Los datos registrados por la boya de oleaje ubicada al exterior de la bahía de Solano permitieron determinar una dirección predominante proveniente del suroeste con alturas entre 0.6 y 1.4 m de altura significativa [10]. Este marcado resultado permite relacionar la dirección del oleaje con la entrada de la marea, la cual al impactar la costa genera un efecto de difracción en la onda mareal. Los cálculos realizados a partir de las intensidades de corriente residual después de un ciclo de marea, medidos en el área de cada celda con su valor de salinidad registrada en los perfiles que fueron medidos con CTD demostraron que durante la primera campaña el valor de flujo de sal residual calculado fue de balance negativo en las capas superficiales y positivo en las capas media y fondo. Con base en estos resultados, se puede decir que después de un ciclo de marea la bahía de Solano exporta la concentración de salinidad desde la bahía hacia el océano; además de la influencia ejercida por los vientos que vienen desde el suroeste principalmente, refuerzan la dirección de esta dinámica de corriente en las capas superficiales de la columna de agua, quedando un balance positivo en el medio y fondo, teniendo en cuenta que puede existir una concentración de salinidad más alta después de la haloclina observada durante la primera campaña.

De igual forma, durante la segunda campaña se observan en la capa superficial, media y fondo, valores residuales negativos. Esta condición se debe a los cambios estacionales, diferencias de precipitación, aportes de la cuenca y vientos entre la primera y la segunda campaña, teniendo en cuenta que estos aportes continentales fueron importantes para los primeros metros de la capa superficial.

- **Interacción de variables atmosféricas observadas**

La influencia de las condiciones meteorológicas genera variaciones en la onda, en la altura y en el tiempo de un ciclo de marea; sin embargo, estas condiciones toman su mayor

relevancia teniendo en cuenta su intensidad en función del tiempo, y se cuantifica cuánto pueden repercutir y qué cambios pueden generar en los parámetros físicos.

#### Vientos:

La corriente superficial se vio influenciada por el viento, sobre todo en las observaciones de la velocidad de corriente, en las que se evidenció que en las ocasiones en que el viento aumenta su intensidad en una medida notoria (picos de intensidad) también aumenta la velocidad de la corriente superficial en ese componente. La velocidad de la corriente en la capa media y en el fondo de la columna de agua no tuvo afectación notable a causa de la variación en intensidad de los vientos.

#### Precipitación:

La zona norte del Pacífico presenta los índices más altos de precipitación durante el año. El valor anual alcanza los 6452 mm. Esto se debe a que abarca en su totalidad el departamento del Chocó y a su proximidad con la región selvática de El Darién en Centroamérica; áreas de reconocido aporte a la liberación de calor latente y su consecuente abastecimiento hídrico [8].

Dentro de esta zona se encuentra uno de los puntos más lluviosos del globo, teniendo en cuenta un valor anual de 12717 mm en Lloró (Chocó). Durante cierta época del año es notable la influencia de la baja presión anclada de Panamá o del Darién, la cual registra una continua presencia de núcleos convectivos y sus consecuentes lluvias fuertes, en algunas ocasiones acompañadas de fuertes vientos (vendavales). La precipitación de esta zona es intensa durante todo el año, presenta sus valores más altos entre mayo y agosto; lo cual coincide con la presencia de la ZCIT en esta región del Pacífico. Los mínimos valores se registran durante el primer trimestre del año, época en la cual la ZCIT se encuentra al sur [8].

La corriente superficial también se vio influenciada por la precipitación, en su mayor afectación durante la segunda campaña, donde los valores de temperatura y salinidad variaron de acuerdo con esta interacción. La bahía de Solano no se puede clasificar con parámetros de estacionalidad climatológica, teniendo en cuenta que durante las dos épocas de trabajo de campo hubo alta influencia de esta variable, aunque se observó que en el segundo semestre del año se presentaron mayores registros de precipitación,

teniendo en cuenta la ubicación de la ZCIT para esta época del año en la región norte del Pacífico colombiano.

Teniendo en cuenta los registros de precipitación tomados en campo durante las dos campañas, en la primera se observó un valor de 30.92 mm durante los 5 días del registro, proyectando este valor a un mes (30 días) se obtiene un estimado de 185.92 mm de precipitación aproximada. En la segunda campaña el valor observado fue de 68.45 mm, el estimado a un mes sería entonces de 410.7 mm, aproximadamente. Lo anterior refuerza el análisis climatológico previo, donde se asocian las mayores épocas de lluvia con la presencia de la ZCIT alrededor de agosto.

#### • **Variación del campo termohalino por el efecto de la marea y el clima**

De acuerdo con los registros y los análisis realizados de estas dos variables, la distribución de la temperatura y la salinidad es uniforme, espacialmente y a lo largo del ciclo de marea se evidencian ligeras variaciones en la termoclina y en la haloclina en profundidad. Durante el ciclo de marea vaciante se registraron temperaturas ligeramente superiores en las capas superficiales, esto puede deberse al aporte de la quebrada Jella, la cual, por ser de poca profundidad, tiene tendencia a ser de aguas más cálidas.

La salinidad se vio influenciada por la variación de la precipitación y de los aportes continentales, sobre todo durante la segunda campaña, donde los registros de humedad relativa alcanzaban el máximo valor todos los días de la medición, haciendo que la precipitación fuera mayor y, por ende, sumado a los aportes continentales; los valores de salinidad variarán en razón a ello. Igualmente, se observó esta influencia en la temperatura del agua de mar.

### **CONCLUSIONES**

- En la bahía de Solano la presencia de cambios en los valores de las variables climatológicas producen cambios en la velocidad de la corriente y su curso se encuentra regido por la variación de la configuración del fondo marino y la influencia del ciclo mareal.
- Las corrientes también pueden alcanzar valores de intensidad y velocidad más altos que los registrados durante el trabajo de campo, al estar las mismas asociadas al régimen dinámico de las mareas.

- La precipitación, aportes continentales y los vientos influyen la variación de las corrientes superficiales, lo que hace que la salinidad varíe en función de este comportamiento, al igual que la temperatura.
- Las corrientes residuales de la bahía de Solano demuestran intensidades pequeñas, motivadas principalmente porque el área caracterizada se encuentra en la parte más interna de la bahía.
- Se concluye que la bahía de Solano es una bahía netamente exportadora, evaluada con base en el balance de sal a lo largo de un transepto cerca de la cabeza de la bahía; sus concentraciones de salinidad se ven influenciadas por efecto de la corriente, la fuerza que ejercen los vientos en sus capas superficiales y por la dinámica mareal.

#### LITERATURA CITADA

- [1] CCCP. Ficha técnica del proyecto: Proyecto calidad de aguas a realizarse en Bahía Solano y Bahía Cupica; Fase I mayo-junio de 2013, Fase II agosto-septiembre. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. San Andrés de Tumaco; 2013.
- [2] GELT. 2014. Alcaldía de Bahía Solano – Chocó. Información General e Identificación del Municipio. Gobierno en Línea del Orden Territorial. [Consultado en septiembre 10 de 2013]. Disponible en: [http://www.bahiasolano-choco.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.bahiasolano-choco.gov.co/informacion_general.shtml).
- [3] IGAC. Cartografía Oficial de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013.
- [4] Ideam. 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [Consultado en enero 02 de 2014]. Disponible: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>.
- [5] Ideam. Pronóstico de Pleamares y Bajamares Costa Pacífica Colombiana. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; 2013.
- [6] Pickard G, Emery W. Descriptive Physical Oceanography, An Introduction; 2003.
- [7] Stineman R. Creative Computing. A Consistently well-Behaved Method of Interpolation; 1980.
- [8] CCCP. Compilación Oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana. Dirección General Marítima, Centro de Control y Contaminación del Pacífico; 2002.
- [9] SHOA, 2002. Glosario de Marea y Corrientes. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. [Consultado en octubre 12 de 2013]. Disponible en: <http://www.shoa.cl/servicios/descargas/pdf/Pub3013.pdf>.
- [10] CCCP. Informe técnico 'Compilación anual de variables oceano-atmosfericas'. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. San Andrés de Tumaco; 2014.