

Algunas características de las corrientes marinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Omar G. Lizano & Eric J. Alfaro

Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria (DFAOP), Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. Apartado 2060. San José, Costa Rica; olizano@cariari.ucr.ac.cr

Recibido 29-IV-2004. Corregido 01-VII-2004. Aceptado 16-VIII-2004.

Abstract: The spatial and vertical structure of the water currents and its relationship with the tidal cycles were studied using current meters in the Gulf of Nicoya. In the upper gulf, the vertical marine current differences increase as the depth increases. The water column at the station near Chira Island (upper gulf) shows the smaller changes in currents and in temperature. The flow at the station between San Lucas Island and Puntarenas (middle gulf) is the most stratified in this region. Currents with magnitudes over 100 cm/seg were measured during spring tides. Changes in the lags of the surface and bottom tidal flows were measured on the order of 100 minutes. In general, in this upper region the flows are toward the head of the gulf when the tide is flooding and toward the mouth when the tide is ebbing. In the lower gulf the circulation is more complex. Along an axis between Tárcoles and Negritos Islands, changes of velocity vectors are identified between surface and bottom. The current rotates in a different way in the water column in this region and their patterns cannot be explained only by the tidal cycles predicted for Puntarenas. These results demonstrate that the spatial and vertical variation of the marine currents of the Gulf of Nicoya is not only related to the thermohaline structure, but also to the tidal cycles and tide ranges that take place in this estuary.

Key words: estuarine currents, Gulf of Nicoya, tidal cycles, sea water temperature, Costa Rica.

Muchas investigaciones (Vargas 1995) se han realizado en el Golfo de Nicoya desde el primer estudio de Peterson (1958). Según los estudios de productividad primaria (Gocke *et al.* 2001), este cuerpo de agua es uno de los estuarios más productivos en el mundo. Su dinámica ha sido estudiada indirectamente a través de los análisis de la distribución de parámetros físico-químicos (Voorhis *et al.* 1983, Klemas *et al.* 1983, Valdés *et al.* 1987, Lizano & Vargas, 1993; Brenes *et al.* 1996 y Brenes *et al.* 2001). Mediciones puntuales de las corrientes marinas superficiales y subsuperficiales y a través del ciclo de marea, son muy escasas en el Golfo de Nicoya. Mediciones con correntímetros se realizaron durante el estudio de Voorhis *et al.* (1993) en dos puntos a lo largo de eje del

golfo en la parte externa y durante un período completo de marea (aproximadamente 12 horas). Ningún otro estudio se ha realizado para medir directamente las corrientes a lo largo y a través del golfo. Estas son de importancia para calcular transporte o balance de agua, nutrientes, contaminantes y organismos marinos (Dittel *et al.* 1991), que ingresan o salen de estos estuarios. El conocimiento de la estructura vertical y de la distribución espacial de las corrientes marinas sirve para que modelos numéricos de circulación locales (Murillo 1983, 1990; León *et al.* 1997) comparen y/o ajusten resultados. Por otro lado, el conocimiento de las corrientes estuarinas es importante además, en estudios sobre dispersión y tiempos de residencia de elementos contaminantes producto de actividades

antropogénicas que ingresan a la columna de agua del Golfo de Nicoya.

En este trabajo se presentan mediciones de corrientes en la superficie y el fondo en el Golfo de Nicoya. Se estudia la relación de estas corrientes con los ciclos y los ámbitos de las mareas con referencia a predicciones para Puntarenas. Este estudio permite además, definir la circulación a través de la columna de agua en la parte externa, cuyo patrón particular ha sido solo inferida desde la estructura termohalina o modelada numéricamente en estudios anteriores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Mediciones de corrientes en superficie (aproximadamente a 1 metro de profundidad) y en el fondo (a 2 metros desde el fondo) fueron realizadas a lo largo del eje del golfo durante 5 campañas oceanográficas entre marzo del 2000 y noviembre del 2002 utilizando correntímetros. La embarcación Kais (CIMAR-UCR), con motor fuera de borda (65HP) de 7 metros de eslora, fue utilizada durante estas campañas.

Los muestreos fueron realizados alrededor de las bajamares y altamares y a la mitad de estos ciclos. Para definir estas fases se usó la tabla de predicción de las mareas para Puntarenas. Se usaron mini-correntímetros SD-6000 Sensordata, anclados por al menos $1/2$ ciclo de marea en las estaciones. Este instrumento registra además de la temperatura, el campo de corrientes como un promedio de los vectores de velocidad (“vector averaging”) en un tiempo asignado (5 minutos). Estos mini-correntímetros fueron diseñados para reducir el flujo oscilatorio introducido por las olas en superficie (Emery & Thomson 2001).

Las profundidades en las estaciones fueron determinadas desde la carta batimétrica No. 21544 (Anónimo 1984). Algunas fueron verificadas con una ecosonda portátil o por medición directa desde la Kais mediante cuerda y plomada.

La posición de los medios ciclos (alta, baja) y cuartos de ciclo de la marea (mitad de la

marea de alta a baja y mitad de la marea de baja a alta), fue señalada en los gráficos de los registros de los correntímetros con ayuda de la tabla de la predicción de marea respecto a Puntarenas del National Ocean Service (NOS) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos de América. Las coordenadas geográficas de cada estación fueron determinadas con un posicionador de satélite GARMIN-GPS 12 XL cuya precisión menor es de 4 m. Esta información se presenta en el Cuadro 1 y sus posiciones se muestran en la Fig. 1.

RESULTADOS

Alrededor de 18 grupos de series de tiempo de vectores de velocidad, direcciones y temperaturas, fueron analizadas en este estudio. Se presentan solo aquellas series más completas, representativas y confiables (sin error perceptible de ruido externo en las mediciones) de las estaciones muestreadas. Sus características más importantes son resumidas en el Cuadro 2.

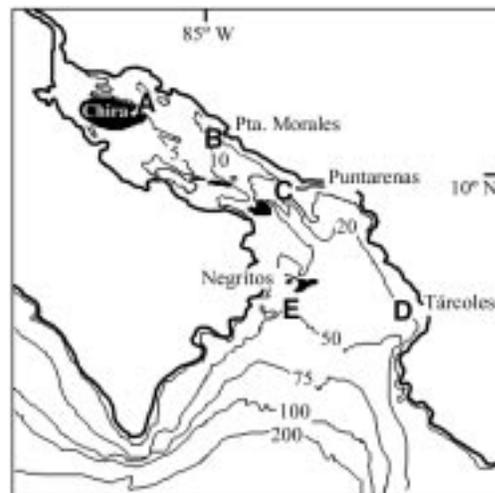


Fig. 1. Área de estudio, Golfo de Nicoya. Costa Rica. Estaciones: A, B, C, D, E.

CUADRO 1
Información sobre estaciones de muestreo, Golfo de Nicoya, Costa Rica

Estación	Nombre	Posición	Prof. (m)
A	Chira (Chir)	10°06'40.3"N/85°05'56.0"W	08
B	Cortezas (Cort)	10°03'45.0"N/84°58'48.0"W	19
C	San Lucas-Puntarenas (Sluc)	09°57'09.6"N/84°52'25.3"W	44
D	Tárcoles (Tarc)	09°46'58.8"N/84°40'30.6"W	34
E	Negritos (Negr)	09°46'58.7"N/84°50'37.5"W	48

CUADRO 2
Características de las series de las variables medidas en el Golfo de Nicoya

Fecha de muestreo	14 feb, 02		23 mar, 00		10 ago, 00		20 set, 01		30 nov, 00		01 dic, 00	
	Chir/s*	Chir/f	Cort/s	Cort/f	Sluc/s	Sluc/f	Sluc/2s	Sluc/2f	Tarc/s	Tarc/f	Negr/s	Negr/f
T(°C)**												
Tmin	29.2	28.85	26.85	25.95	26.95	25.05	27	23.6	27.75	23.55	27.8	20.9
Tprom	30.14	29.33	28.49	26.88	27.78	25.36	27.54	25.56	28.56	25.10	29.27	22.08
Tmax	31.45	33.8	35.9	27.8	28.25	27.7	28.8	26.95	32.45	27	31.2	27.05
V(cm/s)***												
Vmin	3	2.2	2.8	3.6	6.8	6.4	6.8	2.6	2.2	4.4	1.8	4.8
Vprom	39.29	26.97	39.45	29.61	31.36	43.37	68.24	52.62	6.92	21.88	12.28	23.79
Vmax	79.2	51.4	80.4	59.2	51	77	112.8	105.4	15.6	39.6	26.8	35.8
Ámbito Marea (cm)												
	259		286		165		357		249		223	

* Chir/s: estación al este de Isla Chira (A) en superficie, Chir/f: Isla Chira (A) en el fondo, etc.

** T(°C): temperatura, Tmin: Temp. mínima, Tprom: Temp. promedio, Tmax: Temp. máxima.

*** V(cm/s): velocidad de la corriente, Vmin: vel. mínima, Vprom: vel. promedio, Vmax: vel. máxima.

Parte interna

Corrientes vectoriales: Las mediciones de las corrientes en la estación al este de Isla Chira (estación A, Fig. 1) muestran un leve grado de estratificación entre el flujo de superficie y el del fondo. Esta estratificación es evidente en la diferente magnitud de la corriente que muestra el Cuadro 2 y la dirección de los vectores de velocidad de las Figs. 2A y 3A. Una pequeña diferencia de temperatura entre superficie y fondo (Cuadro 2) respalda también este criterio (ver también Figs. 2C y 3C).

En la estación B, frente a Islas Cortezas (Punta Morales), se encuentra mayor diferencia de las corrientes entre superficie y fondo que en Isla Chira como indica el Cuadro 2 y Figs. 4A y 5A. Como indican estas figuras, mientras se presenta la bajamar en Puntarenas a las 10:59 a.m., aún continuaba saliendo el flujo hacia el exterior del golfo por la superficie por alrededor de 50 minutos (Fig. 4A). En tanto que por el fondo, justo alrededor de la bajamar predicha para Puntarenas, cambiaba la dirección del flujo (quiebre de marea) hacia el interior del golfo (Fig. 5A). Las diferencias

perceptibles en temperatura entre superficie y fondo (Cuadro 2 y Figs. 4C y 5C) apoyan este criterio.

Más evidente es esta estratificación de flujos entre superficie y fondo para el canal entre San Lucas y Puntarenas (estación C), como muestra el Cuadro 2 y las Figs. 6A y 7A. Como se nota en figuras, mientras que en el fondo justo alrededor de la altamar (11:19 a.m.), el flujo comienza a cambiar de dirección (Fig. 7A), en la superficie aún continua subiendo hacia el interior del Golfo por al menos 80 minutos (Fig. 6A).

La excepción a este comportamiento se presentó en setiembre del 2001 en el canal San Lucas-Puntarenas (estaciones Sluc2s y Sluc2f, Cuadro 2), donde a diferencia de los flujos de agosto del 2000 (estaciones Slucs y Slucf, Cuadro 2, Figs. 6 y 7), el flujo en el fondo no cambió justamente alrededor de la bajamar predicha para Puntarenas (09:56 a.m.), sino que a las 10:36 a.m., 40 minutos después, como muestran las Figs. 8. Para ese mismo día la marea en la superficie continuó bajando por alrededor de 140 minutos (2 horas, 20 minutos) después de la hora de la bajamar predicha. Esta diferencia es atribuida al gran ámbito de la marea que se dió para ese día (3.57 m, Cuadro 2), una de las mareas vivas más altas para ese año.

Los problemas del anclaje en este lugar (objetos en el fondo), pudieron haber afectado las mediciones del fondo, por lo que estos resultados se deben analizar con alguna reserva. Las corrientes en esta ocasión sobrepasaron los 100 cm/seg (Cuadro 2), tanto en superficie como en el fondo, valores indicativos de corrientes marinas de gran fuerza.

Dirección promedio de las corrientes:

En el interior del Golfo las corrientes marinas parecen ajustarse al eje de golfo (sureste a noroeste, o viceversa) y al gradiente de profundidad (Fig. 1), mostrando la mayoría, una dirección de entrada de la marea en el cuadrante noroeste (NW), y una dirección de salida de la marea en el cuadrante sureste (SE).

En la estación Chira (A), aunque el cambio o "quebre" de la marea significa una rotación ciclónica (contra las manecillas del

reloj), desde una dirección este-sureste (ESE, Fig. 2B) hasta una dirección norte-noroeste (NNW), el flujo se ajusta rápidamente al eje del golfo.

Para la estación al frente de Cortezas (B), la marea quebró primero en el fondo (Fig. 5A) con una rotación ciclónica. Las direcciones de la velocidad máxima o promedio (Figs. 4B y 5B), mostraron menor dispersión angular en superficie que en el fondo.

Para la estación de San Lucas-Puntarenas (C) mostrada en Figs. 6 y 7, se nota que el quiebre de marea se inició primero en el fondo después de la altamar (aproximadamente 25 minutos después, Fig. 7-A) con una rotación anticiclónica (favor de las manecillas del reloj). La Fig. 6-B muestra una mayor dispersión angular de la corriente en superficie que con respecto al fondo (Fig. 7B). En la rotación anticiclónica del fondo se notan direcciones desde el nordeste (NE), indicando flujos con alguna importancia desde esas direcciones (desde el estero de Puntarenas). En superficie se realizó mientras tanto, una rotación ciclónica con un quiebre de marea que se manifestó unos 90 minutos después de la altamar predicha para Puntarenas (11:19 a.m.).

Durante la marea de gran ámbito del 20 setiembre del 2001 (Cuadro 2), alrededor de la bajamar solo hubo un flujo en superficie hacia fuera del golfo (SSE) durante todos los 240 minutos de mediciones (4 horas). Este continuó así por al menos 2 y $\frac{1}{4}$ horas en la misma dirección después de la baja señalada en Fig. 8A. Por el fondo hubo una rotación, o cambio de dirección, aproximadamente 1 y $\frac{1}{4}$ horas después de la baja predicha para Puntarenas.

Temperatura: Los cambios en temperatura en el interior del golfo son pequeños (1 a 3 grados, Cuadro 2) en la mayoría de estas estaciones, y no muestran una relación identificable con el ciclo de la marea. En las estaciones más interiores (A y B) no se encontró prácticamente estratificación vertical de la temperatura (Figs. 2A y 5C). Estas mediciones se tomaron en la época seca, justamente cuando este estuario se torna más bien pasivo (el flujo entra al interior del golfo cuando la marea

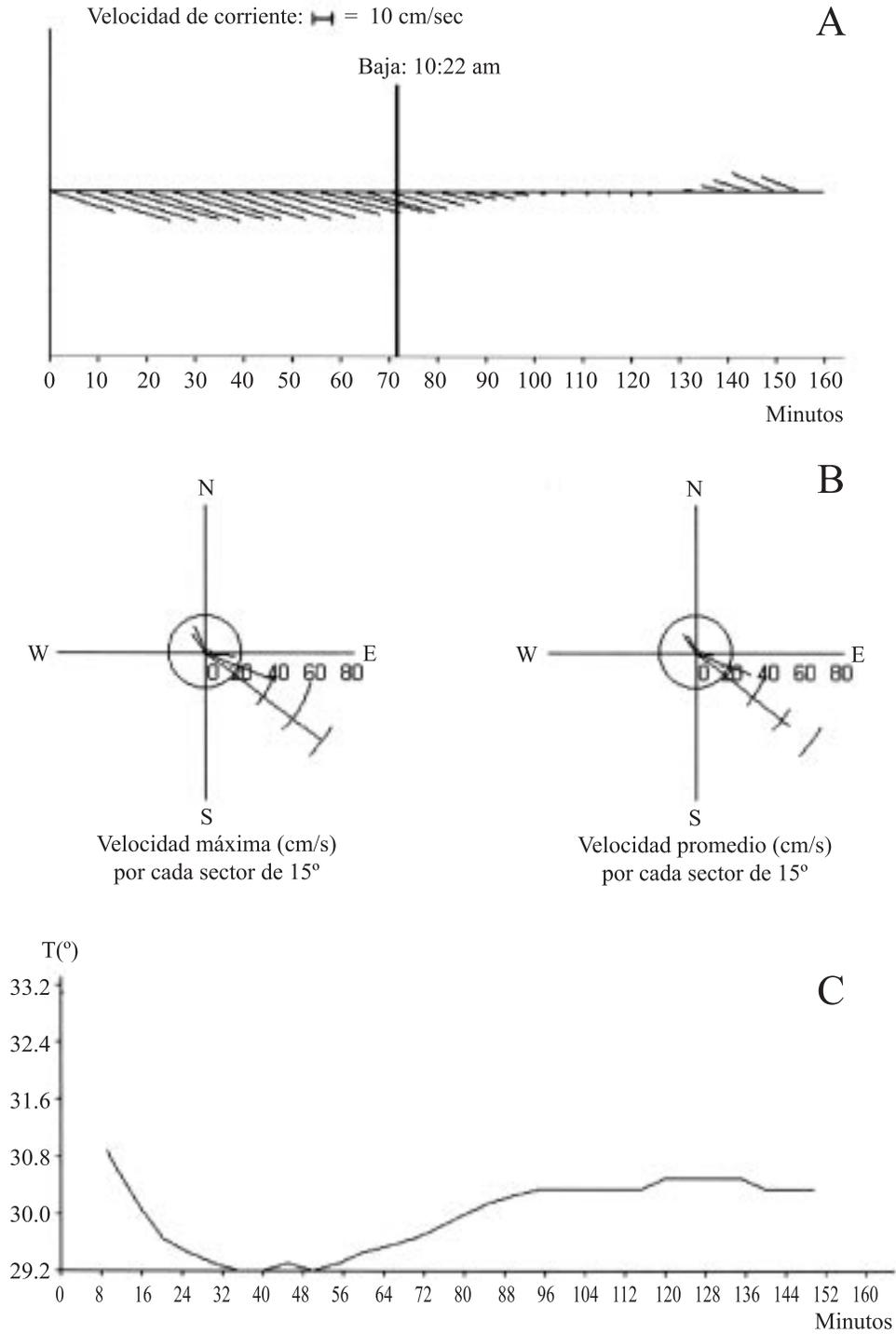


Fig. 2. Corrientes y temperatura en **superficie** en la estación Chira (A) el 14 de febrero del 2002. A: vectores de velocidad de corriente. B: direcciones de las velocidades máxima y promedio por cada 15 grados. C: temperatura (°C). Golfo de Nicoya, Costa Rica.

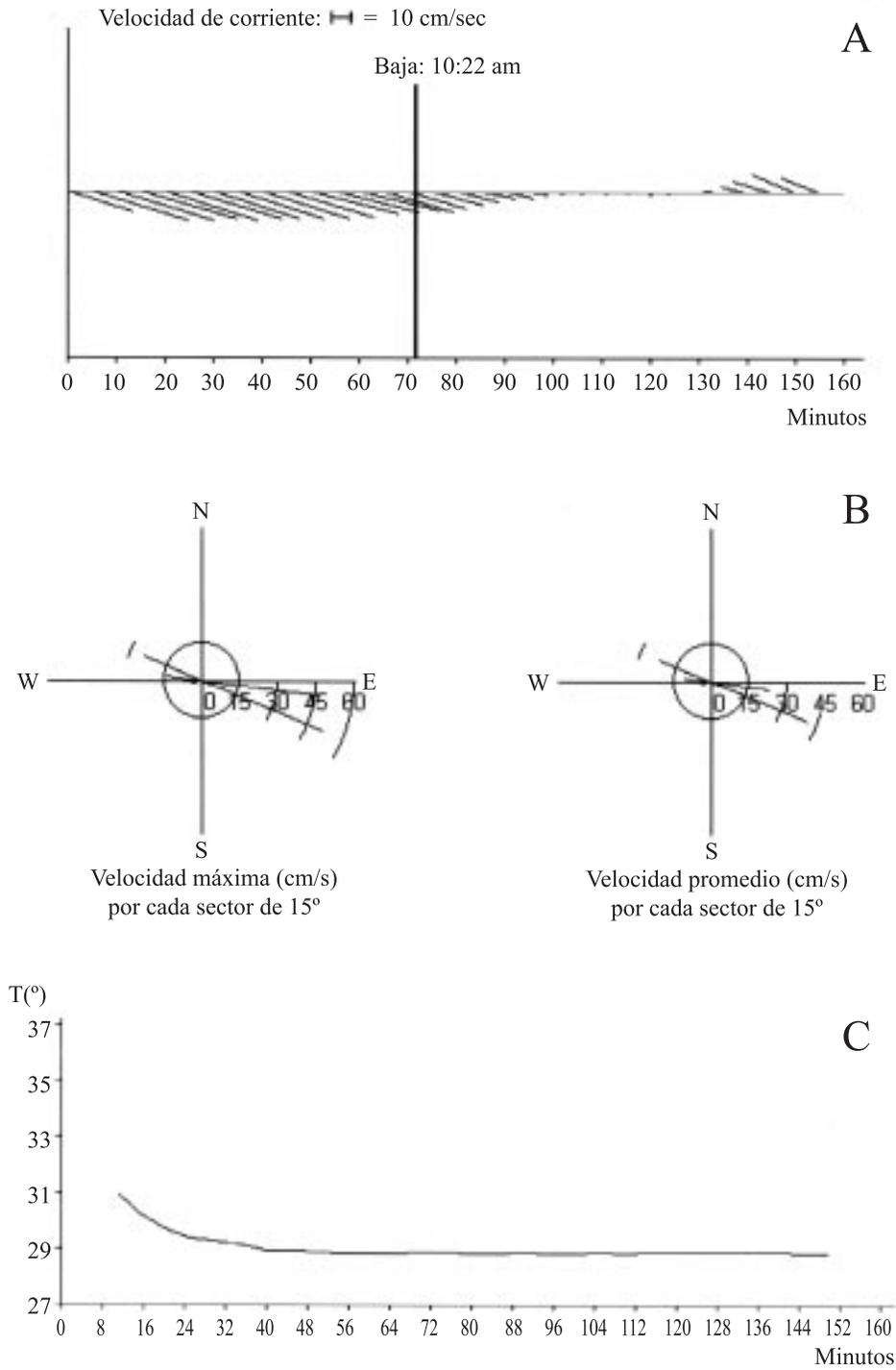


Fig. 3. Corrientes y temperatura en el fondo en la estación Chira (A) el 14 de febrero del 2002. A: vectores de velocidad de corriente. B: direcciones de las velocidades máxima y promedio por cada 15 grados. C: temperatura (°C). Golfo de Nicoya, Costa Rica.

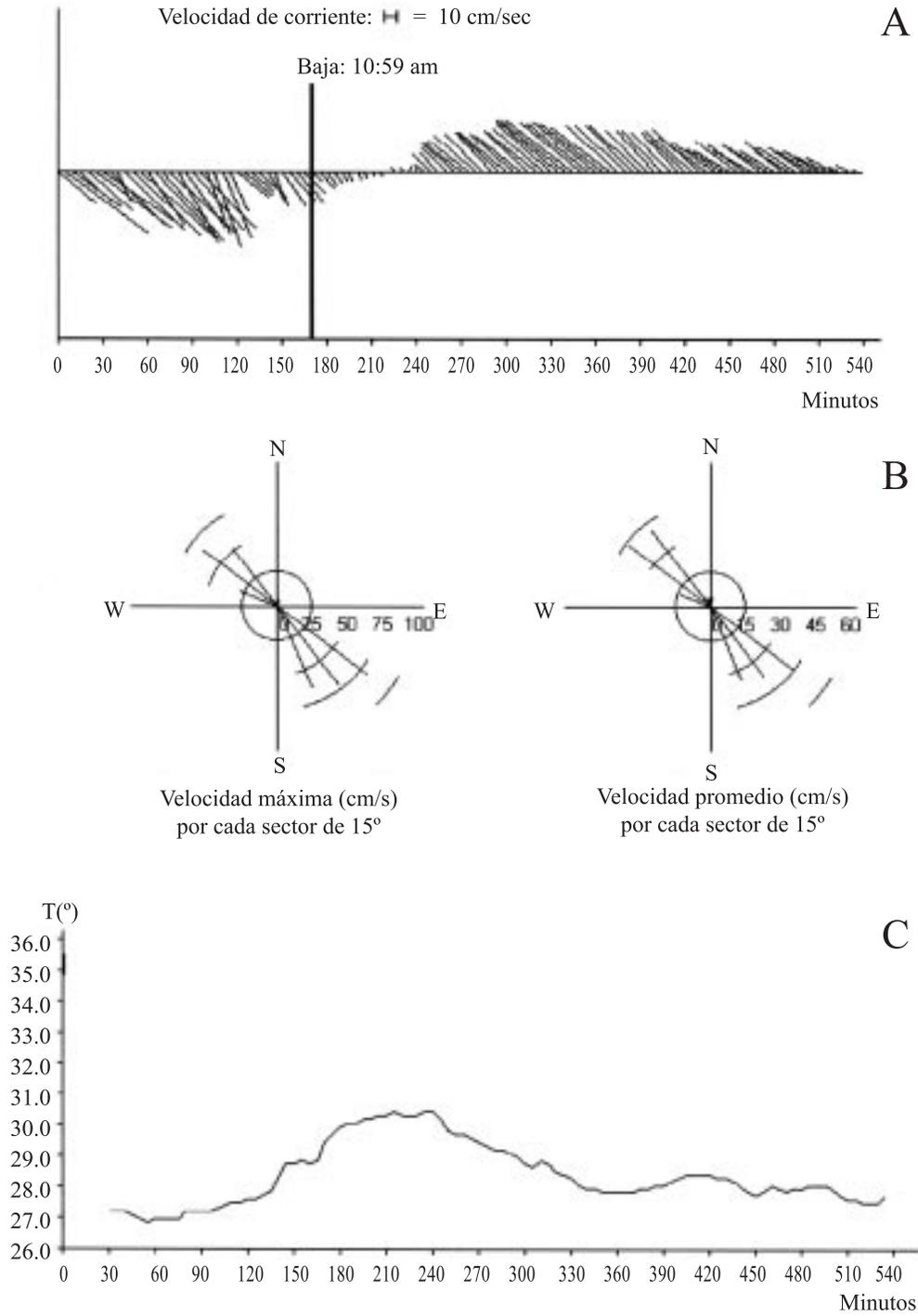


Fig. 4. Corrientes y temperatura en el **superficie** en la estación Cortezas (B) el 23 marzo de 2000. A: vectores de velocidad de corriente. B: direcciones de las velocidades máxima y promedio por cada 15 grados. C: temperatura ($^\circ\text{C}$). Golfo de Nicoya, Costa Rica.

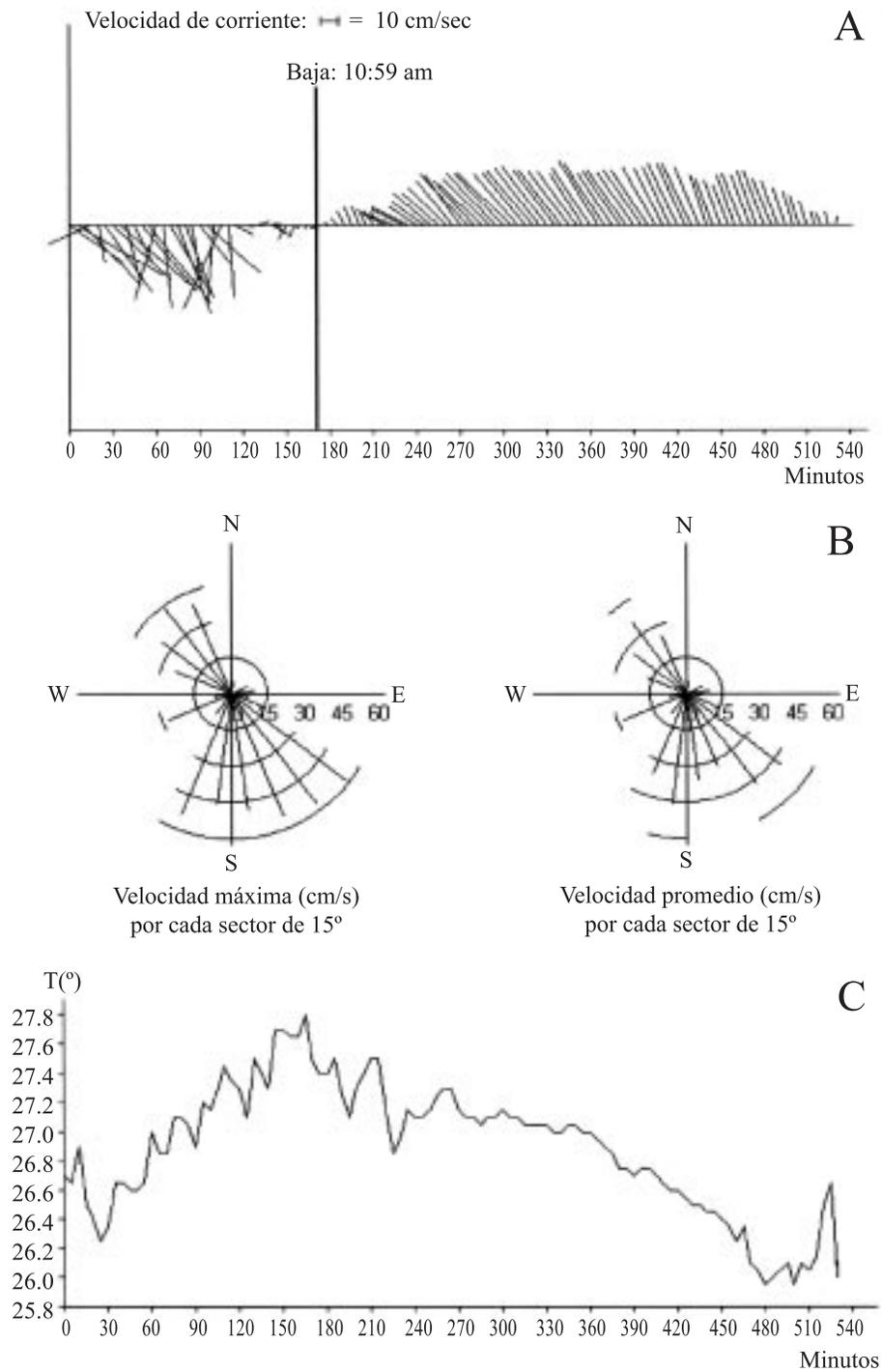


Fig. 5. Corrientes y temperatura en el fondo en la estación Cortezas (B) el 23 marzo de 2000. A: vectores de velocidad de corriente. B: direcciones de las velocidades máxima y promedio por cada 15 grados. C: temperatura (°C). Golfo de Nicoya, Costa Rica.

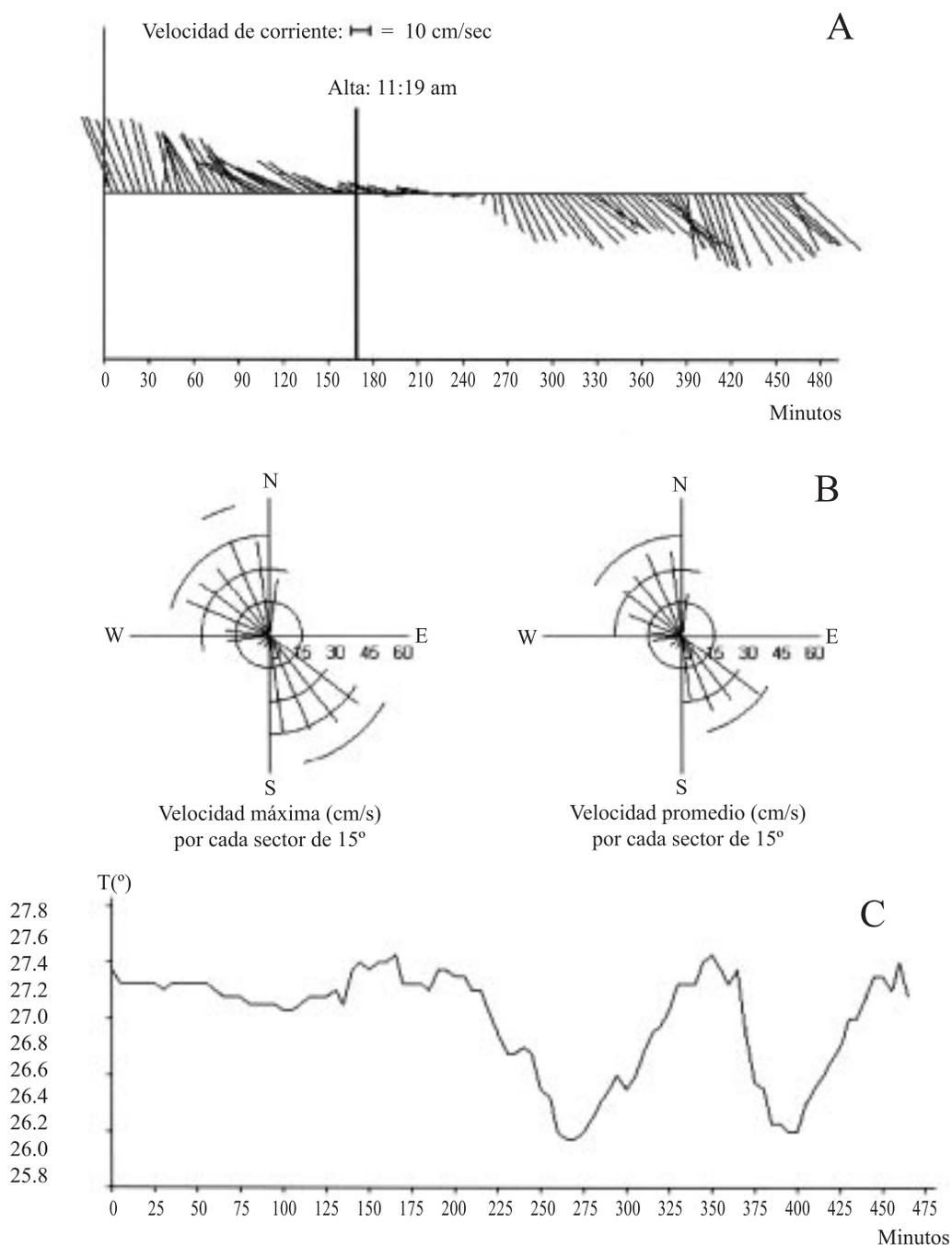


Fig. 6. Corrientes y temperatura en la **superficie** en la estación San Lucas-Puntarenas (C) el 10 de agosto del 2000. A: vectores de velocidad de corriente. B: direcciones de las velocidades máxima y promedio por cada 15 grados. C: temperatura (°C). Golfo de Nicoya, Costa Rica.

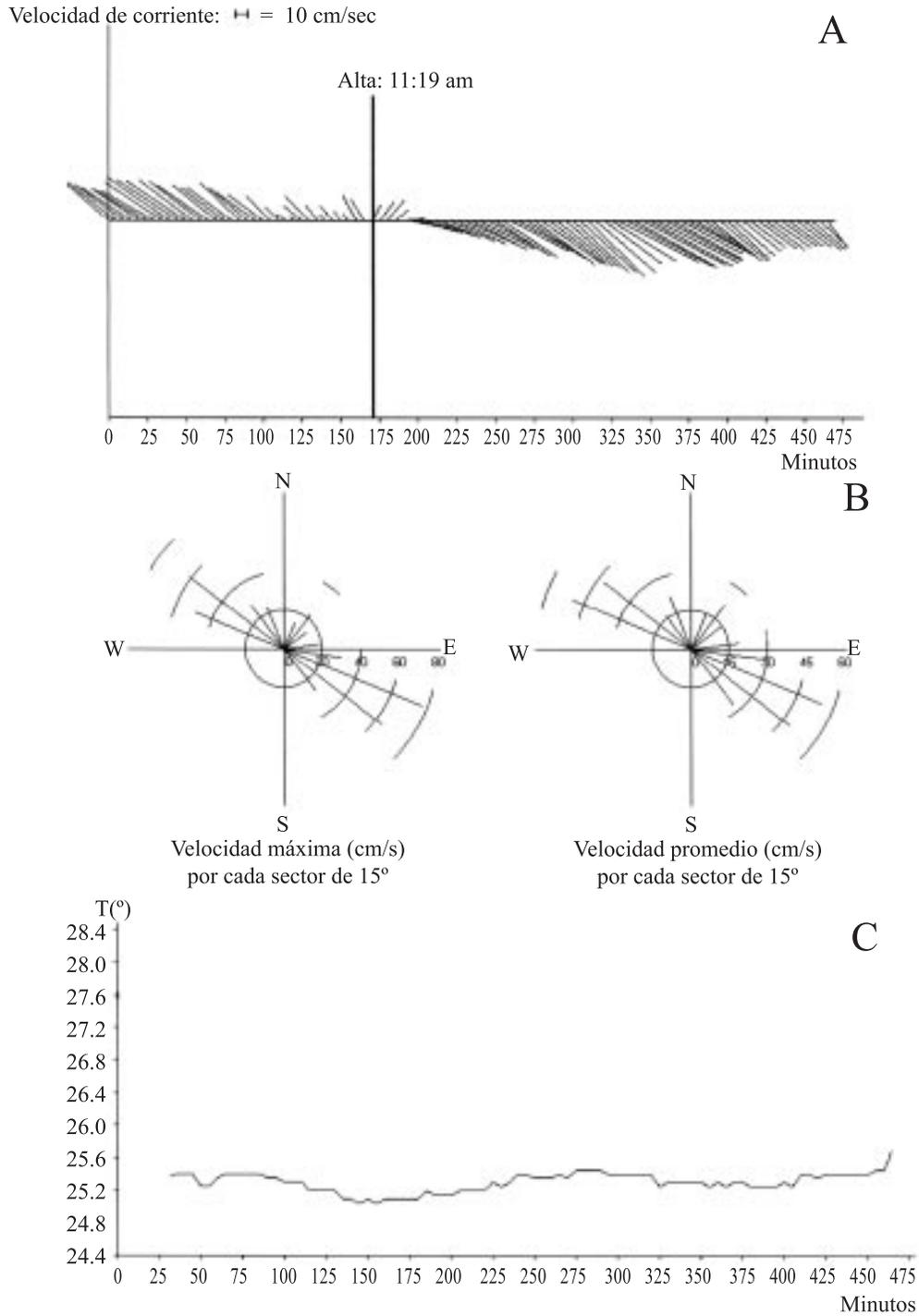


Fig. 7. Corrientes y temperatura en el fondo en la estación San Lucas-Puntarenas (C) el 10 de agosto del 2000. A: vectores de velocidad de corriente. B: direcciones de las velocidades máxima y promedio por cada 15 grados. C: temperatura (°C). Golfo de Nicoya, Costa Rica.

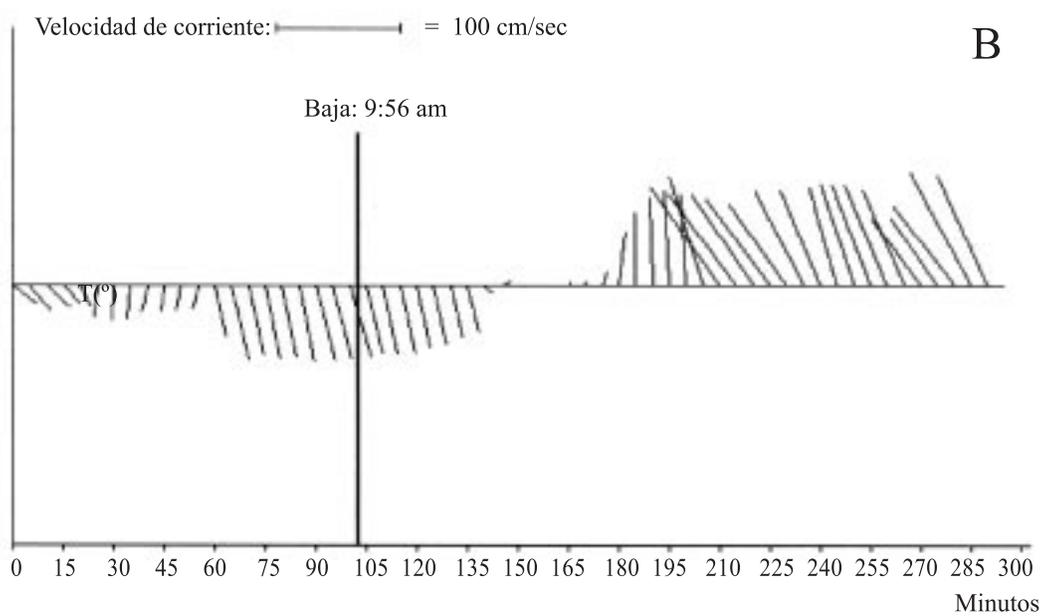
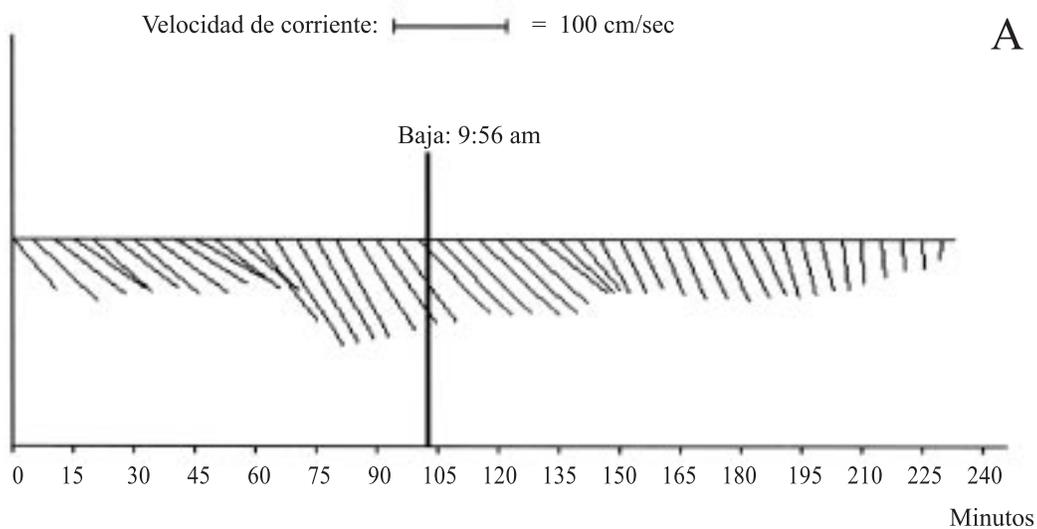


Fig. 8. Corrientes en la **superficie**: A y en el **fondo**: B en la estación San Lucas-Puntarenas (C) el 20 setiembre del 2001. Golfo de Nicoya, Costa Rica.

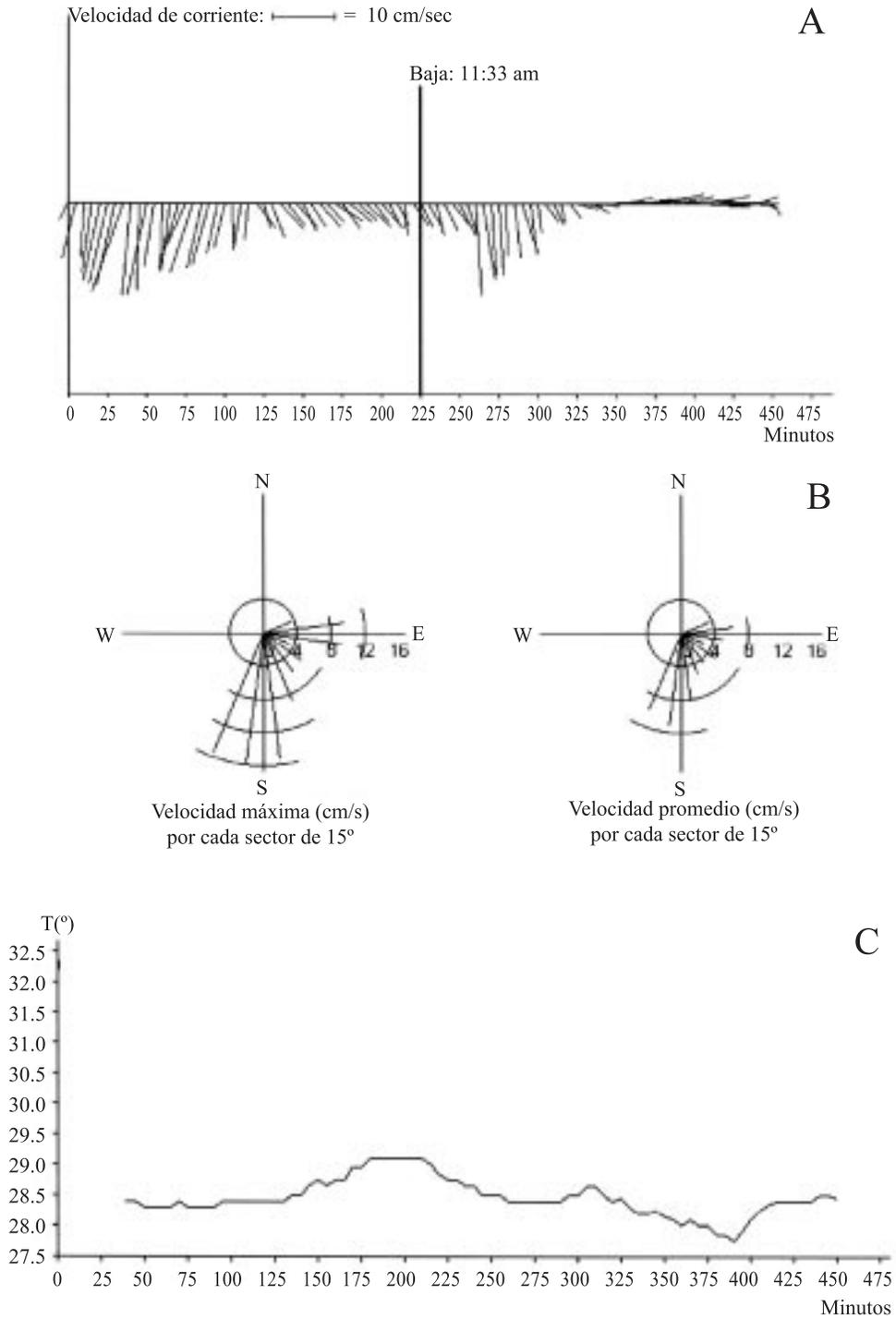


Fig. 9. Corrientes y temperatura en la **superficie** en la estación Tárcoles (D) el 30 de noviembre del 2000. A: vectores de velocidad de corriente. B: direcciones de las velocidades máxima y promedio. C: temperatura (°C). Golfo de Nicoya, Costa Rica.

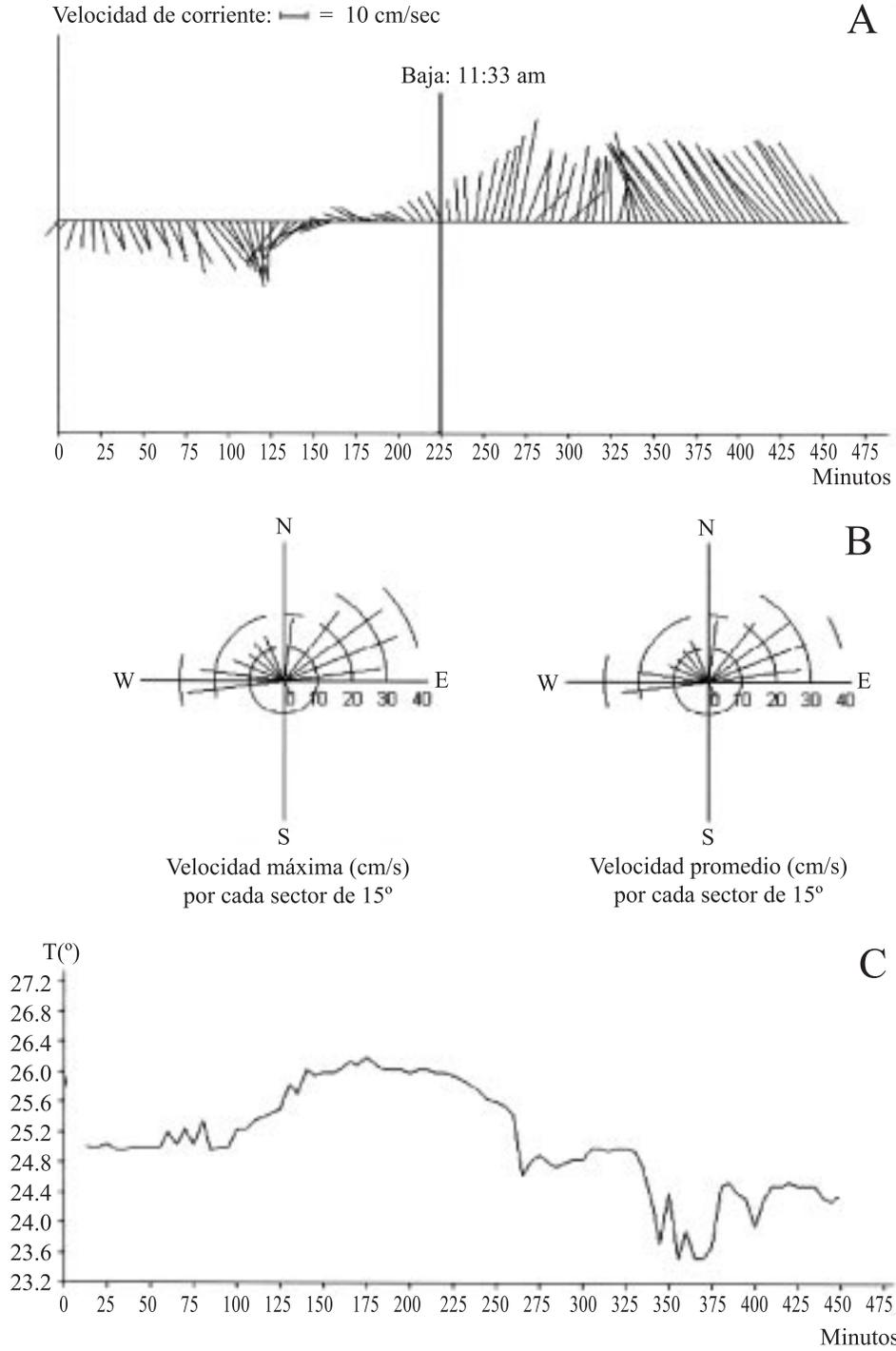


Fig. 10. Corrientes y temperatura en el fondo en la estación Tárcoles (D) el 30 de noviembre del 2000. A: vectores de velocidad de corriente. B: direcciones de las velocidades máxima y promedio. C: temperatura (°C). Golfo de Nicoya, Costa Rica.

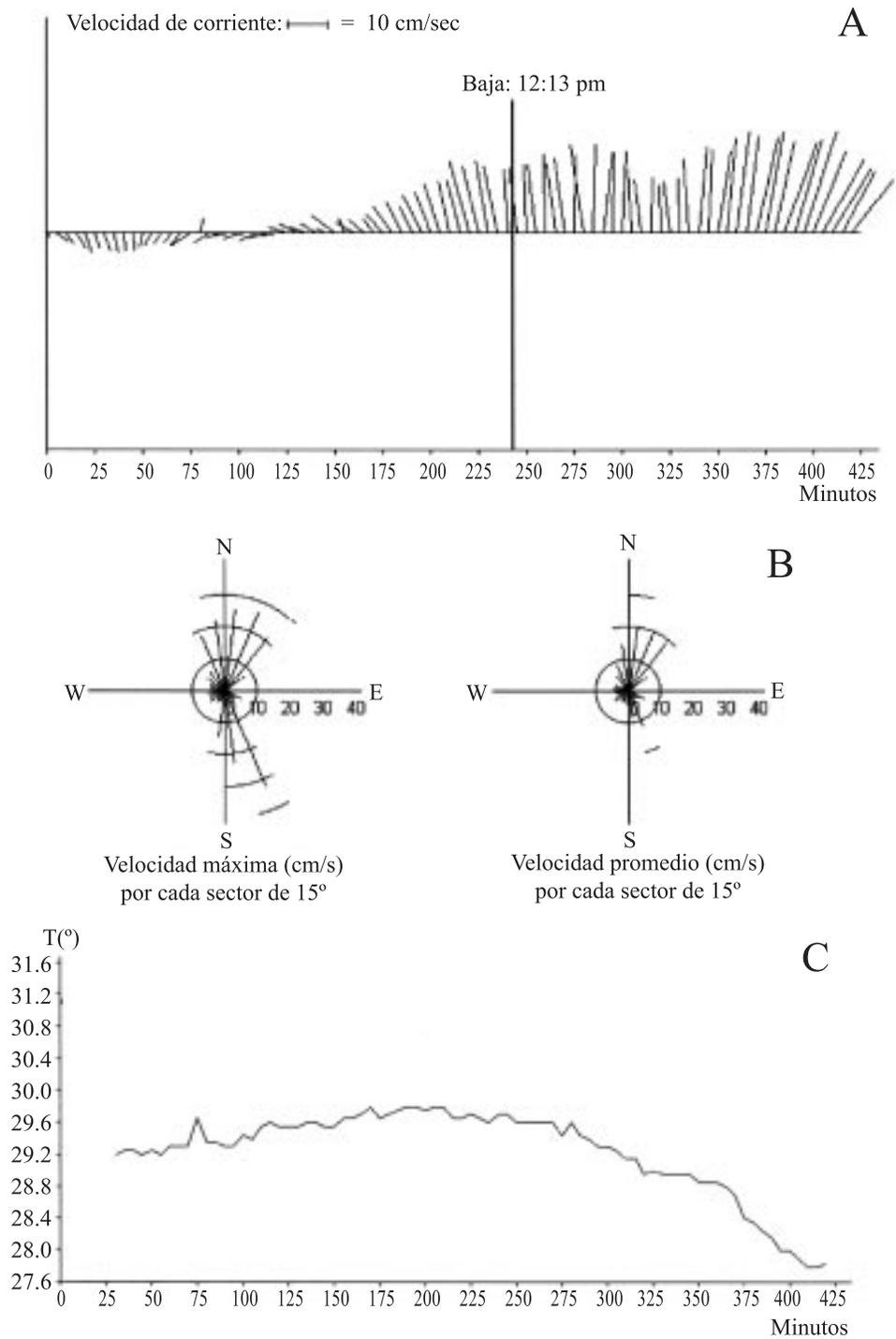


Fig. 11. Corrientes y temperatura en la **superficie** en la estación Negritos (D) el 01 de diciembre del 2000. A: vectores de velocidad de corriente. B: direcciones de las velocidades máxima y promedio. C: temperatura (°C). Golfo de Nicoya, Costa Rica.

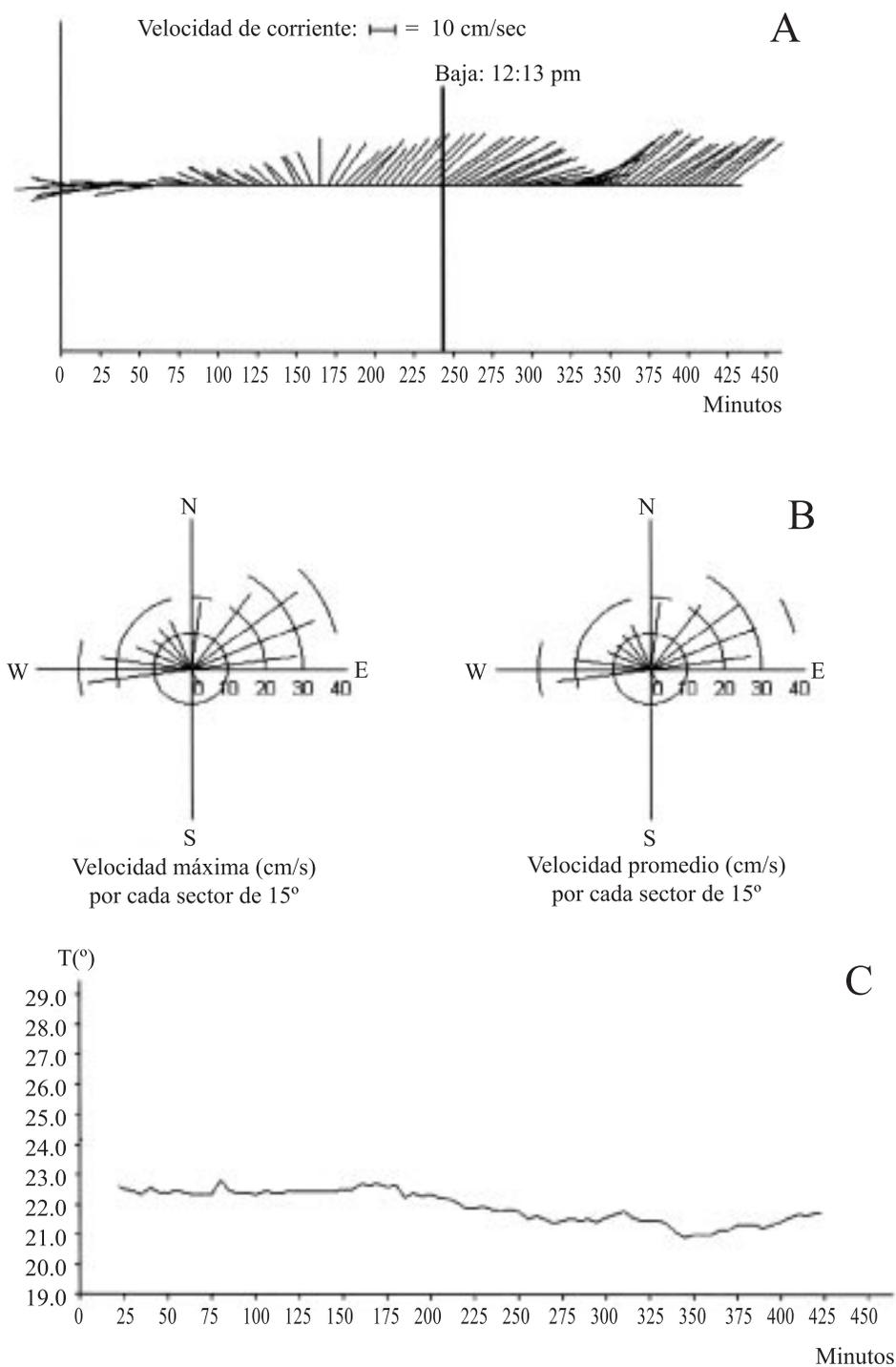


Fig. 12. Corrientes y temperatura en el fondo en la estación Negritos (D) el 01 de diciembre del 2000. A: vectores de velocidad de corriente. B: direcciones de las velocidades máxima y promedio. C: temperatura (°C). Golfo de Nicoya, Costa Rica.

está subiendo y sale cuando la marea está bajando) como lo señaló Peterson (1958) y cuando se rompe la estratificación vertical (Lizano 1998, Brenes *et al.* 1996). La única estación en esta región con cambio existente es la (C) (Figs. 6C y 7C), con diferencias de hasta 4 °C entre superficie y fondo.

Parte externa

Corrientes vectoriales: A diferencia de la parte interna, el comportamiento vectorial de las corrientes en la parte externa, indica que estas tienen un desfase marcado respecto de las bajamares y altamares predichas para Puntarenas. La estación D frente a la desembocadura del Río Tárcoles (Figs. 9 y 10), muestra que el flujo de la marea en la superficie no cambia alrededor de la bajamar respecto a Puntarenas (11:33 a.m.).

El flujo tiene una dirección hacia el interior de la costa unos 135 minutos después (2 y 1/4 horas) después de la bajamar marcada en la Fig. 9A. Por el fondo, sin embargo, el flujo ha cambiado (hacia el interior del golfo) unos 60 minutos antes que la bajamar en Puntarenas. Unos 115 minutos después de esa baja, hacia la mitad del ciclo entre bajamar y alta, se estabiliza un flujo fuerte con dirección norte-noroeste (NNW), siguiendo los contornos de profundidad.

Los vectores de la corriente de la estación (E) al sur de Islas Negritos (Figs. 11 y 12) tienen un comportamiento casi contrario a la estación (D) de Tárcoles (Figs. 9 y 10). Aun cuando el ciclo de la marea indica la baja en Puntarenas (12:33 pm), el flujo de la marea en superficie en estación (E) es hacia el interior del golfo desde aproximadamente 120 minutos (2 horas) antes de esta hora (Fig. 11A), y continúa hacia el interior los 180 minutos (3 horas) que muestra esta figura. Por el fondo muestra una característica similar, aunque con un cambio mas lento.

Dirección promedio de las corrientes: La Fig. 9B muestra que en la superficie en estación (D), hay un flujo sostenido hacia el exterior del golfo alrededor de la bajamar

(11:33 a.m.), y que comienza a rotar en contra de las manecillas del reloj (ciclónico), luego del minuto 350 (2 horas después de la baja señalada). Mientras que por el fondo el flujo comienza a rotar a favor de las manecillas de reloj (anticiclónico) incluso unos 60 minutos antes de la baja en Puntarenas, mostrando una gran dispersión angular (Fig. 10B).

En la estación (E), la rotación en superficie (Fig. 11B) es anticiclónica, cambiando de dirección notablemente unos 120 minutos antes de la bajamar en Puntarenas (12:13 p.m.). Por el fondo, el flujo mostró una dirección oeste (W) al principio y rotó anticiclónicamente después, para establecer un flujo más o menos sostenido y fuerte con dirección norte (N) primero y una norte-noreste (NNE) después, siguiendo los contornos de profundidad.

Temperatura: No se encuentran patrones definidos de la variación temporal de la temperatura en las estaciones externas que puedan ser claramente identificable con los cambios de flujo y ciclos de marea. Los registros si muestran estratificación en temperatura entre superficie y fondo en estas estaciones, con diferencias de hasta 7 °C, (Cuadro 2 y Figs. 9 a 11C) que son asociadas a diferentes masas de agua: aguas oceánicas, mas frías, salinas y densas (Lizano 1998, Lizano y Vargas 1993, Brenes *et al.* 1996) por el fondo, y aguas costeras, menos salinas y más cálidas por la superficie.

DISCUSIÓN

Parte interna

Es claro que el Golfo de Nicoya es un estuario típico donde se puede encontrar estratificación vertical de parámetros físico-químicos como temperatura y salinidad (Voorhis *et al.* 1983, Lizano y Vargas 1993, Lizano 1998, Brenes *et al.* 1996, Brenes *et al.* 2001). Pero también se puede encontrar estratificación vertical de flujos de agua entre la superficie y el fondo. Esta estratificación de flujos es menor en la estación más interna (estación A) dada la

menor profundidad. La época de muestreo (alrededor de la estación seca), también contribuyó a la poca estratificación encontrada, ya que este cuerpo de agua justamente se comporta como un estuario pasivo alrededor de esta época (Peterson 1958), cuando hay poca descarga de agua dulce y cuando los vientos rompen la estratificación en la columna de agua (Lizano 1998).

Conforme las profundidades se van haciendo mayores y las descargas de los ríos se hacen más significativas durante la estación lluviosa (Lizano 1998), la estratificación en los flujos en la parte interna se hace evidente, siendo la estación (C) la más profunda y estratificada en esta región.

Los cambios de la marea en las estaciones interiores muestran un desfase con respecto a la marea de Puntarenas, siendo diferente en la superficie y fondo, y mayor conforme se alejan de Puntarenas. Pero siempre el cambio se siente primero en el fondo en todas ellas, evidenciando una transferencia más inmediata de la onda de marea en las capas profundas, una característica típica de estuarios de cuña salina (Knauss 1978, Lizano 1998).

En general en esta parte interna el flujo es hacia dentro del golfo cuando la marea sube, y hacia fuera cuando la bajamar, siguiendo el eje del golfo y el gradiente de profundidad. Esto es más evidente a la mitad de los ciclos de marea, que es cuando el flujo de la marea está bien definido. Sin embargo, justo alrededor de los máximos de marea (alta y baja respecto a Puntarenas), el flujo no está claramente definido, y pueden encontrarse estratificaciones de flujos, hasta con diferente dirección, en esta región. Las velocidades son mayores en superficie que en el fondo en todos los casos; esto último asociado a la fricción.

Parte externa

En el exterior del Golfo hay más variación vertical de la magnitud y dirección de las corrientes y la temperatura. Pero además, la circulación es muy particular en un eje transversal Tárcoles-Negritos (estaciones D y E). Las

direcciones de flujo parecen ser contrarios alrededor de un período particular del ciclo de marea. Es decir, mientras que por el lado del Tárcoles (estación D) el flujo de agua es hacia el exterior del golfo en superficie, por el lado de Negritos (estación E), es hacia el interior por la superficie y por el fondo. Esto evidencia una dinámica distinta de los flujos de agua en el exterior del golfo a lo largo de este eje transversal durante el ciclo de marea. Esto también ha sido inferido desde mediciones termohalinas realizadas por Voorhis *et al.* (1983).

En general, los desfases de la marea de las estaciones en todo el golfo respecto a la marea predicha para Puntarenas, las variaciones del vector velocidad y la temperatura, dependen también del ámbito de la marea alrededor del cual se realizan las mediciones (Cuadro 2). Grandes ámbitos de marea pueden retrasar el arribo, o quiebre de la marea, por la fricción generada tanto en el fondo como entre capas, de los flujos hacia y desde el interior del Golfo de Nicoya. Desfases del cambio de flujo de la marea entre superficie y fondo de hasta 100 minutos fueron medidos en algunas estaciones (Fig. 8).

Los resultados de este estudio demuestran que la circulación del Golfo de Nicoya no puede ser considerada como una masa de agua uniforme que entra y sale, en respuesta a la onda de marea, como ha sido simulado con modelos de circulación unidimensionales. Además de mostrar estratificación vertical de flujos, la circulación es más compleja, principalmente en la parte externa. Hay diferencias espaciales y a través de la columna de agua, tanto en magnitud como en dirección. Modelos costeros de circulación tridimensional (Svendsen *et al.* 2004) son requeridos para estudiar apropiadamente estos cuerpos de agua.

AGRADECIMIENTOS

Al Capitán Eleazar Ruiz de la embarcación Kais del CIMAR, por la ayuda en la toma de datos de campo. A Davis Morera por su ayuda en el transporte y toma de datos. A la Vicerrectoría de Investigación por el apoyo

económico a través del proyecto No. 808-A0-069, así como al Proyecto No. 808-A0-506: Contaminación Costera en Costa Rica (CoCos-Ri) financiado por la Fundación CR-USA y coordinado por José A. Vargas del CIMAR.

RESUMEN

Se estudia la estructura espacial y vertical de las corrientes en el Golfo de Nicoya y su relación con los ciclos de marea usando correntímetros. Se encuentra que en el interior del golfo, la variación vertical de las corrientes marinas aumenta conforme aumenta la profundidad. La estación de Isla Chira muestra un menor grado de variación, tanto en corrientes como en temperatura. La estación entre Isla San Lucas y Puntarenas es la más estratificada en flujos en esta región. Se midieron magnitudes de corrientes sobre los 100 cm/seg durante mareas vivas extraordinarias. Se encontraron desfases del quiebre o cambio de flujo de las mareas entre superficie y fondo, de hasta 100 minutos. En general en esta parte interna los flujos son hacia el interior del Golfo cuando la marea está entrando y hacia el exterior, cuando la marea está bajando. En el exterior del Golfo la circulación es más compleja. A lo largo de un eje Tárcoles-Negritos, se identifican flujos que rotan de manera distinta entre superficie y fondo, cuyos patrones no pueden ser fácilmente explicados según los ciclos de la marea respecto a predicciones mareales en Puntarenas. Estos resultados demuestran que la variación espacial de las corrientes marinas del Golfo de Nicoya está relacionada no solo a la estructura termohalina, sino que también, a los ciclos y ámbitos de las mareas que se producen en este cuerpo de agua.

REFERENCIAS

- Anónimo. 1984. Mapa batimétrico No. 21544. Golfo de Nicoya, Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional.
- Brenes, C. L., S. León & J. Chaves. 2001. Variación de las propiedades termohalinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl 2): 145-152.
- Brenes, C. L., S. León & G. Arroyo. 1996. Influence of coastal waters on some physical and chemical oceanographic characteristic of Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Tóp. Meteorol. y Oceanog.* 3: 65-72.
- Dittel, A. I., C. E. Epifanio & O. G. Lizano, 1991. Flux of crab larvae in a mangrove creek in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Estuarine Coastal and Shelf Sci.* 32: 129-140.
- Emery, W. J. & R. E. Thomson. 2001. Data analysis methods in physical oceanography. Elsevier. New York. 638 p.
- Klemas, V., S. G. Ackleson, M. M. Murillo & J. A. Vargas. 1983. Water quality assessment of the Golfo de Nicoya, Costa Rica. Progress report of the 1980-1981. International Sea Grant Program. University of Delaware, College of Marine Studies, Newark. 96 p.
- Knauss, J. A. 1978. Introduction to physical oceanography. Prentice. Nueva Jersey. 338 p.
- Gocke, K., J. Cortés & M. M. Murillo. 2001. Planktonic primary production in a tidally influenced mangrove forest on the Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl 2): 279-288.
- Lizano, O. G. & J. A. Vargas. 1993. Distribución espacio-temporal de temperatura y salinidad en la parte interna del Golfo de Nicoya. *Tecnología en Marcha.* 12: 3-16.
- Lizano, O. G. 1998. Dinámica de la parte interna del Golfo de Nicoya ante altas descargas del Río Tempisque. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl 6): 11-20.
- León, S., C. L. Brenes, S. Brenner & N. Krees. 1997. Informe final del proyecto: Ecología del Golfo de Nicoya. Universidad Nacional de Costa Rica. 70 p.
- Murillo, L. M. 1983. Un modelo para el régimen de intercambio dispersivo en el estrecho de Puntarenas. *Tecnología en Marcha.* 6: 15-22.
- Murillo, L. M. 1990. La circulación de las mareas en el Golfo de Nicoya. *Tecnología en Marcha.* 10: 51-76.
- Peterson, C. L. 1958. The physical oceanography of the Gulf of Nicoya, Costa Rica, a tropical estuary. *Bull. Inter. Am. Trop. Tuna Comm.* 3: 139-188.
- Svendsen, H., R. Rosseland, S. Myking, J. A. Vargas, O. G. Lizano & E. Alfaro. 2004. A physical-oceanographical study of Golfo Dulce. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 3B): 1-10.
- Vargas, J. A. 1995. The Gulf of Nicoya estuary, Costa Rica: past, present, and future cooperative research. *Helgolander Meeresunters.* 49: 821-828.
- Voorhis, A. D., C. E. Epifanio, D. Maurer, A. I. Dittel & J. A. Vargas. 1983. The estuarine character of Gulf of Nicoya, an embayment on the Pacific coast of Central America. *Hydrobiologia.* 99: 225-237.
- Valdez, J., C. L. Brenes, E. Solis & M. Mendelewicz. 1987. Propiedades físico-químicas de las aguas del Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Ing. Cienc. Quim.* 11: 21-25.