

INFLUENCIA DE LAS CORRIENTES MARINAS SOBRE EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA BOCA DEL GOLFETE DE CORO, VENEZUELA

ANTONIO QUINTERO & GALINA TEREJOVA

Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

aquinter@sucre.udo.edu.ve

RESUMEN: Para solventar el déficit de agua potable en la península de Paraguaná en el occidente de Venezuela, el estado venezolano ha proyectado la construcción de un acueducto que atraviese el golfete de Coro. En el diseño de ingeniería de esa obra es preciso contar con información sobre el régimen del viento, las corrientes marinas y la sedimentación en el estrecho Punta Caimán - Tiguardare. Para la evaluación del régimen eólico se consideró la información recabada en el aeropuerto de la ciudad de Coro en el período 1994-2004, mientras que las mareas fueron calculadas a partir de la información del mareógrafo de Amuay. Las corrientes marinas fueron medidas por el método lagrangiano durante la pleamar y la bajamar del 25/03/2006 y los sólidos suspendidos en muestras de agua tomadas en el estrecho, se calcularon por pérdida de masa. El área de estudio es afectada por vientos con velocidad de 6,0 m/seg en promedio y con dirección muy constante del este. Las mareas son del tipo semidiurno incorrecto, con una amplitud que alcanza 50 cm aproximadamente. El sistema de corrientes del golfete de Coro está regido por el fenómeno de las mareas y por la acción tangencial del viento. A la acción periódica de las mareas se le agrega la acción del viento que va aumentando en el curso del día y que induce el incremento en la velocidad de las corrientes hasta valores cercanos a 1m/seg. La acción conjunta de las corrientes provoca un transporte de sedimentos fuera del golfete de Coro del orden de 10⁴ ton/año y es el responsable de la formación de la barra en el área de Punta Caimán. Para la construcción del acueducto se recomienda enterrar la tubería para soportar las altas velocidades de las corrientes marinas.

Palabras claves: Régimen eólico, amuay, sedimentación, acueducto, mareas.

ABSTRACT: The Venezuelan government is addressing the water deficit in Paraguana Peninsula in western Venezuela with the design of a fresh water pipeline across the Gulf of Coro. Wind regime, marine current, and sedimentation data in the Punta Caiman – Tiguardare strait are of paramount importance for the engineering plans. Wind data covering the period 1994-2004 were collected at Coro airport; tides were calculated with the tide gauging system at the mareograph station in Amuay. Marine currents were measured with the Lagrange method during the high and low tides on 25 March 2006, and solid suspension was estimated by mass loss in water samples taken from the strait. The study area is affected by winds with a mean speed of 6.0 m/s and a fairly constant direction from the east. Tides are diurnal and appropriately phased, their amplitude reaching 50 cm approximately. The current system at the gulf is governed by the tidal phenomenon and the tangential stress of the wind. As the day advances, the speed wind increases and induces an increment in the speed of the waves with values nearing 1m/s. The joint action of the ebb currents transports silt out of the gulf in the order of 10⁴ ton/year, responsible for the formation of the isthmus in Punta Caiman. It is recommended that the pipeline be grounded to withstand the high speeds of the currents.

Key words: Eolic power supply system, amuay, sedimentation, pipeline, tides.

INTRODUCCION

Las investigaciones oceanológicas en Venezuela, han empezado a quedar rezagadas en relación a otros países de Sur América (CPPS 2008; OCEATLAN 2008). Esta situación se aprecia particularmente en el área de oceanografía y más aún hacia el occidente del país, donde la influencia del Instituto Oceanográfico de Venezuela (IOV) no se ha dejado sentir con fuerza.

Particularmente, las investigaciones realizadas y la literatura disponible sobre el medio marino para el área del golfete de Coro son extremadamente escasas y en lo que respecta a las corrientes marinas, no se encuentran registros anteriores para la zona. Sin embargo, en el área del golfo de Venezuela la industria petrolera venezolana (PDVSA) y la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Armada (DHN) entre otras instituciones, han realizado algunos estudios (HERRERA *et al.* 1981; MORETTI & CAPALDO 1981; ÁVILA *et al.* 1985; BRACHO & MORETTI 1988).

A pesar de esa aparente falta de interés, el golfete de Coro se sitúa en una de las dos plataformas continentales del mar Caribe venezolano, lo que le confiere importancia de primer orden desde el punto de vista pesquero; además, esta área es relevante por la explotación, transporte y procesamiento de hidrocarburos, que se realiza en el occidente del país.

Para solventar los requerimientos de agua potable tanto de las poblaciones como de la industria petrolera en la península de Paraguaná, fueron propuestas tres alternativas para la conducción del agua. La primera, a través del estrecho entre Punta Caimán y Tiguardare y que en adelante denominamos *La Boca* del golfete de Coro. La segunda a través del golfete mismo y la tercera por tierra a través del istmo Los Medanos.

La primera alternativa, con una longitud de unos 6,3 km en la parte marítima, se consideró como la más viable, por ser la vía más expedita, la de menor impacto y por exigir el menor esfuerzo e inversión por parte del estado venezolano. Además, en el área ya existen otras tuberías de diversa índole destinadas principalmente a la industria petrolera.

A fin de brindar la información necesaria para el adecuado diseño y cálculo del tendido de la tubería de aguas blancas *Acueducto Bolivariano* en *La Boca* del golfete de Coro, se evaluaron los parámetros del viento, las corrientes marinas, las mareas y las condiciones de sedimentación en esa zona.

METODOLOGÍA

Área de Estudio

El golfete de Coro está localizado al noroccidente de Venezuela, entre la península de Paraguaná al norte y el continente al sur, mientras que al este limita con el istmo Los Médanos y al oeste con el golfo de Venezuela (Fig. 1a).

El golfete representa una planicie aluvional (REY, 1996) de forma triangular y mide aproximadamente 50 km en dirección NW-SE y unos 30 km en la dirección NE-SW. Aun cuando esto pueda significar una extensión considerable (750 km²), el agua que puede alojar es comparativamente poca (0,75 km³) debido a su reducida profundidad, en relación por ejemplo, con el golfo de Cariaco de dimensiones similares pero con 31,5 km³ de volumen (OKUDA *et al.* 1978). Las mediciones batimétrica necesarias

en el estudio (Fig.1b), se realizaron con una ecosonda Valeport modelo Midas Surveyor (210kHz) equipada con un GPS y referenciadas las mediciones de este al *Datum* estándar WGS84. Precisamente, debido a que es un cuerpo de agua muy somero, sólo puede ser transitado por pequeñas embarcaciones, siendo por tanto la pesca artesanal y de subsistencia la que allí se practica.

El área circundante del golfete es de condiciones semidesérticas y está ocupados por una muy escasa vegetación xerófila, compuesta por cardones, tunas, uveros de playa y cujíes.

Un elemento importante en el sistema del golfete de Coro lo representa el río Mitare (LARA & SUÁREZ, 1997), que ha logrado desarrollar un importante delta y está contribuyendo a la formación de la barra donde se sitúa Punta Caimán. Al este se encuentra el istmo *Los Medanos*, imponente formación, que en la actualidad impide la comunicación del golfete (y golfo de Venezuela) con la porción este del mar Caribe. Además, tanto por los sedimentos aportados por el río, como por las condiciones dinámicas de las aguas y la geomorfología y topografía del medio, la turbidez de las aguas es un elemento característico en el golfete de Coro.

Régimen eólico

Con el propósito de determinar el régimen eólico de la zona, se empleó la información suministrada por la estación meteorológica del aeropuerto de Coro (11°25' Lat. N, 69°41' Long. W, 16 msnm) adscrita al Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana (Fig. 1a). La serie de tiempo sobre la dirección y velocidad del viento corresponden al período 1994–2004.

El material señalado fue procesado estadísticamente y analizados los datos horarios, mensuales y anuales de los 11 años señalados. Se elaboraron las rosas del viento mensuales interanuales. Asimismo, se determinó la frecuencia de ocurrencia del viento por cada rumbo de dirección estándar y la distribución de la velocidad del viento según la gradación y la dirección.

Mareas

La altura del nivel del mar (la marea) está referida a la estación mareográfica de Amuay, situada en el puerto del mismo nombre en el margen occidental de la península de Paraguaná, con coordenadas, 11°45' Lat. N, 70°13' Long. W donde se vienen realizando observaciones desde 1959.

Con ayuda del programa WXTide32 (2008), que es empleado ampliamente (BECK *et al.* 2001; SANDERS *et al.* 2001, SHELLENBARGER & MONISMITH, 2006), fue calculado el nivel medio del mar para el mes de marzo y en especial para el día 25/03/2006. La información obtenida fue necesaria para determinar la estrategia de realización de las observaciones sobre las corrientes.

Medición de las corrientes marinas

Las corrientes marinas en *La Boca* del golfete de Coro se evaluaron, en el entendido que éstas se forman por la acción de las mareas y el esfuerzo tangencial del viento. Las corrientes residuales inducidas por las diferencias de densidad en el agua, no fueron evaluadas por cuanto la profundidad en el área es muy reducida (PELEGRÍ & PADRÓN 1986).

Para la medición de las corrientes se empleó el *método lagrangiano*, consistente en la colocación en el agua de un pequeño elemento flotante de fácil localización, sujeto a un lastre de flotabilidad neutra de volumen mucho mayor. Sobre el lastre, actúan las corrientes y de la boya sólo queda una pequeña parte emergida para minimizar el efecto de la fuerza tangencial del viento. Para la medición de las corrientes superficiales el lastre se hacía descender a 1 – 2 metros de profundidad y para medir las corrientes subsuperficiales se sumergía el lastre a 4 ó 5 metros.

Para fijar el rumbo de la embarcación y la posición de las estaciones, se empleó un *GPS Magellan MAP 330*, con el que se cronometró el tiempo y se fijaron posiciones en coordenadas cartográficas (UTM).

Las lecturas de las posiciones se hicieron con intervalos de tiempo y espacio suficientes (en la mayoría de los casos fue más de 100m), de modo que la distancia entre dos puntos fuera muy superior al error de medición cometido por el aparato mismo.

$$\lambda > \sigma^2 \quad (1)$$

Donde: λ - Distancia entre dos puntos contiguos.

σ - Error en la lectura satelital entre lecturas sucesivas en un mismo punto.

Se realizaron dos tandas de mediciones el día 25/03/2006, según el pronóstico para el mareógrafo de Amuay (Fig. 2). La primera se realizó en el período de pleamar (entre las 9:26 y 13:45), y la segunda en bajamar, (entre las 15:20 y 18:45). En ambos casos se fijaron nueve estaciones para la medición de corrientes superficiales en *La Boca* (Figs.

1a y 1b). Además, en tres sitios de la parte más profunda del estrecho (Ests. 5, 6 y 7) se midieron las corrientes en el estrato subsuperficial.

Transporte de sedimentos

Se tomaron muestras de agua en 5 estaciones a lo largo de *La Boca* (Fig. 1b), en las profundidades de 1 y 3 metros, con botellas de captación Niskin de 5 litros. Las muestras debidamente embasadas fueron analizadas por pérdida de masa (STRICLAND & PARSON 1972 ; AMINOT & CHAUSSEPIED 1983) y obtenidos los valores de sólidos en suspensión.

A fin de calcular el transporte de sedimentos a través de *La Boca*, se consideró el área de intersección (en secciones homogéneas de profundidad, desde Punta Caimán hasta Tiguardare) de los sedimentos en suspensión transportados en el flujo de la corriente. Se sumó el efecto sobre el transporte de sedimentos, la acción de las corrientes en un día y luego se extrapoló a un año.

$$Ts = \int_{t_1=1\text{ día } h_1=Pta \text{ Caimán}}^{t_2=1\text{ año } h_2=Tiguardare} \int a(h) S_s(h) V(h,t) dh dt \quad (2)$$

Donde: Ts – Transporte de sedimentos a través de *La Boca* del golfete de Coro (toneladas/año)

a – Área de la sección transversal de *La Boca* en función de la profundidad.

Ss – Sedimentos suspendidos (mg/l) en las profundidades de 1 y 3 metros.

V – Velocidad de las corrientes (m/seg) en el pleamar y bajamar en las profundidades de 1 y 3 metros.

RESULTADOS Y DISCUSION

El régimen eólico en el área de estudio está determinado principalmente por los vientos Alisios, asociados al anticiclón de las Azores. Estos tienen una dirección predominante del Este y son de los más constantes del globo. Según KOOL (1975) la persistencia (predominio del viento en una o varias direcciones contiguas) de los Alisios en el mar Caribe en el transcurso del año es alta y constituye el 80%.

Otro factor que influye y modifica los parámetros del viento es el relieve. La península de Paraguaná y la costa norte del estado Falcón, representan una región

predominantemente plana sin obstáculos orográficos de importancia (Fig. 1a). Estas condiciones favorecen las altas velocidades del viento y la constancia en la dirección de los mismos. Precisamente, por esta razón, las circulaciones costeras locales tipo brisas mar-tierra parecen no tener lugar por cuanto “se ha podido comprobar la supresión de aquellas circulaciones locales en aquellas exposiciones que permiten una alta velocidad media de los vientos primarios, como es el caso de Coro”, (FOGHIN-PILLIN 2004).

Efectivamente, en la estación meteorológica de Coro durante todo el año, se observaron vientos con una velocidad elevada (la media anual es de 6,0 m/s). Las mayores velocidades medias se registraron en marzo-abril (6,8 m/s) y las más bajas se observaron en el mes de octubre (4,7 m/s). En relación al comportamiento anual de la dirección del viento, según los datos mensuales interanuales, éste se caracterizó por su estabilidad: en el transcurso del año se observaron vientos predominantes del Este (Fig. 2), a excepción de julio cuando se registra del ESE.

Según el análisis de los datos mensuales de la dirección del viento (serie de 11 años), el régimen eólico tuvo una moda bien definida en la distribución de la frecuencia (Fig. 3a). Predominaron los vientos del primer cuadrante: NE, ENE y E, los cuales constituyeron el 72,3% de la frecuencia total. Dentro de este porcentaje el 44,7% correspondió al E (la moda). Los vientos del segundo cuadrante provenientes de ESE representaron 21,0% de la frecuencia total. Pareciera que los vientos tienen un corredor entre ENE y ESE por donde soplan con una considerable persistencia (89,1% de total frecuencia de la ocurrencia). Estos vientos son tan constantes que prácticamente no se observaron las calmas (vientos con una velocidad inferior a 0.5 m/s) y sólo representaron el 0,9%. El aporte de los vientos de otras direcciones en la distribución de la frecuencia correspondió solamente al 10%.

Con respecto a la velocidad del viento según la gradación (Fig. 3b) se destacaron dos rangos de mayor frecuencia en la ocurrencia: $2,9\text{m/s} < V < 5,6\text{m/s}$ con 31,4% y $5,7\text{m/s} < V < 8,3\text{m/s}$ con 42,0%. Estas velocidades fueron registradas para todas las direcciones del viento, mientras que las velocidades mayores a 8,3m/s y 11,1m/s (10,6% y 5,4% de la frecuencia total) correspondieron en su mayoría a los vientos del primer cuadrante.

Según las rosas del viento (por razones de espacio se presentan sólo tres meses), se observó que el viento predominante proviene del E, siguiéndole el del ENE y del ESE (Fig. 4).

La frecuencia de ocurrencia de viento del E en el transcurso del año osciló entre 51,7% (febrero) y 36,7% (septiembre) de la frecuencia total. Los vientos del ENE son más frecuentes en abril (33,8%) y los provenientes del ESE en julio (33,6%); mientras que la menor frecuencia de ocurrencia se registró en diciembre (15,6%) y abril (13,5%), respectivamente. De tal manera, los vientos del ENE y ESE parecen tener similar aporte en la distribución de la frecuencia total. El viento en calma se observó durante todo el año con un insignificante porcentaje de ocurrencia, que varió entre 3,2% (octubre) y 0,1% (febrero y julio).

Hay que recordar que la información utilizada para el análisis de los parámetros eólicos se refirió únicamente a la estación de Coro. Pero, tomando en cuenta la homogeneidad orográfica del área de estudio, suponemos que, en general, las conclusiones realizadas para dicha localidad también son válidas para la zona de la península de Paraguaná

Según el esquema de mareas presentado por Michelov, 1974 (en BRACHO & MORETTI, 1988), para el occidente del país, los componentes principales de las mareas son los diurnos, mientras que los semidiurnos se van incrementando hacia el este del país, donde se hacen preponderantes. En este sentido Amuay, isla Zapara y particularmente el golfete de Coro, representa una anomalía al presentar una marea semidiurna mixta (ÁVILA *et al.* 1980).

En efecto, según las mediciones realizadas en Amuay, allí se registran mareas semidiurnas mixtas (Fig. 5a), es decir, dos pleamares y dos bajamares de alturas diferentes en el período de un ciclo lunar que es igual a 24 horas, 50 minutos y 28 segundos.

Es necesario considerar, que en el mes de marzo en particular (Fig. 5b), la marea fue casi simétrica a principios del mes, luego comenzó a crecer la asimetría, hasta hacerse muy notoria la presencia de dos máximos y dos mínimos desiguales. Luego la diferencia comenzó a disminuir, alcanzando cierta asimetría hacia mediados del mes. Después, volvió a incrementarse la diferencia, llegando a

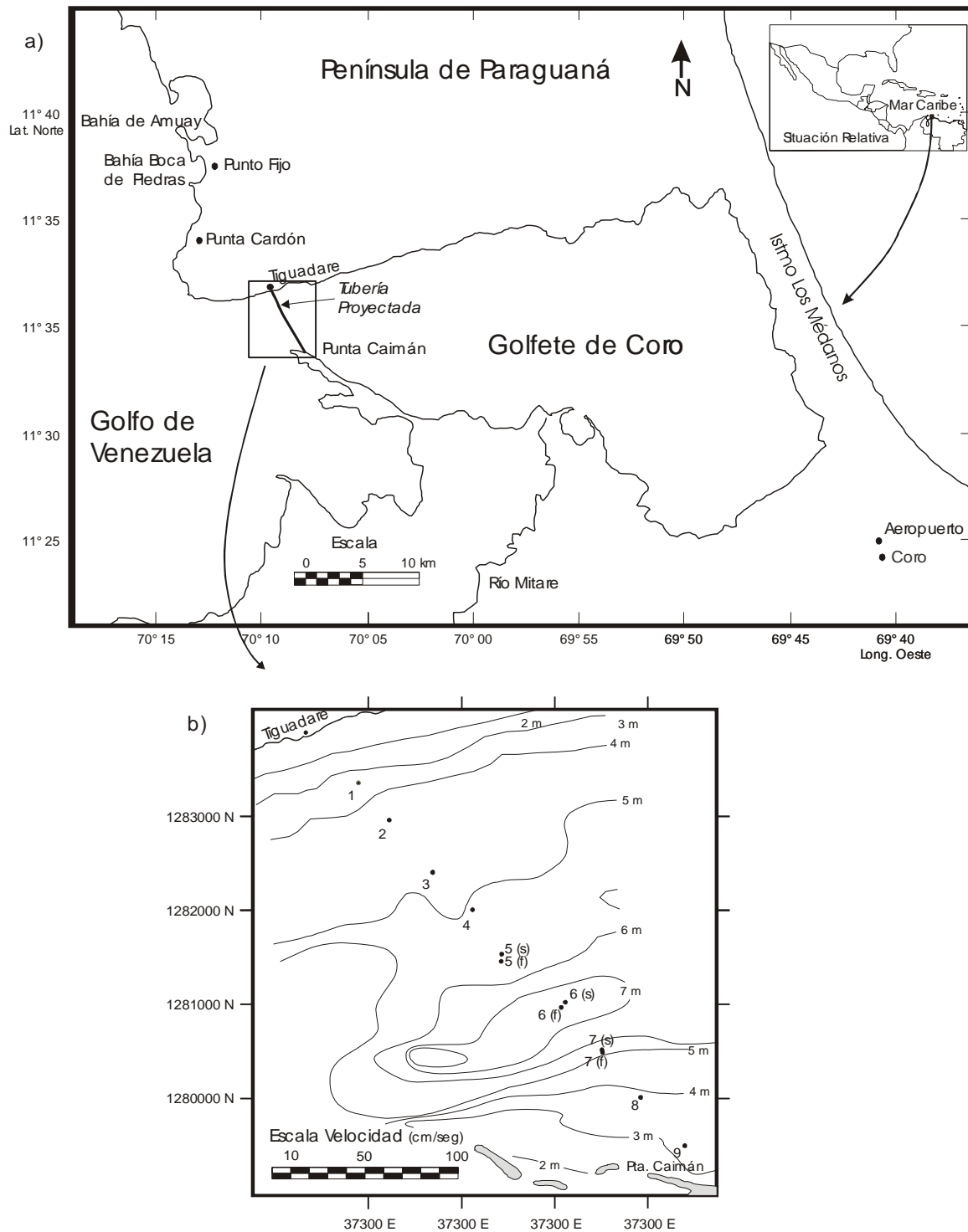


Fig. 1. Área de estudio. a) Zona del golfete de Coro. b) Disposición de las estaciones y batimetría en el estrecho entre Punta Caimán y Tiguadare.

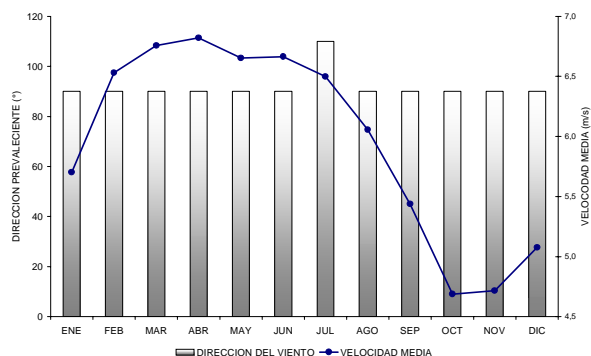


Fig. 2. Parámetros del viento en el aeropuerto de la ciudad de Coro.

ser prácticamente un sólo máximo y un sólo mínimo. Hacia finales del mes la simetría comenzó a manifestarse nuevamente.

Durante los períodos cuando la asimetría aumenta, crece la amplitud de la marea (cerca de 50 cm) y el volumen de agua desplazada. Como consecuencia, aumenta su corriente y viceversa; con la disminución de la simetría, también disminuye la amplitud (hasta cerca de 10 cm) e igualmente se reduce la corriente de marea.

Hay que tener en cuenta que, debido a la periodicidad de las corrientes inducidas por las mareas, éstas no provocan movimientos de transporte sustancial de sedimento en una dirección determinada, pero sí una marcada turbulencia que resuspende los sedimentos depositados en el fondo (ALVAREZ & JONES 2004). Mientras que las corrientes inducidas por el esfuerzo tangencial de los vientos locales por mantenerse en una dirección determinada, originan un significativo transporte de sedimentos.

El valor promedio de las corrientes registradas en el trayecto Punta Caiman - Taguadare durante el pleamar (Fig. 6a y Tabla 1a) en la superficie, en condiciones cuando la acción del viento no fue la mayor, constituyeron 33,63cm/seg, mostrando una disminución de los módulos hacia tierra (9,77 cm/seg en la Est. 1 y 12,66 cm/seg en la Est. 9). Dicha disminución está relacionada con la fricción que ejerce la costa y el fondo marino. La velocidad fue incrementándose hacia la Est. 6 donde alcanzó 75,69cm/seg.

Las corrientes en la superficie de la Est. 1 a la Est. 5 tuvieron una dirección promedio hacia el noreste (68°). De la Est. 7 a la Est. 9 la dirección se incrementó en casi 45° y

fue hacia el sureste (112,4°), siguiendo la dirección de la barra de Punta Caimán hacia el interior del golfo (Fig. 6a).

Llama la atención la corriente registrada en la Est. 6, en la cual el movimiento del agua no obedeció al flujo general observado en las demás estaciones, sino por el contrario, mostró (280,4°) la mayor velocidad registrada durante esa tanda de mediciones (Fig. 6a). Lo anterior está relacionado con el viento que actúa en dirección E en forma continua (aunque con menor velocidad en horas de la mañana), formando a la salida del golfo una contracorriente.

Mientras eso ocurrió en la superficie de la Est. 6 (Fig. 6a y Tabla 1b), por debajo de ésta, en la profundidad de 5 m, las aguas penetraron con una velocidad promedio de 50,85 cm/seg. Es decir, la frontera entre las aguas salientes y entrantes se ubicó cerca de los 4 m de profundidad. Se

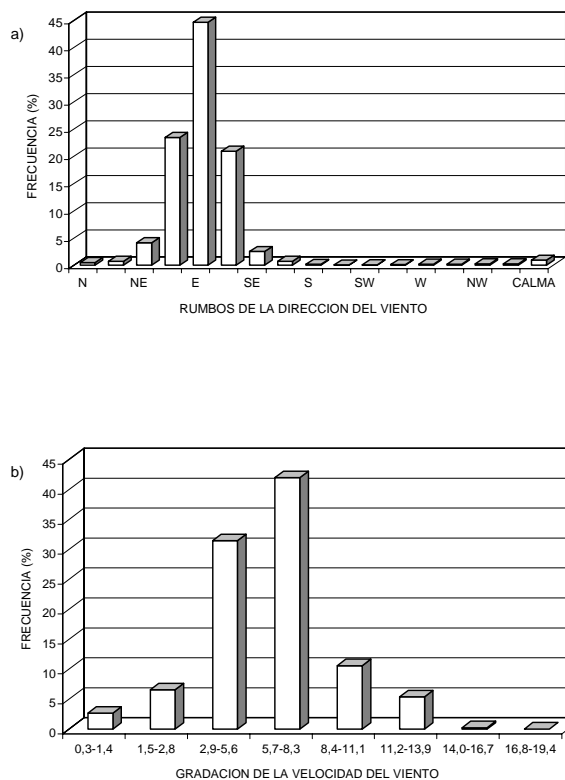


Fig. 3. Frecuencia del viento. a) Según la dirección. b) Según la gradación de la velocidad del viento.

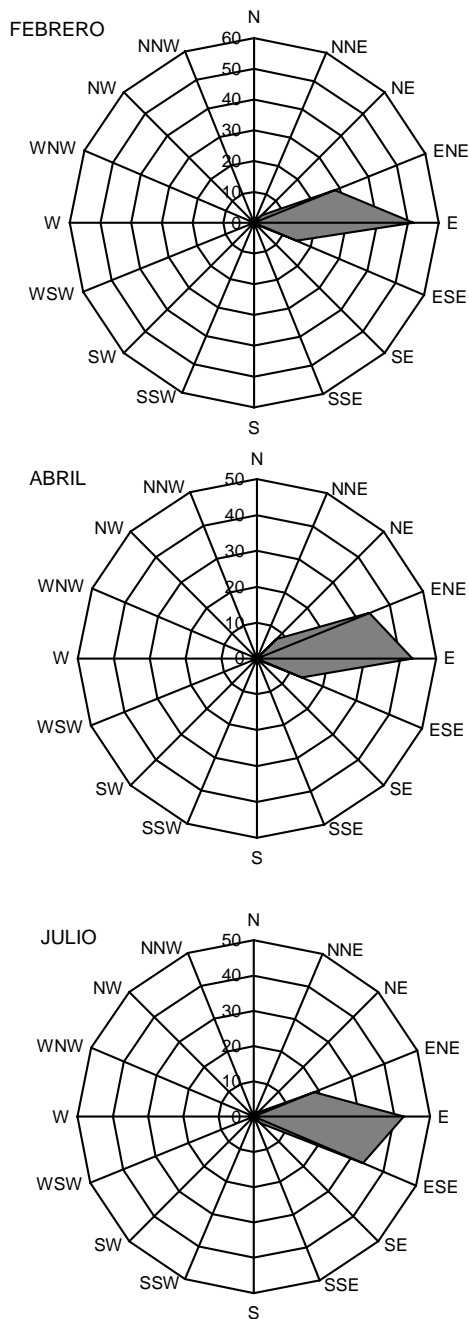


Fig. 4. Rosas de viento para los meses de febrero, abril y julio.

puede asumir, que si se intensifica la velocidad del viento aumenta el grosor de la capa de las aguas salientes, y por el contrario, si disminuye, entonces tiende a redicirse ese grosor, hasta desaparecer cuando hay calma.

En cuanto a la dirección de las corrientes en el estrato subsuperficial, éstas mantuvieron una dirección de unos 73° (Est. 5 y Est.6) y en la Est. 7, el vector de la corriente giró algo hacia la derecha para alinearse con la dirección de la barra de Punta Caimán.

Para el segundo grupo de mediciones realizado durante el proceso de bajamar, después de las 15:00 horas (Fig.6b y Tabla 2), ambos factores, tanto la marea como el esfuerzo tangencial del viento actuaron en la misma dirección. Ello conllevó a que la velocidad de las corrientes en la superficie se incrementara en forma notoria. En promedio, la velocidad aumentó desde 33,63 cm/seg hasta 61,46 cm/seg, lo que representó un aumento de 83% (Tablas 1a y 2a).

Es necesario tener en cuenta que el día que se realizaron las mediciones corresponde al mes de marzo, pero es en abril cuando el viento actúa con mayor intensidad. Ello implica que la velocidad de las corrientes marinas en ese mes se puede intensificar aún más en horas de la tarde y alcanzar valores similares al de las mareas e incluso superarlo.

Por otra parte, debe ocurrir que en los días de calma, o cuando la velocidad media del viento disminuye notoriamente, la velocidad de las corrientes disminuya igualmente y sólo sea regida por el régimen de las mareas.

TABLA 1. Corrientes marinas en la Boca del golfete de Coro durante el pleamar. a) en la superficie. b) en la subsuperficie.

Est.	Coordenadas (UTM)		H(m)	V (cm/seg)	Dirección (°)
	E	N			
1	19372737	1283414	2	9,77	47,8
2	19373222	1282959	2	26,62	66,7
3	19373690	1282404	2	34,94	74,5
4	19374117	1282006	2	34,21	73,1
5	19375210	1281710	2	49,07	77,8
6	19375047	1281016	2	75,69	280,4
7	19375006	1280474	2	29,65	108,2
8	19375854	1280003	2	30,04	112,8
9	10376330	1279487	1	12,66	116,3
				33,63	84,65

Est.	Coordenadas (UTM)		H(m)	V (cm/seg)	Dirección (°)
	E	N			
5	19374357	1281415	4	27,47	73,9
6	19375002	1280962	5	50,85	72,2
7	19375014	1280447	3	13,04	96,6
				30,45	80,90

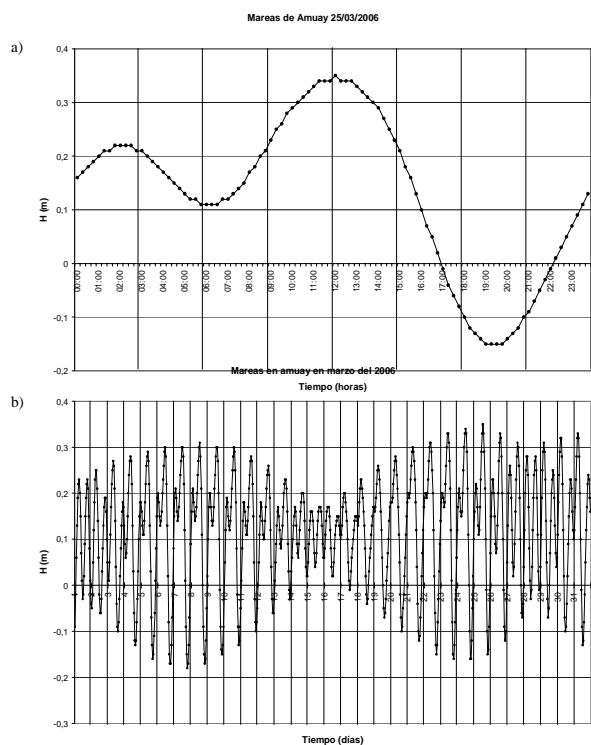


Fig. 5. Altura del nivel del mar en Amuay. a) Día 25/03/2006. b) Marzo del 2006.

En el estrato superficial, a excepción de la Est. 8 (20,85 cm/seg), se registraron velocidades por encima de 40 cm/seg. Hacia el canal principal, las velocidades aumentaron a 90,58 cm/seg en la Est. 6 y 110,74 cm/seg en la Est. 5 (Fig. 6b y Tabla 2a).

En el estrato subsuperficial, las corrientes aumentaron igualmente durante la bajamar. La velocidad promedio aumentó en más del 140%: de 30,45 cm/seg a 74,16 cm/seg (Tablas 1b y 2b). Es notorio que la mayor velocidad no se registró en la Est. 5 (79,43cm/seg) como en la superficie, sino en la Est. 6 (86,54 cm/seg). Creemos que esto está relacionado con la topografía y morfología del suelo marino, pues la mayor profundidad es alcanzada en esa estación.

En cuanto a la dirección, ésta cambió al sentido contrario de pleamar a bajamar, y fue en promedio de 80,92° a 259,43°, es decir, giró casi 180° (Tablas 1b y 2b).

Al comparar las corrientes con la batimetría, se nota que éstas fluyen más intensamente en la dirección del canal

principal (Fig. 6b, Est. 6). Las corrientes que actúan cerca de la península corren paralelas a la costa, mientras que las situadas hacia Punta Caimán tienen dirección hacia la Est. 6.

En resumen, el sistema de corrientes del golfete de Coro y particularmente de *La Boca*, está regido por el

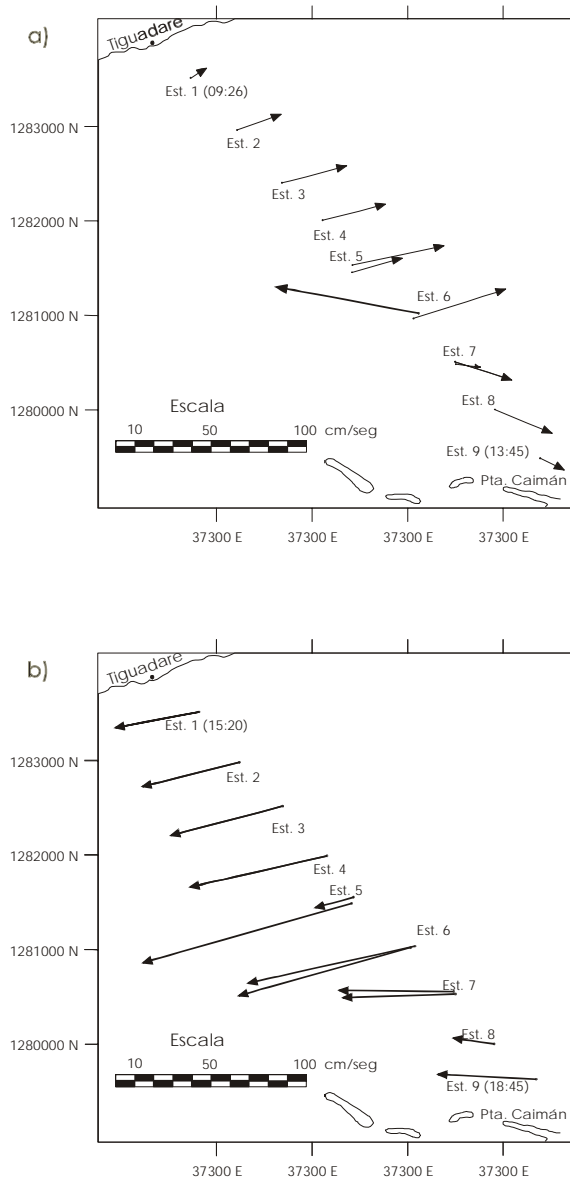


Fig. 6. Dirección e intensidad de las corrientes en el estrecho Punta Caimán – Tiguadare. a) Pleamar. b) Bajamar.

fenómeno de las mareas y por la acción tangencial del viento sobre las aguas. A la acción periódica de las mareas se le agrega la acción del viento, que se ve aumentado en el curso del día, induciendo igualmente al incremento de la velocidad de las corrientes.

En la zona de mayor profundidad del canal y cuando los vectores de las corrientes inducidas por el viento se suman a los de las mareas, provocan una intensa corriente que los habitantes de la zona llaman “El Chorro”.

Esta corriente es considerable si tomamos en cuenta, que la presión ejercida por el agua en movimiento sobre una superficie, sería proporcional a la densidad del agua y al cuadrado de la velocidad de la corriente (JROMOV & MAMONTOVA 1974). Siendo así, tenemos que un flujo de 1 m/seg, equivaldría a la presión ejercida por vientos huracanados con velocidades de 113,0 km/hora.

En el interior del golfete mismo, y para complementar lo referido a *La Boca*, consideramos el modelo de circulación ciclónica de los sedimentos en el golfete de Coro presentado por LARA & SUÁREZ (1997). En este modelo, la intrusión de sedimentos marinos en el sentido oeste-este del lado norte del golfete, tienden a depositarse en su interior y serían producto de las corrientes de marea. Mientras que en el lado sur, los sedimentos aportados principalmente por el río Mitare,

participan activamente en la formación de su delta y tenderían a propagarse en dirección a Punta Caimán, debido principalmente a las corrientes inducidas por el viento. En esta zona se ha formado una extensa barra en la que hay marismas, lagunas y manglares.

De acuerdo a las observaciones visuales realizadas en la zona y considerando su batimetría (Fig. 1b), velocidad de las corrientes marinas (Tablas 1 y 2) y los sedimentos en suspensión contenidos en la columna de agua (Tabla 3), se estimó el volumen de sedimentos transportados en *La Boca*.

El transporte de sedimentos en el transcurso del día varió, por cuanto variaron las corrientes marinas y los factores que en ellas influyen. Así, la sumatoria de la cantidad de sedimentos en las diferentes secciones indican que éstos penetraron en el golfete en la mañana (Tabla 3) cuando actuó la pleamar (34 ton/día), mientras que en la tarde, durante la bajamar salieron en mayor cantidad (71 ton/día). Tal eventualidad se observó a simple vista, pues el agua era más turbia en horas de la tarde. Además, el área ocupada por las aguas turbias en *La Boca* se ensanchaba durante la tarde y disminuía en las mañanas.

El transporte de sedimentos en diferentes puntos de la sección también varió. Así, el volumen de los sedimentos transportados en la zona de Tiguaré fue menor (6,9 ton/día) al transportado en la zona de Punta Caimán (11,3 ton/día). Entendemos que esa mayor cantidad de sedimentos en la zona de Punta Caimán es la que ha contribuido a la formación de la barra (Fig. 1).

Extrapolando la cantidad de sedimentos en las diferentes secciones en el transcurso de un día, resultó en un transporte neto anual de 13328 ton/año (Tabla 3) a través de *La Boca*. Este valor es bajo en comparación, por ejemplo, con el río Orinoco que transporta 200×10^6 ton/año de sólidos suspendidos (LASSO *et al.* 2003).

Los cálculos realizados no están referidos al balance sedimentario del golfete de Coro mismo y se omitió, por ejemplo, la variación anual de las corrientes marinas y del aporte sedimentario terrestre. Sin embargo, nos permite inferir que la pérdida de sedimentos a través de *La Boca*, debe ser inferior a los aportes terrígenos, para mantener un ambiente de amplia llanura aluvial y costas bajas (REY, 1996).

TABLA 2. Corrientes marinas en la Boca del golfete de Coro durante el bajamar. a) en la superficie. b) en la subsuperficie

a)	Coordenadas (UTM)		H(m)	V (cm/seg)	Dirección (°)
	Est.	E			
1	1937279	1283506	2	42,94	258,7
2	19373200	1282964	2	50,56	255,5
3	19373638	1282499	2	58,63	254,6
4	19374094	1281968	2	71,23	256,6
5	19374342	1281463	2	110,74	253,4
6	19374933	1280993	2	90,58	253,5
7	19374941	1280488	2	57,89	270,7
8	19375786	1279962	2	20,85	278,5
9	19376210	1279587	1	49,73	273,1
				61,46	262,64
b)					
	Coordenadas (UTM)		H(m)	V (cm/seg)	Dirección (°)
	Est.	E			
5	19374348	1281527	4	79,43	253,4
6	19374977	1281005	5	86,54	256,9
7	19374960	1280469	3	56,52	268,0
				74,16	259,43

TABLA 3. Transporte de sedimentos en la Boca del golfete de Coro

Est.	Ubicación		Hora Toma	H	Sólidos	Sólidos	Pleamar	Bajamar	Total		Pleamar	Bajamar	Total
	E	N			Totales (mg/l)	Suspendidos (mg/l)			Sección ton/día	Sección ton/año			Sección ton/año
1	19,372,737	1,283,514	09:26	1	44.706	0.194	2.6	-6.2	-3.6	928	-2,222	-1,295	
					3	44.194							
3	19,373,690	1,282,404	10:23	1	39.552	0.071	9.0	-12.3	-3.3	3,256	-4,431	-1,176	
					3	46.158							
5	19,375,210	1,281,710	11:20	1	53.628	0.210	11.4	-30.3	-18.9	4,099	-10,905	-6,806	
					3	49.310							
7	19,375,006	1,280,474	11:53	1	41.050	0.271	9.7	-16.3	-6.6	3,506	-5,874	-2,368	
					3	44.386							
9	19,376,330	1,279,487	12:38	1	43.340	0.585	1.6	-6.3	-4.7	575	-2,259	-1,684	
							34.3	-71.4	-37.0	12,363	-25,692	-13,328	

CONCLUSIONES

El área de estudio es afectada por vientos de velocidad elevada, de los mayores registrados en el país entre los meses de febrero y agosto (6,0 m/seg en promedio) y con dirección muy constante orientada del interior del golfete hacia la salida del mismo.

Las mareas en la zona son del tipo semidiurno incorrecto, con una amplitud que se incrementa durante el mes desde unos 10 cm hasta aproximadamente 50 cm.

El sistema de corrientes del golfete de Coro está regido por el fenómeno de las mareas y por la acción tangencial del viento sobre las aguas. A la acción periódica de las mareas se le agrega la acción del viento que va aumentando en el curso del día y que induce igualmente a que las corrientes aumenten hasta valores cercanos a 1 m/seg.

La acción conjunta de las corrientes de marea y las inducidas por los vientos locales, provocan un transporte neto de sedimentos fuera del golfete del orden de 10^4 ton/año y es el responsable de la formación de las isletas en el área de Punta Caimán.

En la construcción del acueducto, se recomienda enterrar la tubería para soportar las altas velocidades de las corrientes marinas y evitar la obstrucción artificial de *La Boca*, debido a las altas tasas de sedimentación.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ing. J. G. GUERRA y al Lic. A. FERRER por permitirnos el uso de la información sobre corrientes y sedimentación, así como al Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea por facilitar los datos sobre los vientos registrados en la Estación Meteorológica del aeropuerto de la ciudad de Coro.

REFERENCIAS

- ALVAREZ, L. & J. JONES. 2004. Short-term observations of suspended particulate matter in a macro-tidal inverse estuary: The upper gulf of California. *J. Coastal Res.* 20 (3): 645 – 654.
- AMINOT, A. & M. CHAUSSEPIED. 1983. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Centre National Pour L'exploitation des océans (CNEXO) BNDO/Documentation. 395 pp.
- ÁVILA, R. G., L.E. HERRERA, G. FEBRES & H. TONDA. 1980. *Régimen de mareas en las aguas costeras de Venezuela, en especial en la zona del delta del Orinoco*. Inf. Téc. INTEVEP, Venezuela, 83 pp.
- BECK, N., T. ANDREW, T. FISHER & K. BRULAND. 2001. Modeling water, heat, and oxygen budgets in a tidally dominated estuarine pond. *Mar. Ecol. Prog.* 217: 43 – 58.
- BRACHO, C. & J. MORETTI. 1988. El sistema de mareas en el

- golfo de Venezuela. *Bol. DHN* 1 (1): 3 - 30.
- CPPS. 2008. Comisión Permanente del Pacífico Sur. [Guayaquil, Ecuador]. Disponible en <http://www.cpps-int.org/> (revisada enero 2008).
- FOGHIN-PILLIN, S. 2004. *Pablo Vila, pedagogo de la geografía de Venezuela*. UPEL– Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela, 306 pp.
- HERRERA, L., G. FEBRES & R. ÁVILA. 1981. Las mareas en aguas venezolanas y su implicación en la región del Delta del Orinoco. *Acta Cient. Venez.* 32: 299 – 305.
- JROMOV, C & L. MAMONTOVA. 1974. *Diccionario meteorológico*. Hidrometeoizdat, Leningrado, URSS, 568 pp.
- KOOL, L. 1975. Variación estacional del campo resultante del viento en el Atlántico. *Inv. Oceanol.* 24: 85 – 94.
- LARA, S & C. SUÁREZ. 1997. *Atlas morfodinámico costero de Venezuela*, UPEL – Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela, 99 pp.
- LISSO, A., D. LEW, D. TAPHORN, C. DO NACIMIENTO, O. LISSO-ALCALÁ, F. PROVENZANO & A. MACHADO-ALLISON. 2003. Biodiversidad ictiológica continental de Venezuela. Parte I. Lista de especies y distribución por cuencas. *Mem. Fund. La Salle de Cienc. Nat.* 159: 105 - 195.
- MORETTI J. & M. CAPALDO. 1988. Estudio sedimentológico de bahía Las Piedras (Edo. Falcón). *Bol. DHN* 1 (1): 31 - 65.
- OCEATLAN. 2008. Alianza Regional para la Oceanografía en el Atlántico Sudoeste Superior y Tropical. Disponible en <http://www.oceatlan.org/> (revisada enero 2008).
- OKUDA, T., BENÍTEZ, J., BONILLA, J. & G. CEDEÑO. 1978. Características hidrográficas del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 17 (1-2): 69 - 88.
- PELEGRÍ, J. L. & D. PADRÓN. 1986. Algunas características del régimen de corrientes en la plataforma continental norte de la península de Paria. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 26 (1 & 2) 35 - 53.
- REY, O. 1996. Estratigrafía de la Península de Paraguaná, Venezuela. *Rev. Fac. Ingeniería UCV.* 11(1): 35 - 45.
- SANDERS, B., C. GREEN, A. CHU & S. GRANT. 2001. Case study: modeling tidal transport of urban runoff in channels using the finite-volume method. *J. Hydr. Engrg.* 127 (10): 795 - 804
- SHELLENBARGER, G. & S. MONISMITH. 2006. The importance of submarine groundwater discharge to the nearshore nutrient supply in the Gulf of Aqaba (Israel). *Limnol. Oceanogr.* 51(4), 1876 – 1886.
- STRICLAND, J. & T. PARSON. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish Res. Bd. Canada* 167: 1-310.
- WXTIDE32. 2008. A free Windows tide and current prediction program. Disponible en <http://www.wxtide32.com/> (revisada enero 2008).

RECIBIDO: Abril 2008
ACEPTADO: Mayo 2008