



Análisis Hidrodinámico en las bahías de Cárdenas, San Juan de los Remedios y Buenavista.

Hydrodynamic Analysis in Cardenas, San Juan de los Remedios and Buenavista bays.

Yuliesky Garcés Rodríguez^{*}, Amílcar Calzada^{**} e Iván Pérez^{***}.

^{*} Centro de Investigaciones Pesqueras, 5ta. Ave. y 246 Barlovento, Playa, Ciudad Habana, Cuba.
Yuliesky@cip.telemar.cu

^{**} Instituto de Meteorología, Departamento de Marítima, Casablanca, Regla, ciudad de la Habana, Cuba.

^{***} Departamento de oceanografía, Universidad de Concepción, Chile.

Resumen

Empleando datos oceanográficos de cruceros ejecutados en la década del 90; se determinó el campo de corrientes marinas en las bahías de Cárdenas, San Juan de los Remedios y de Buenavista; plataforma nororiental de Cuba. Se aplicó un modelo hidrodinámico (Oiltrack), para la simulación del campo de corrientes marinas tomando un escenario en cada bahía, y teniendo en cuenta el ciclo de marea y el viento local presente. Este modelo permitió reproducir el comportamiento de las magnitudes de las corrientes para un ciclo diurno, partiendo de fuerzas externas como la marea y la tensión del viento. Se obtuvieron valores puntuales compatibles con los obtenidos por otros métodos, lo que demuestra que el procedimiento utilizado permite obtener una información detallada y ampliada del sistema de corrientes en áreas de plataforma con un mínimo de mediciones *in situ*.

Abstract

The marine current field in Cardenas, San Juan de los Remedios and Buenavista bays, on Cuban northeastern insular shelf, was analyzed using oceanographic data from cruises carried out in the 1990s. Oiltrack hydrodynamic model was applied to simulate the marine current field under a specific scenario in each bay, and taking into account the tidal cycle and local wind. This model allowed reproducing the behavior of current magnitudes for a diurnal cycle, starting from external forces such as tide and wind stress. Punctual values compatible with those reached by other methods were obtained, demonstrating that the procedure used permits to obtain detailed and extended information on the current system in shelf areas with a minimum of *in situ* measurements.

Palabras claves: Modelo hidrodinámico, corrientes marinas y bahías.

Keywords: *Hydrodynamic model, marine currents and bays.*

INTRODUCCIÓN

Uno de los primeros esquemas de circulación general obtenidos en áreas de la plataforma cubana, fueron los descritos por Emilsson & Tápanes (1971), a partir de un esquema de desplazamiento de las aguas bajo la influencia de los vientos. Otros esquemas de circulación fueron realizados en la ensenada de la Broa, partiendo de mediciones de corrientes directa empleando correntómetros EKMAN (Kudersky, 1982), mientras que en el Golfo de Batabanó también se obtuvieron esquemas de circulación pero utilización botellas de deriva (Blázquez & Romeu, 1982). Fernández-Vila & Chirino (1993), con mediciones continuas (30 días) *in situ*, empleando correntógrafos SD 6000 y Andera RCM-7, determinaron la dinámica de las aguas marinas costeras en el Archipiélago de Sabana - Camagüey. En los últimos años se ha generalizado el uso modelos hidrodinámicos para obtener, con mayor rapidez y exactitud, el esquema de circulación de las aguas en diferentes cuerpos de agua de la plataforma insular de Cuba y aguas oceánicas adyacentes (Arriaza, 2002 y 2004; Calzada, 2002).

Los modelados numéricos constituyen una poderosa herramienta para obtener información cuantitativa y precisa de los procesos físicos en general y en particular de flujos hidrodinámicos.

El uso de métodos numéricos para predecir dichos flujos proporciona información sobre variables relevantes como la forma de la lámina de agua, la velocidad y dirección de las aguas durante un tiempo determinado (Stewart, 2002).

El objetivo de este trabajo es aplicar un modelo hidrodinámico para la simulación del campo general de corrientes marinas en tres bahías pertenecientes al Archipiélago Sabana-Camagüey, a partir del uso de un mínimo de equipos registradores *in situ*, y obtener un análisis puntual de la magnitud de las mismas en el tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a las bahías de Cárdenas (Cd), San Juan de los Remedios (SJR) y Buenavista (Bv) (Fig.1), ubicadas en la plataforma nororiental. La bahía de Cd es una bahía abierta con profundidad media de (5 m), mientras que las bahías de SJR y Bv presentan profundidades medias entre 2 y 3 m, y limitan por el norte con un cordón de cayos que forman parte del Archipiélago Sabana – Camagüey (ASC). En estas bahías la circulación de las aguas está obstaculizada por los numerosos cayos y bajos que interrumpen la libre circulación entre las aguas y refuerzan las amplitudes de marea en los canales y pasas de intercambio.

Se utilizaron datos de las series de corrientes marinas validadas obtenidas en diferentes cruceros de investigación por el grupo Empresarial GeoCuba “Estudios Marinos”, durante los años 90s. Para obtener las corrientes marinas *in situ* se utilizaron equipos registradores (correntómetros): MTCM-5M, SD-6000, RSM-7 y RSM-9, presentando, el primero, un intervalo de medición de 10 minutos, y los restantes, de 60 minutos. Del total de cruceros realizados se seleccionaron los que presentaron una serie mayor de registros (Tabla 1) y permitían una mayor cobertura espacial (Fig. 1). Esta información almacenada permitió elaborar las condiciones de fronteras en las bahías mencionadas.

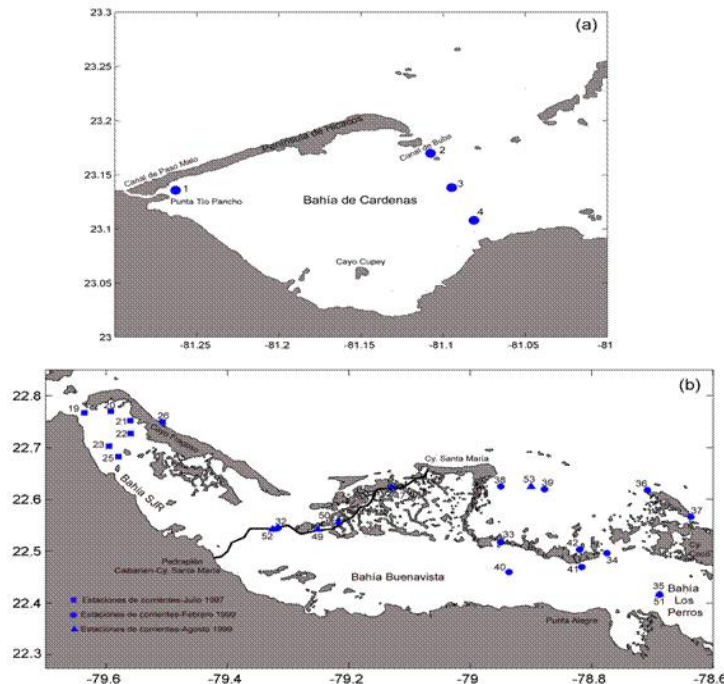


Figura 1. Áreas de estudio. Estaciones con mediciones en términos de series de tiempo de corrientes marinas: (a) en la bahía de Cárdenas y (b) en las bahías San Juan de los Remedios y Buenavista.

Figure 1. Study areas. Selected stations with marine current measurement time series: (a) in Cardenas Bay, and (b) in San Juan de los Remedios and Buenavista bays.

Tabla 1. Número de instrumentos y ubicación en cada expedición. En color gris se marcan las estaciones seleccionadas en las condiciones de fronteras.

Table 1. Number and location of instruments in each cruise. Selected stations on boundary conditions are marked in gray.

Estaciones	Mes/Año	Latitud N (grados)	Longitud W (grados)	Estaciones	Mes/Año	Latitud N (grados)	Longitud W (grados)
2	dic-93	22,4986	79,4036	38	feb-99	22,6250	78,9500
3	dic-93	22,5453	79,3167	39	feb-99	22,6200	78,8778
5	sep-94	22,4986	79,4036	40	feb-99	22,4600	78,9367
6	sep-94	22,5436	79,3144	41	feb-99	22,4700	78,8167
7	sep-94	22,5436	79,3144	42	feb-99	22,5033	78,8200
8	jun-95	22,4986	79,4039	43	may-99	22,7650	79,4456
11	jun-95	22,5442	79,3147	44	may-99	22,7469	78,8803
12	jun-95	22,5442	79,3147	45	may-99	22,7033	78,6650
13	feb-97	22,7692	79,6397	46	may-99	22,7825	79,4172
14	feb-97	22,7061	79,6133	47	ago-99	22,6233	79,1297
15	feb-97	22,7147	79,5883	49	ago-99	22,5422	79,2514
16	feb-97	22,7367	79,6044	50	ago-99	22,5564	79,2172
18	feb-97	22,6847	79,5806	51	ago-99	22,4164	78,6883
19	jul-97	22,7672	79,6361	52	ago-99	22,5422	79,3258
20	jul-97	22,7697	79,5922	53	ago-99	22,6244	78,9000
21	jul-97	22,7517	79,5600	54	feb-00	22,6133	79,2200
22	jul-97	22,7267	79,5594	55	feb-00	22,6167	79,2000
23	jul-97	22,7028	79,5953	56	feb-00	22,6239	79,1933
25	jul-97	22,6825	79,5800	57	feb-00	22,6233	79,1767
26	jul-97	22,7492	79,5069	59	feb-00	22,6467	79,1667
29	jul-98	22,6533	79,1667	60	dic-00	22,6333	79,0983
30	jul-98	22,6433	79,2467	61	dic-00	22,6433	79,0789
31	jul-98	22,6367	79,3000	62	dic-00	22,6367	79,1033
32	feb-99	22,5453	79,3167	65	dic-00	22,5417	79,2467
33	feb-99	22,5172	78,9500	66	dic-00	22,5667	79,2333
34	feb-99	22,4967	78,7750	67*	dic-95	22,5453	79,3167
35	feb-99	22,4164	78,6883	68*	dic-95	22,5453	79,3167
36	feb-99	22,6181	78,7083	69*	dic-95	22,5453	79,3167
37	feb-99	22,5667	78,6367				

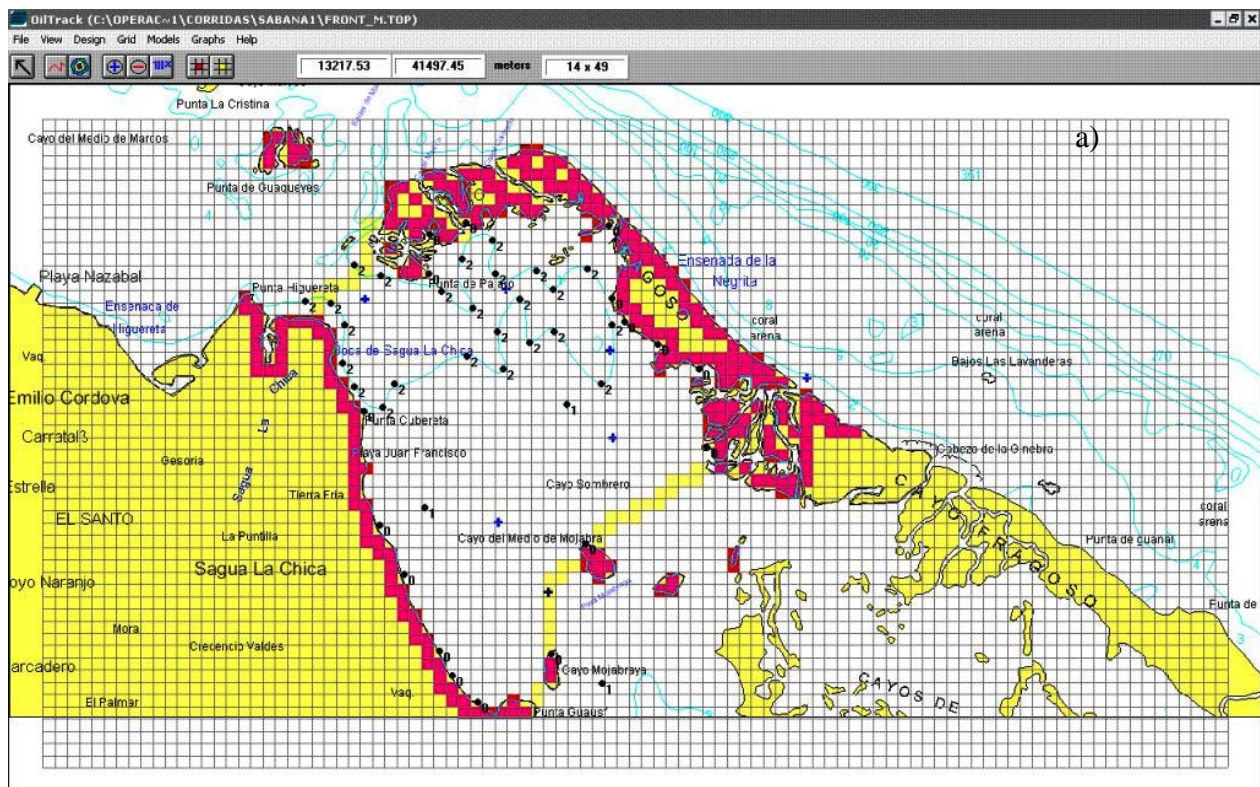
Para las bahías de SJR y Bv se escogieron las expediciones de julio del 1997 y febrero del 1999. Para complementar el trabajo se tuvieron en cuenta la serie de agosto del 1999 por encontrarse la mayor cantidad de información y de instrumentos, ubicados en las bahías San Juan de los Remedios y de Buenavista. Los datos de la bahía de Cárdenas fueron tomados en junio del 1991, concibiéndose como datos con muy buena distribución espacial para la confección de las condiciones de frontera.

Para conocer detalles espaciales del campo de corriente marinas en estas áreas complejas, se utilizó el modelo hidrodinámico OILTRACK. Este utiliza el sistema de ecuaciones de Saint-Venant, trabajando con las componentes de la velocidad promediada en la profundidad y los valores de la altura de la superficie marina. Este sistema se identifica por la presencia de la presión hidrostática y la ausencia de aceleración en el eje vertical (tomando un sistema de

coordenadas cartesianas), siendo certero para las oscilaciones largas como las de mareas (Stewart, 2002).

El empleo de "OILTRACK" permitió inicialmente importar la información diseñada en MapInfo (versión 8.0), así como introducir las dimensiones en cada eje (x - y) e insertar la información de la línea de costa, cayos, batimetría y puntos donde se registran las corrientes marinas (Fig. 2a). Considerando la línea de la costa y los cayos, se confeccionan las rejillas donde se analizan las dimensiones fijadas con anterioridad por medio del MapInfo. Se decidió realizar pruebas con tres dimensiones de rejilla (500, 800 y 1000 m²), llegando a la conclusión de emplear la rejilla mediana (800 m²) porque con su empleo se alcanzaba un equilibrio entre el rendimiento computacional y la calidad de los resultados. Es decir, trabajando con la rejilla pequeña la modelación demoraba demasiado y con la rejilla grande los contornos son demasiado groseros e imprecisos. Posteriormente se procedió a ubicar las fronteras cerradas de color rojo (no permite intercambio de energía, ni materia a través de ella). Por otra parte, la frontera abierta de color amarillo (permite el intercambio de energía y materia) separa el área de estudio con su complemento marino, delimitando así el área de estudio (Fig. 3a).

Al introducir los datos para la corrida del modelo solo se tuvo en cuenta los vientos de dirección ENE y velocidades de 5 m/s (Calzada, 2002), y un coeficiente de arrastre del viento de 0.0001 (García & Kahawita, 1986) para todos los casos (Fig. 2b).



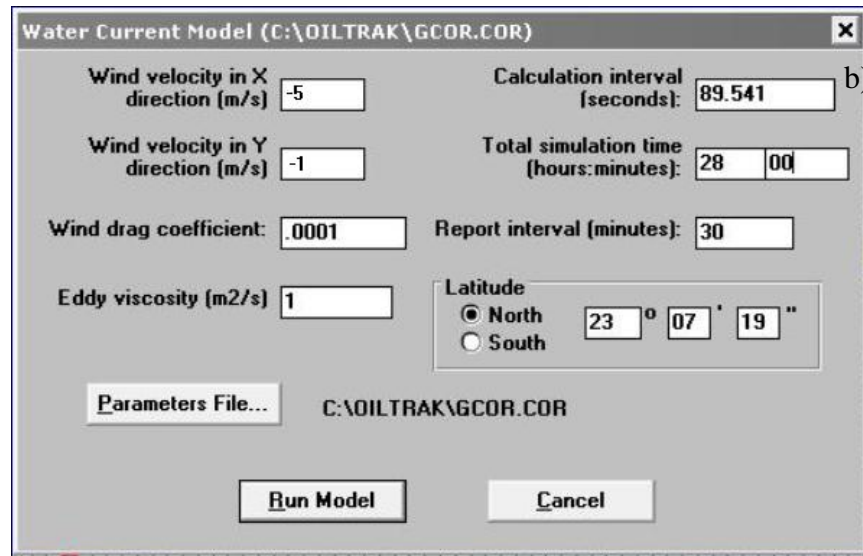


Figura 2. (a) Confección del área de estudio partiendo de las capas obtenidas en MapInfo, (b) importación de los datos físicos al modelo.

Figure 2. (a) Preparation of the study area based on the layers obtained in MapInfo, (b) input of physical data into the model.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron resultados puntuales satisfactorios de la magnitud de las corrientes marinas para cada bahía analizada. Los puntos escogidos permitieron observar las variaciones de la velocidad de la corriente durante un periodo determinado, mostrando los lugares donde alcanzan sus valores extremos. En la mayoría de estos, se puede observar claramente, cuatro máximos y cuatro mínimos de forma alterna, aparejado a los periodos de flujo y reflujos de la marea semidiurna existente en el área.

Se muestran las series de tiempo seleccionadas en la bahía de Cd (Fig. 3) para realizar los análisis de la magnitud de las corrientes en función del tiempo. Se observa que el comportamiento para los diferentes puntos tomados no es homogéneo en toda la bahía (Fig. 3a), la velocidad máxima fue de 0.23 m/s y se registró en el punto 4, ubicado en el canal de Buba (Fig. 3e), coincidiendo con los resultados obtenidos con mediciones directas (Estudios Marinos, GeoCuba, 1999). En el punto 3, localizado en el área somera al oeste de la bahía (Fig. 3d) se registra la menor velocidad de la corriente (0.0050 m/s), manteniéndose por debajo de los 0.04 m/s durante casi todo el tiempo de análisis. Los valores más bajos se encuentran al centro de la bahía y la estructura obtenida (Velocidad & Tiempo), es más irregular que en la boca de la bahía. Mediante la metodología utilizada, en esta área no se pudo estimar bien un máximo y un mínimo de velocidad de la corriente, debido a que presenta cambios bruscos durante el periodo de estudio coincidiendo con resultados *in situ* obtenidos por GeoCuba Estudios marinos (1999).

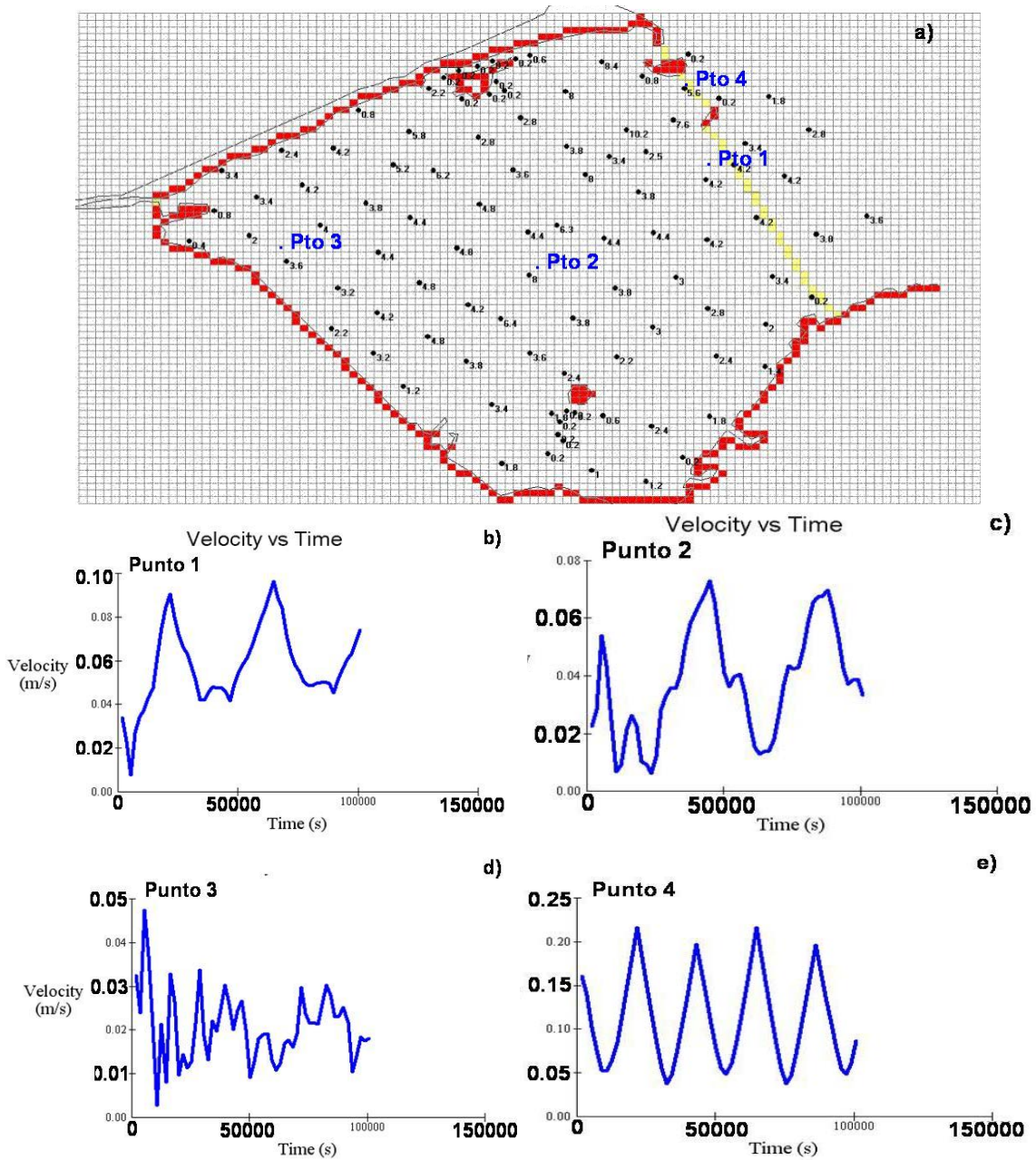


Figura 3. (a) Distribución de las series de tiempos de la magnitud de la corriente en la bahía de Cárdenas. En **b**, **c**, **d** y **e** se muestran los valores de la magnitud de la corriente (eje y) en función del tiempo (eje x).
 Figure 3. (a) Distribution of current magnitude time series in Cardenas Bay; **b**, **c**, **d** and **e** show the values of current magnitude (y axis) in time (x axis).

En la bahía de SJR la velocidad máxima, se registró en la zona del canal localizado en el punto 1 (Fig. 4b) con aproximadamente 0.25 m/s. Durante todo el periodo de estudio se pudo observar que, en este punto se definen claramente cuatro máximos y cuatro mínimos, estrechamente relacionados con los dos períodos de llenante y vaciante que ocurrieron durante las 28 h de análisis. Esta variable toma su valor mínimo (cerca de 0.005 m/s) en el punto 2, área

muy somera y aislada, al norte de la bahía (Fig. 4c), manteniéndose durante casi todo el período de estudio, por debajo de los 0.04 m/s. Los resultados aquí obtenidos, coinciden con los apuntes estadísticos, de mediciones directas en esta Bahía (Pérez, 2005 y 2006).

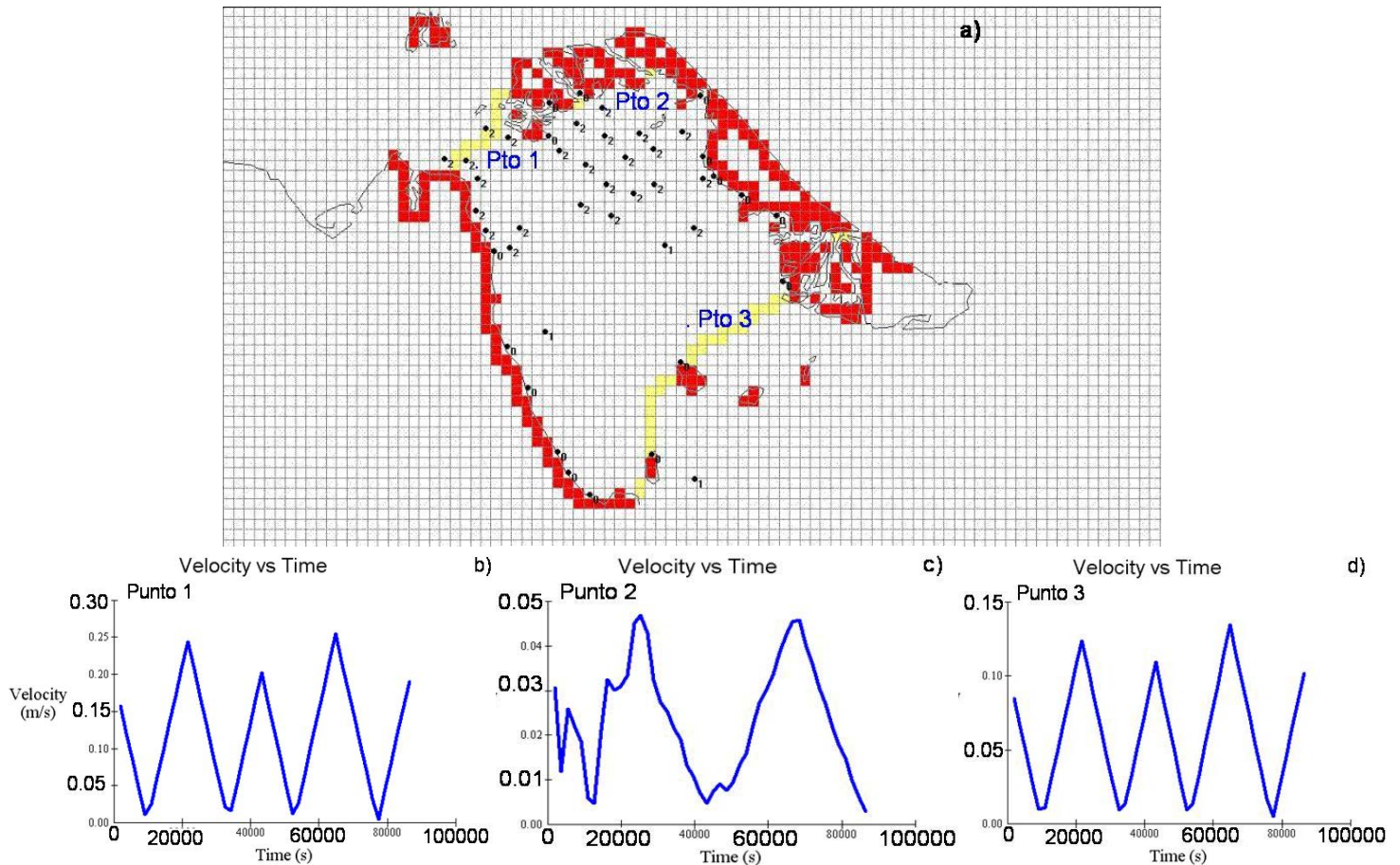


Figura 4. (a) Distribución de los puntos de donde se extrajeron las series de tiempos de la magnitud de la corriente en la bahía SJR. En b, c y d se muestran los valores de la magnitud de la corriente (eje y) en función del tiempo (eje x).

Figure 4. (a) Distribution of the points where current magnitude time series were extracted in SJR Bay; b, c and d show the values of current magnitude (y axis) in time (x axis).

Según las gráficas obtenidas en el punto 1 y 3 (Fig. 4) exterior oeste y este de la bahía SJR respectivamente, se pudo apreciar las condiciones de bajo intercambio, producto de la escasa comunicación de estas aguas con el océano adyacente.

Los resultados obtenidos en el punto 1 (Fig. 4b) fueron comparados con los datos medidos *in situ* por el equipo registrador de corriente (estación 19, Fig. 1b) ubicado en el canal de entrada a la bahía de SJR (Fig. 5a) coincidiendo con la posición de la salida del modelo.

En este lugar se reportaron corrientes reversivas de marea con velocidades entre los 0.2 y 0.4 m/s durante los periodos de sicigia y cuadratura de la marea (Fig. 5b). El comportamiento medio de la magnitud de la corriente (Fig. 5c) en un ciclo de 24 horas obtenido del promedio de

todos los días de la serie de tiempo (22 días), mostró una gran similitud con los resultados obtenidos para el punto 1 (Fig. 4b).

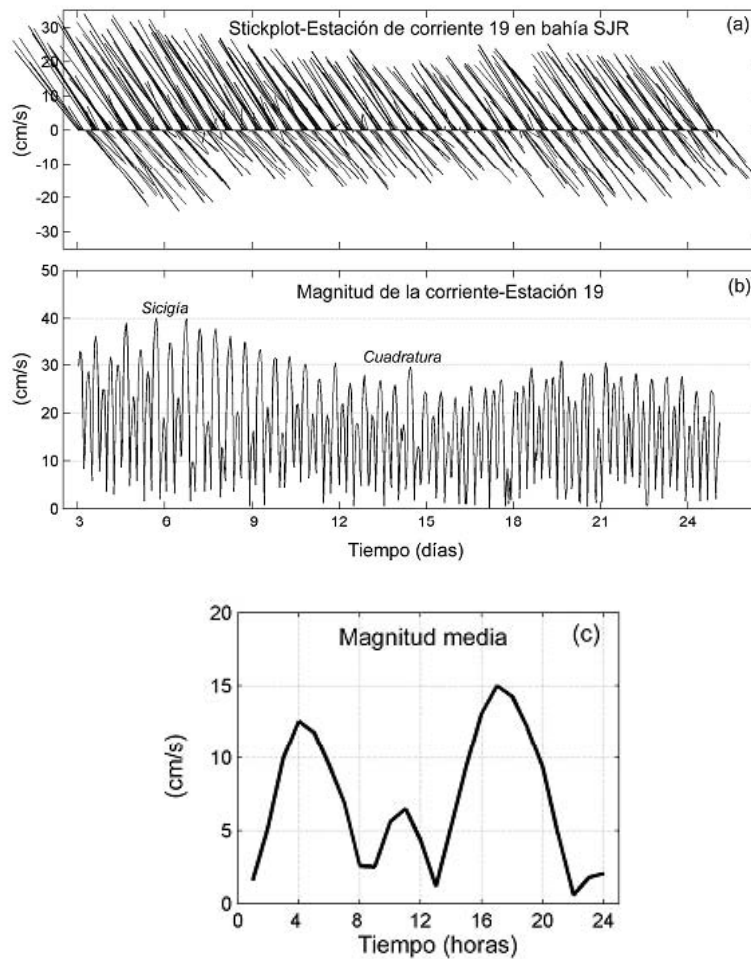


Figura 5. (a) Muestra la dirección y velocidad de la corriente de marea en la estación 19 fondeada en la bahía SJR desde el 3 al 24 de Julio 1999. (b) Serie de la magnitud de la corriente. (c) Promedio de 24 horas de la magnitud de la corriente.

Figure 5. (a) Shows the direction and speed of tidal current at station 19 deployed in SJR Bay from July 3 to 24, 1999. (b) Current magnitude series. (c) A 24-hour average of current magnitude.

Por su parte, la bahía Bv (Fig. 6) muestra que las velocidades máximas reportada por el modelo para esta zona corresponden al punto 1, localizado en la cercanía de la Canal de los Barcos, principal área de intercambio entre las aguas de la Bahía SJR, la Bahía de Bv y las aguas oceánicas (Fig. 6b), con valores cercanos a 0.8 m/s. El noreste de la bahía se localiza el punto 2 (Fig. 6c), el cual muestra un comportamiento similar al punto 1, pero con magnitudes inferiores en el orden de 0.01 m/s en el transcurso de las 28 horas, mientras que la velocidad de corriente máxima alcanzada está relacionada con el flujo y reflujo de la marea, las cuales no sobrepasan los 0.08 m/s en todo el período. La región de Pasa La Manuy, área somera y antropizada, que comunica a esta bahía, por el este, con la bahía de los Perros, se localiza el punto 3 (Fig. 6d), donde se perciben los valores más bajos de magnitud de la corriente marina (0.006 m/s). El modelo para este punto refleja una estructura irregular (Velocidad & Tiempo), lo cual coincide, con lo reportado para el área por Fernández & Chirino (1993), donde

determinaron que en esta localidad la marea se encuentra disminuida a tal punto, que las crecientes dependen fundamentalmente del balance hidrodinámico de la bahía de los Perros.

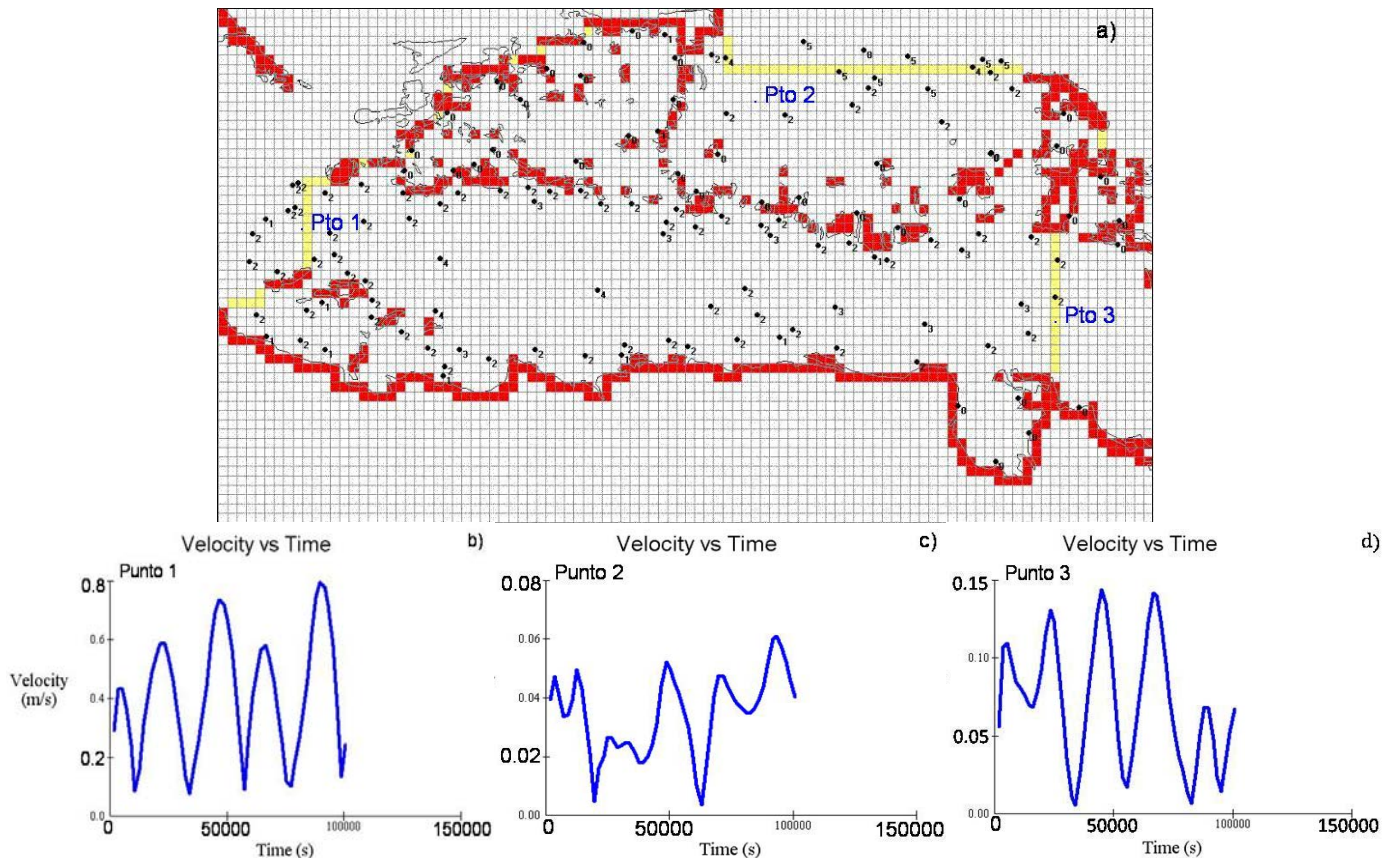


Figura 6. (a) Distribución de los puntos de donde se extrajeron las series de tiempos de la magnitud de la corriente en la bahía Buenavista. En **b**, **c** y **d** se muestran los valores de la magnitud de la corriente (eje y) en función del tiempo (eje x).

Figure 6. (a) Distribution of the points where current magnitude time series were extracted in Buenavista Bay; **b**, **c** and **d** show the values of current magnitude (y axis) in time (x axis).

Para realizar la comparación de los resultados se seleccionó la estación 39 de corriente, la cual coincide en ubicación con el punto 2 de la salida del modelo (Fig. 7a). Estos datos muestran igualmente el comportamiento de corrientes de marea de moderada intensidad con velocidades que no sobrepasan los 0.10 m/s, estando en orden de magnitud de la salida del punto 2 (Fig. 6c). Mientras en su comportamiento temporal podemos observar momentos donde las intensidades aumentan y disminuyen, asociado seguramente al reforzamiento de las corrientes al paso de un frente frío por la zona durante este periodo característico del año.

El promedio del ciclo de 24 horas (Fig. 7c), muestra una señal semidiurna con dos máximos y dos mínimos, asociados a la marea semidiurna típica de la región (Fernández & Chirino, 1993; Pérez, 2006), que al ser comparada con la salida del modelo para el punto 2 (Fig. 6c), no muestra similitud.

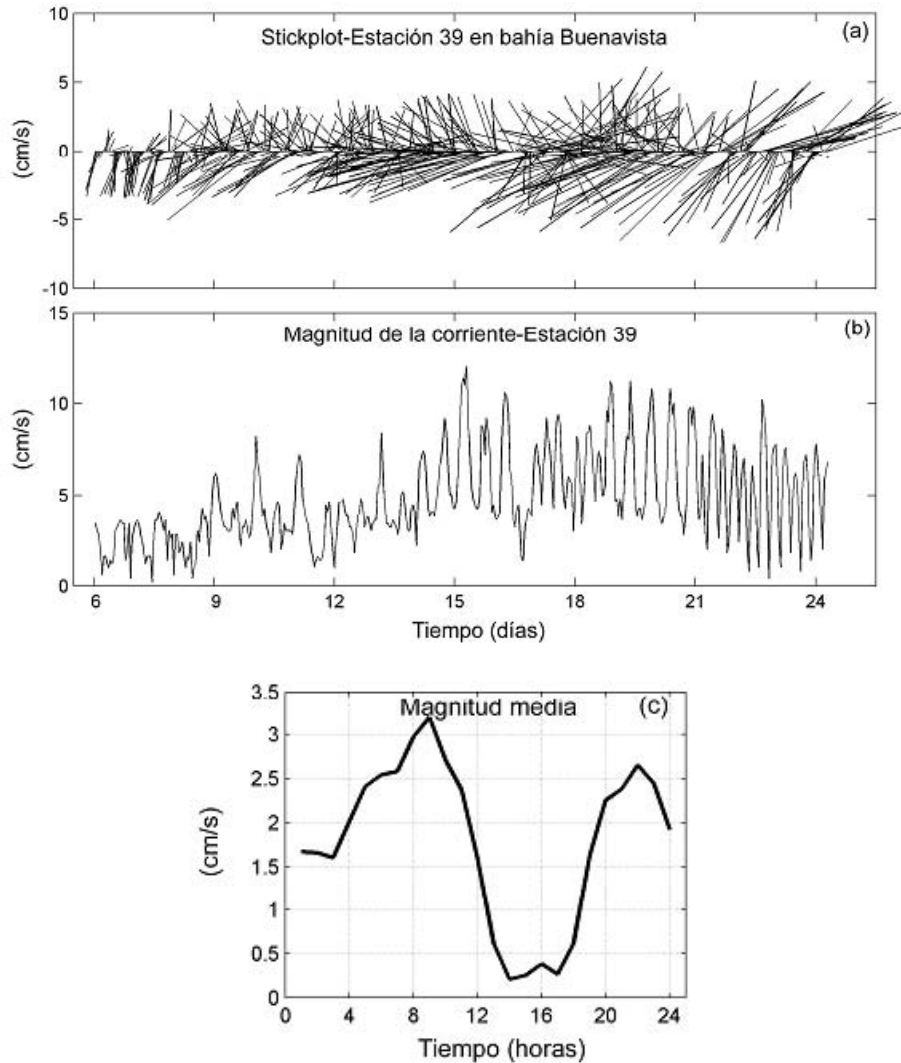


Figura 7. (a) Muestra la dirección y velocidad de la corriente de marea en la estación 39 fondeada en la bahía Buenavista desde el 6 al 24 de Febrero 1999. (b) Serie de la magnitud de la corriente. (c) Promedio de 24 horas de la magnitud de la corriente.

Figure 7. (a) Shows the direction and speed of tidal current at station 39 deployed in Buenavista Bay from February 6 to 24, 1999. (b) Current magnitude series. (c) A 24-hour average of current magnitude.

Los resultados mostrados en los puntos analizados presentaron una similitud con resultados precedentes, donde se registraron las corrientes más intensas hacia el canal de los Barcos (Fig. 6b), donde se reportan magnitudes medias de 0.60 m/s y máximas de 1.20 m/s en los puentes del vial (pedraplén) Caibarien – Cayo Santa María, (Fernández & Chirino, 1993; Pérez, 2006).

El análisis espacio temporal en la Bahía de Cárdenas, permitió alcanzar detalles del campo de las corrientes marinas en todo el dominio para el 5 de junio de 1991, partiendo de las 00:00 h, se tomó este intervalo para asegurar que los resultados contemplaran el ciclo semidiurno de las corrientes de mareas. En una vista general de la circulación de la bahía durante el momento del flujo de corriente (Fig. 8) se pueden observar las magnitudes mínimas hacia la zona centro-oeste con parches de color blanco que demuestran la escasa intensidad que reprodujo el

modelo en esta región. Por su parte las mayores velocidades alcanzadas por el modelo se muestran en el canal de Buda y cercanas al cayo de Punta Gorda.

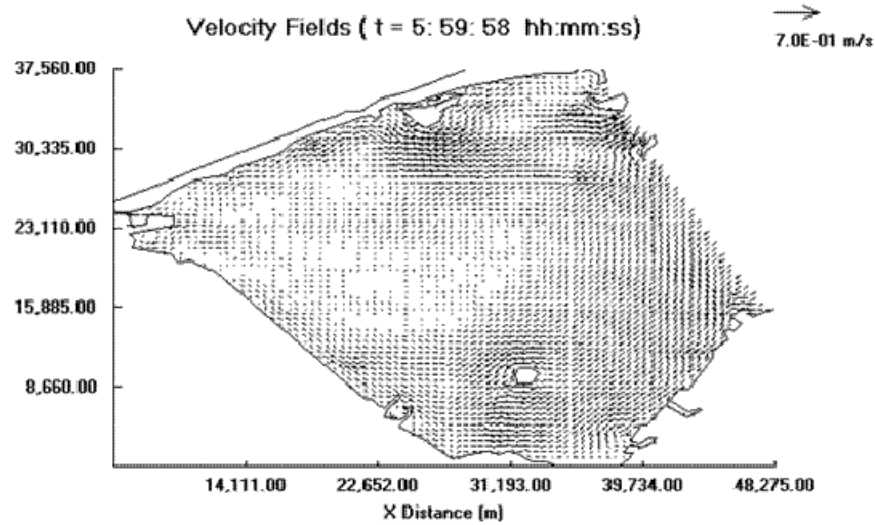


Figura 8. Salida del modelo para las 6:00 am, Campo de corrientes marinas en la bahía de Cárdenas en flujo de corriente.

Figure 8. Model output for 6:00 a.m. Flow of marine current field in Cardenas Bay.

Las figuras 9, 10 y 11 son ampliaciones de la muestra general de la bahía de Cd, observándose el área de intercambio entre el canal de Paso Malo y la zona norte de la Península de Hicacos (Fig. 9), coincidiendo este momento con el vaciante de marea. En otra ampliación se observa como las corrientes contornean a Cayo Cupey (Fig. 10), mostrando una dirección hacia el Oeste con una tendencia a girar de forma anticiclónica en el área norte y oeste del cayo. Las magnitudes máximas de la corriente reproducida (0.7 m/s) se observaron en el canal de Buba (Fig. 11), área principal de intercambio de la bahía con la zona oceánica exterior.

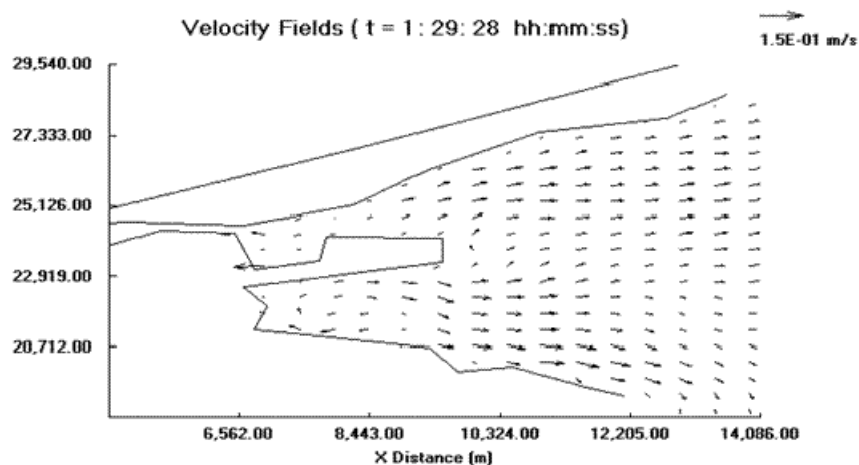


Figura 9. Área W del dominio donde se intercambian las aguas del interior de la bahía de Cárdenas, a través del canal de Paso Malo, con la zona norte de la Península de Hicacos.

Figure 9. Western area of the domain where water exchange occurs between the inner part of Cardenas Bay and the northern area of Hicacos Peninsula, through Paso Malo canal.

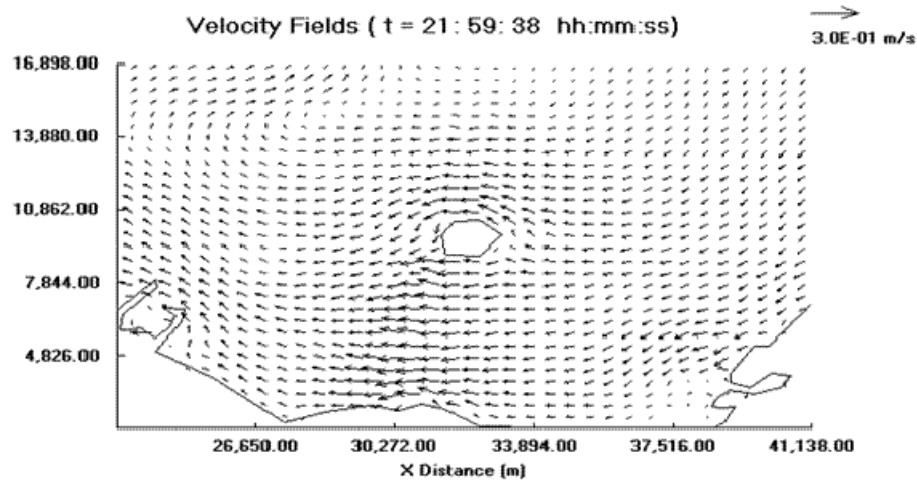


Figura 10. Sur del dominio donde se muestra la salida del modelo alrededor de Cayo Cupey en el área Sur de la bahía de Cárdenas.

Figure 10. South of the domain showing the model output around Cupey Key, in the southern area of Cardenas Bay.

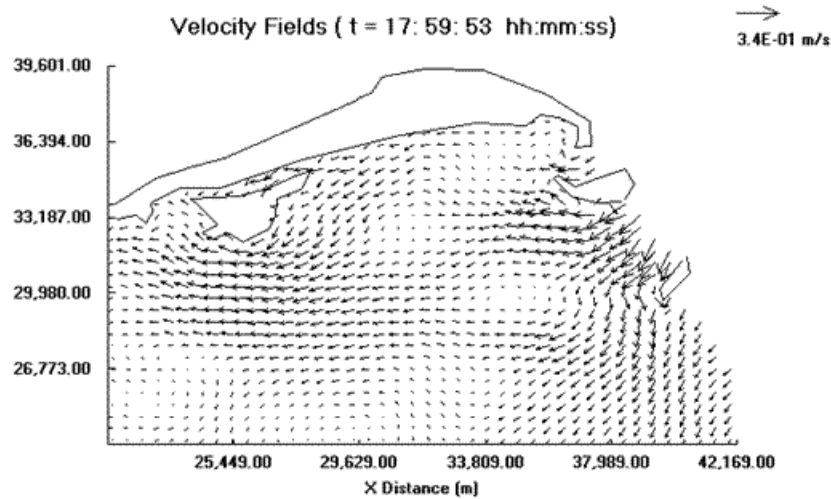


Figura 11. Campo de corrientes marinas. Ampliación del área NE del dominio durante el momento del flujo.

Figure 11. Marine current field. Extension of the northeast area of the domain during flow time.

Los análisis puntuales de la magnitud de la corriente contra el tiempo obtenidos presentaron similitud con mediciones in situ realizadas en diferentes años en esta misma zona (Cabañas, 1990; Fernández & Chirino, 1993; Pérez, 2006). Los resultados alcanzados en el análisis espacio temporal efectuado en la bahía de Cd, arrojaron que los valores más altos de velocidad de la corrientes se localizan en el canal de Buba (0.33 m/s) y que las magnitudes en el interior de la bahía son mucho más bajas oscilando entre 0.02 y 0.07 m/s, concordando con los resultados in situ obtenidos por Fernández & Chirino (1993), donde determinaron que en estas localidades se observan corrientes de marea de carácter revercivo, con una intensidad promedio

de 0.30 m/s y máximas de 0.70 a 0.80 m/s. En este análisis también se pudo divisar las convergencias positivas y negativas en la circulación de las aguas, al interactuar con los cayos del interior de la bahía.

CONCLUSIONES

1. La aplicación del programa digital OILTRACK permitió obtener una mayor información puntual y espacial del sistema general de corrientes marinas de los cuerpos de agua estudiados, a partir de la interpolación de valores medidos *in situ* y utilizando un mínimo de equipos registradores.

2. Los valores obtenidos por el modelo coinciden con los registros *in situ*, lo que valida los resultados, obteniéndose registros máximos de corrientes (0.80; 0.25, 0.23 m/s) en la Canal de los Barcos, el canal de Boca Chica y canal de Buba, respectivamente, principales áreas de intercambio con el mar adyacente; los valores mínimos (0.005 m/s) corresponden a las áreas más someras y de menor intercambio.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, R. (1994). Caracterización de la matriz de monitoreo ecológico del pedraplén a cayo Santa María. Bahía San Juan de los Remedios. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Pedagógico "Félix Varela", Santa Clara, 24 pp.
- Arriaza, L., Rodas, L., & Hernández, M. (2002). Corriente superficial inducida por el viento y las mareas en la Bahía de Santiago de Cuba. Contribución a la educación y la protección ambiental VIII Taller, ISBN 959-7136-11-39.
- Arriaza, L., Hernández, M., Rodas, L., & Simanca, J. (2004). a) Simulación de la circulación inducida por el viento y las mareas en el Golfo de Batabanó. *Revista de Investigaciones Pesqueras*. No.1. Ed. E. 2004.
- Bladé, E., Sánchez–Juny, M., Sánchez, H.P., Niñerola, D., & Gómez, M. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable. Dinámica fluvial e ingeniería hidrológica, Universidad Politécnica de Catalunya. Edicions UPC, ISBN: 978-84-9880-389-1.
- Blázquez, L., & Romeu, E. (1982). Contribución al estudio de la circulación general en el Golfo de Batabanó, Zona B. *Reporte de Investigación*, 1: 33.
- Cabañas, R. (1990). Características del régimen termohalino y circulación de las aguas al norte de Caibarién. *Informe preliminar. I. C. H.*, La Habana. 17 pp.
- Calzada, A. (2002). Difusión de petróleo en aguas cercanas a objetivos económicos. Tesis presentada en opción el grado de Master en Ciencias Meteorológicas. Facultad de Física, Universidad de la Habana. 65 pp.
- Chang, W.L. (1994). "Oil Spill Modelling", Marine Meteorology and Related Oceanographic Activities, *Report No. 31*, 247-248 pp.
- Emilson, I., & Tapanes, J.J. (1971). Contribución a la hidrología de la plataforma Sur de Cuba, *Serie Ocean. No9*, La Habana, 31pp.
- García, R., & Kahawita, R. A. (1986). Numerical Solution of the st. Venant Equations with the MacCormack finite – Difference Scheme, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 6, 259 – 276.
- Estudios Marinos GEOCUBA. (1999). Caracterización oceanográfica de la bahía de Buenavista. *Archivo científico-técnico de GEOCUBA*, Regla, Ciudad de La Habana. 25 pp.



- Fernández, L., A. Chirino, L. & Colaboradores. (1993). Atlas oceanográfico de las aguas de archipiélago Sabana - Camagüey. I. C. H. *Departamento de Investigaciones de Oceanografía Física*, La Habana. 235pp.
- Pérez, I., López, D., Jiménez, J., Morales, A., & Gutiérrez, A. (2003). Condiciones oceanográficas generales del ambiente marino en la cayería norte de Villa Clara. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*. Vol. 23 (1):9-12.
- Pérez, I., Sobarzo, M., Schneider, W., Fernández, L., Garcés, J. & Donoso, D. (2005). Tidal regime in shallow bays of northern central Cuba. *Caribbean Journal of Science*.
- Pérez, I. (2006). Corrientes marinas en bahías someras de la plataforma norcentral de Cuba: Caso San Juan de los Remedios y Buenavista. Tesis para adoptar el grado de Master en Oceanografía. Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción.
- Kudersky, S. K., Usatorres, R. T., & Revilla, N. (1982). Variaciones de las características oceanográficas y de la localización del camarón, de acuerdo a las corrientes en la Ensenada de la Broa. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*. Vol. 7 (1).
- Stewart Robert. (2002). Introduction to physical oceanography, Department of oceanography, Texas A & M. University. pp 321.

Recibido: abril de 2011.

Aceptado: agosto de 2011.