



## **Proyecto**

***“Evaluación de los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad y desarrollo de estrategias de adaptación en dos regiones de ecosistemas frágiles de Cuba”***

## **Informe de Resultado**

**“Modelación del posible estado actual y escenario futuro de la dinámica e hidrología de las aguas”**

**Programa Nacional Cambio Climático en Cuba: Impactos, mitigación y adaptación**

**Jefe de Proyecto: Dra. Sandra L. Loza Álvarez**

**INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR**

**Agencia de Medio Ambiente**

**Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente**

**La Habana, 2017**



## **“Modelación del posible estado actual y escenario futuro de la dinámica e hidrología de las aguas.”**

### **AUTORES:**

#### **INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR**

Dr. Marcelino Hernández González

Lic. Johan Navarro Padrón

Dra. Liliam Arriaza Oliveros

Lic. Claudia Bolívar Rodríguez

### **COLABORADORES:**

Téc. Raudel García Santos

Buzo Yohannes Acosta Días

Javier Felix Chaviano

Joel Trincado Ventura

## **I. INTRODUCCION Y ANTECEDENTES.**

El presente trabajo tiene como objetivo “modelar el posible estado actual y escenario futuro de la dinámica e hidrología de las aguas, específicamente en las áreas “Parque Nacional Ciénaga de Zapata” y “Parque Nacional Jardines de la Reina”.

En calidad de principales antecedentes del presente trabajo se cuenta con los estudios de Hernández – González, *et al.*, 2003; Hernández – González, *et al.*, 2006; Arriaza, *et al.* (2007, 2008 a y b); Morales, *et al.*, 2008; Arriaza, 2012.

Para este trabajo se ha podido contar con datos e información de archivo acerca de las corrientes marinas en las áreas de estudio desarrolladas por distintas investigaciones, valiosas, pero con la limitación de que al no concebirse en todos los casos para la modelación, se encontraban dispersas a lo largo de los años.

No obstante, como algo novedoso, se ha podido disponer de datos de mediciones continuas de las corrientes marinas que se realizan por períodos largos de tiempo, gracias a lo cual se pudo asegurar más sólidamente la validación de las salidas del modelo numérico empleado.

Estas mediciones se pudieron establecer en la práctica, luego de la adquisición del equipamiento científico, gracias al esfuerzo mancomunado de investigadores y especialistas de ICIMAR, la Fundación Antonio Núñez Jiménez de la Naturaleza y el Hombre y el Centro Nacional de Áreas Protegidas (Figura 1).

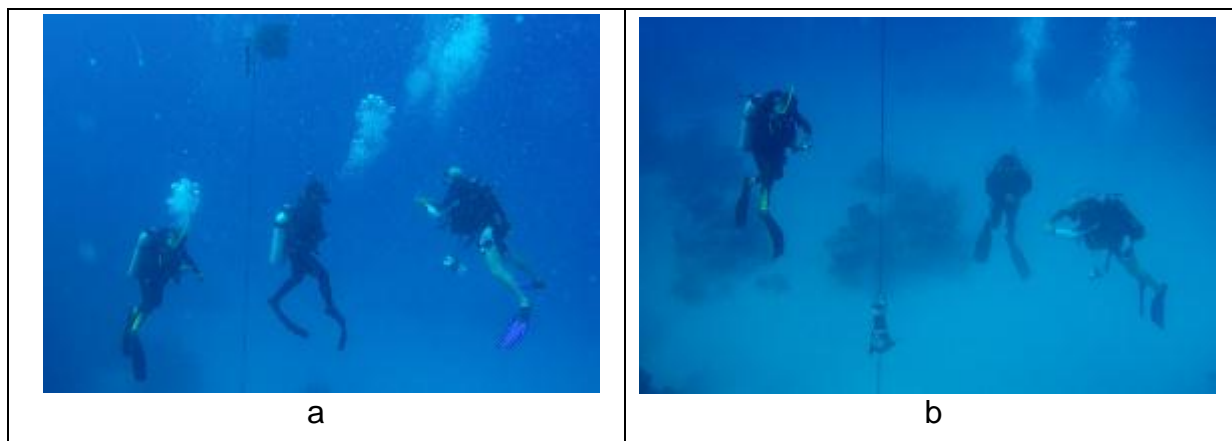


Figura 1. Los especialistas junto al ADCP Nortek Aquadopp (a) y al sensor multiparamétrico Valeport Midas CTD+.

## II. MATERIALES Y METODOS.

### 2.1. Características de las áreas de estudio.

El golfo de Cazones (Parque Nacional Ciénaga de Zapata).

La Península de Zapata fue declarada Reserva de la Biósfera en el año 2000, sitio RAMSAR en el 2001 y es actualmente considerada a nivel nacional como Área Protegida de Recursos Manejados (APRM). También presenta otras categorías más estrictas como es el caso del Parque Nacional Ciénaga de Zapata y el Elemento Natural Destacado Sistema Espeleolacustre de Zapata. El APRM Ciénaga de Zapata abarca una extensión de 628 171 ha de las que aproximadamente 239 300 ha pertenecen a áreas marinas protegidas. El golfo de Cazones se encuentra dentro de las áreas marinas protegidas de la Ciénaga de Zapata. Es una de las zonas donde se desarrollará la investigación de este proyecto.

Parque Nacional Jardines de la Reina.

El Parque Nacional Jardines de la Reina se encuentra en la plataforma suroriental, la cual está integrada por los golfos de Ana María y Güacanayabo. La plataforma suroriental cubana se encuentra al sureste de la isla de Cuba y abarca los golfos de Ana María y de Guacanayabo. Las mayores profundidades de esta zona están entre los 20 y 22 metros, alcanzando en algunas localidades los 25 metros. Los bancos coralinos d Jardines de la Reina, cuya extensión superan los 150 kilómetros, se extienden al borde de la plataforma en esta zona (Lonin, 1977).

El golfo de Ana María se encuentra al sureste de la Isla de Cuba. Se caracteriza por su gran número de bajos, médanos y cayos, entre los que se encuentran los cayos Manatí, Tortuga, Palomas, Rabihorcado, Arenas y otros. Se distinguen los bajos de Tortuga, Corrales, Tomeguín y Lobos. El médano de Vela posee una profundidad media de dos metros y constituye una zona rica en mariscos, peces, quelonios, y otras especies marinas. La profundidad del golfo de Ana María oscila entre los 5 y 20 m. Desde el poblado de Tunas de Zaza hasta la ensenada de Sabanalamar se extiende una franja poco profunda de menos de 5 m y su zona más profunda se encuentra en el centro del Golfo. Los canales más importantes son Bretón, Manatí y Balandras, los cuales son utilizados para el tráfico de buques de gran porte que cargan azúcar a granel en la Terminal de Palo Alto (Hernández – González, *et al.*, 2006).

El golfo de Güacanayabo se adentra unas 40 millas hacia el noreste en cuyo extremo se encuentra la bahía de Manzanillo y la desembocadura del río Cauto. En toda esta región la costa es baja, cenagosa, con vegetación de mangles, el relieve submarino es irregular, con pendientes suaves desde la costa al gran banco de Nueva Esperanza, el fondo es de arena gris, en las periferias de las formaciones coralinas y los canales que la atraviesan, abunda también el fango arcilloso claro y líquido muy propenso a revolverse y enturbiar el agua, proliferan los arrecifes coralinos anulares y bancos surcados por canalizos estrechos y profundos, no se encuentra una vegetación submarina abundante, aunque el arrastre de los barcos camaroneros por la zona, presentan en sus capturas una diversa fauna acompañante sobre todo de tipo bentónica (Hernández – González, *et al.*, 2006).

La circulación general de las aguas en la plataforma suroriental, se caracteriza en condiciones de régimen por un flujo de las aguas del oeste debido a los vientos predominantes del este (Emillson y Tápanes, 1971).

Las características hidrológicas generales de la plataforma suroriental fueron descritas por Lluís-Riera (1977) estudio que se basó en el análisis de la distribución espacio temporal de la temperatura y la salinidad, así como de los principales parámetros químicos. Entre sus conclusiones, la autora señaló el carácter limitado y estable de la influencia oceánica sobre las aguas de plataforma y la dependencia de la variación espacial y estacional de los factores físicos y químicos, entre los cuales están la temperatura y la salinidad, de las precipitaciones y al escurrimiento. También destacó, que en el Golfo de Ana María se encuentran más acusados las variaciones estacionales y los gradientes cerca del límite oceánico concluyendo, que en el mismo son menos favorables las condiciones de intercambio de las aguas que en el golfo de Güacanayabo (Hernández – González, *et al.*, 2006).

Los ciclones tropicales son los eventos hidrometeorológicos más peligrosos para la plataforma suroriental aunque no se han reportado con una frecuencia elevada como en la plataforma sur occidental. Sin embargo las zonas marinas y litorales de los golfos de Ana María y Güacanayabo han sufrido el impacto de huracanes de consecuencias catastróficas como el huracán de 1932 que destruyó el poblado de Santa Cruz del Sur y el Iván en el 2005, por solo citar dos casos (Hernández – González, *et al.*, 2006).

## 2.2. Base de datos.

Con la finalidad de validar las modelaciones se emplearon dos fuentes de datos de corrientes marinas:

1. Mediciones históricas e información estadística de las corrientes marinas, realizadas en las zonas de estudio, publicadas por investigadores de ICIMAR y Geocuba - Estudios Marinos, o que se encuentran en los archivos científicos de las mencionadas instituciones (Blázquez y Romeu, 1983; Blázquez, *et al.*, 1988; Viamontes, *et al.*, 1990; Victoria, *et al.*, 1990; Simanca, *et al.*, 2004 y 2005; Hernández – González, *et al.*, 2006; Lorenzo – Sánchez, 2007; Morales, *et al.*, 2008; Fernández - Vila, Viamontes y Ferro-Suárez, 2009; Bolívar, 2012) y en expediciones conjuntas recientes Geocuba Estudios Marinos – ICIMAR (Alamo, *et al.*, 2014): en marzo y abril de 2014, que corresponde a la época del año menos lluviosa y en julio y agosto de 2014 correspondiente a la época del año más lluviosa. De esta forma se realizó una validación parcial de la modelación de las corrientes marinas ya que las estaciones correntométricas, que aunque estaban distribuidas por las regiones de estudio, el golfo de Batabanó y el golfo de Ana María -Guacanayabo, no se encontraban exactamente en las localidades de mayor interés y por otra parte, sus registros no fueron mayores de 28 días (GEOEM (2017)).
2. Con el desarrollo del presente proyecto se pudo disponer de sensores oceanográficos de última generación, adquiridos a través de McLane Researchs Laboratories inc. Instruments, con el apoyo y auspicio de WWF – Holanda y la Fundación Antonio Núñez Jiménez de la Naturaleza y el Hombre (McLane Labs, 2017), con los que se fondearon sendas estaciones multi-paramétricas (Figuras 2 y 3), en las zonas de estudio.

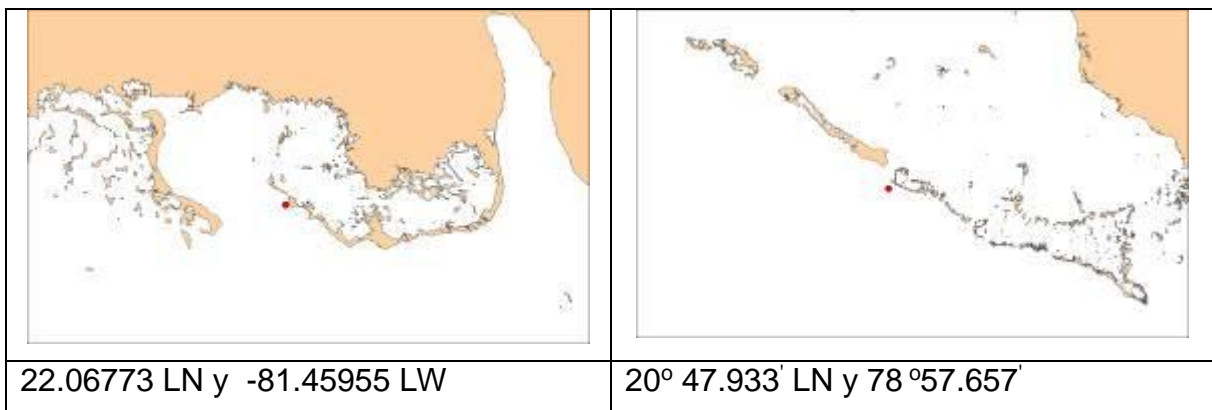


Figura 2. Esquemas de la ubicación geográfica y coordenadas, de las estaciones multiparamétricas permanentes.

Estas estaciones permitieron obtener por primera vez las primeras series temporales de múltiples parámetros oceanográficos en las aguas marinas del archipiélago cubano. Las mismas continúan midiendo y se mantendrán funcionando con carácter permanente, con la finalidad de que garanticen, con el paso del tiempo, estudios de mayor alcance, acerca de la influencia de los eventos y la tendencia del clima, sobre los ecosistemas marinos y costeros.

### 2.3. Equipamiento.



a



b

[www.valeport.co.uk](http://www.valeport.co.uk)

[www.nortek-as.com](http://www.nortek-as.com)



c



Oxígeno disuelto	0 – 16ml/l	+/-0.07ml/l / 0.017ml/l
pH	1 - 13	+/-0.05 / 0.01
Clorofila	0 - 150µg/l	±0.03µg/l / 0.005%

Figura 3. El ADCP Nortek Aquadopp (a) y el sensor multiparamétrico Valeport Midas CTD+ (b). La asesoría técnica del proveedor (c). El diseño del fondeo (d). Parámetros técnicos de los sensores (e).

#### 2.4 Modelación numérica.

El **SIST**ema de cálculo de **CO**rrientes **M**arinas para Cuba (SISCOM) se basa en el modelo numérico Princeton Ocean Model (POM) (Blumberg y Mellor, 1987). Este modelo numérico de la circulación marino-costera es el más adecuado, de los considerados validados para las aguas de la plataforma insular y oceánicas adyacentes a Cuba (Baban S. M. J y S. Jules-Moore, 2005) y se encuentra ampliamente descrito en Arriaza (2012).

Además, el POM ha sido ampliamente empleado para la simulación de la dinámica tanto en aguas costeras como oceánicas (Mellor y Yamada, 1982; Ezer y Mellor, 1994; Blumberg y Kim, 2000; Blumberg et al., 2003; Lee y Mellor, 2003; Oey y Lee., 2003; Arriaza y Milian, 2005 b; Arriaza *et al.*, 2006 a y Arriaza, Rodas, Simanca, Ramírez y García, 2006 c).

El ascenso del nivel medio del mar se estimó partiendo de los resultados del Macroproyecto “Escenarios de peligros y vulnerabilidad de la zona costera cubana, asociados al ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 y 2100”, asumiendo y aplicando 27 y 85 cm de ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 y 2100, para los escenarios de corrientes marinas, mediante el modelo SISCOM (Arriaza, 2012).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1. Estado actual

##### 3.1.1. Corrientes marinas en el golfo de Batabanó.

La plataforma suroccidental o golfo de Batabanó limita al sur con una serie de cayos, entre los que se distinguen los de San Felipe y Los Indios, al oeste de la Isla de la Juventud y la cayería situada entre punta del Este y cayo Largo del Sur, denominada archipiélago de Los Canarreos, al este. La existencia de este gran número de cayos constituye una barrera natural entre el golfo de Batabanó y el Mar Caribe, con numerosos canales que facilitan el intercambio entre la plataforma y el océano adyacente (Figura 4).



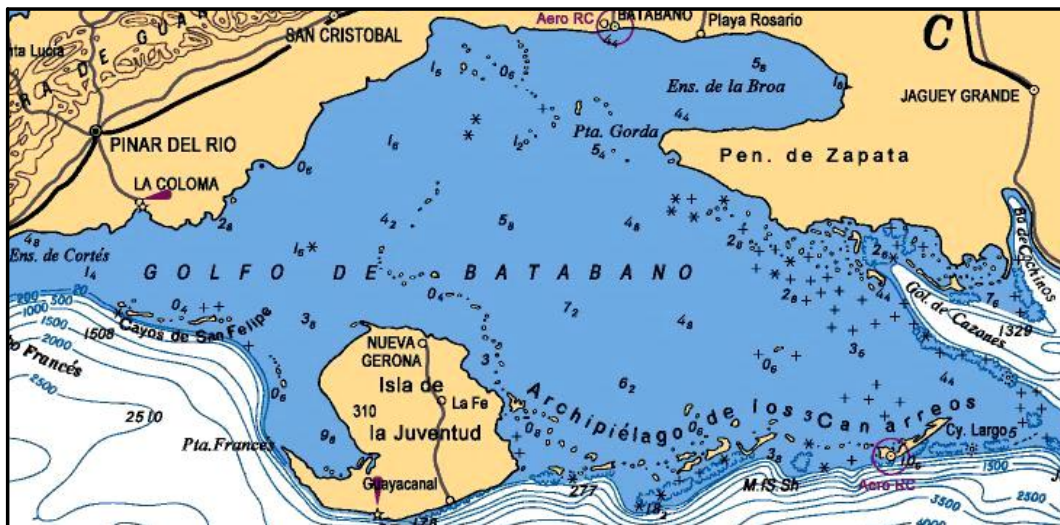


Figura 4. Carta esquema del golfo de Batabanó.

Al sur de golfo de Batabanó, predominan las corrientes de marea, con semi-período de marea semidiurna (6 horas como promedio, aunque el vaciante dura 1 – 2 horas más que el llenante) en dos direcciones opuestas, coincidentes con la orientación del eje del canal (Figuras 5 y 6 B, C, D y E). Poseen intensidades entre 0,10 y 0,25 m/s y velocidades máximas, generalmente entre 0,40 y 0,50 m/s, aunque se han registrado velocidades entre 0,75 y 0,85 m/s en los canales de cayos Campos y Largo del Sur, respectivamente.



Figura 5. Circulación en los canales de acceso entre el Mar Caribe y el golfo de Batabanó (Tomado de Lorenzo-Sánchez, S. L., L. Rodas, L. Arriaza, M. Hernández,

A. Morales y J. Viamonte, 2007).

En la parte central del golfo de Batabanó predominan las corrientes de deriva con dirección oeste, con menor influencia de las mareas, debido a la acción constante de los vientos predominantes del primer cuadrante, el que provoca un reforzamiento de la ocurrencia de corrientes con dirección oeste, debilitando la libre acción de la onda de marea (Figura 5a). Sin embargo, esta última se manifiesta, en las pulsaciones de la intensidad de la corriente con semi-período de marea semi-diurna (6 – 7 horas). En períodos de calma eólica prolongada, se observan corrientes débiles de marea rotatoria, con casi igual probabilidad de ocurrencia de direcciones en todos los rumbos. Poseen velocidades medias entre 0,10 y 0,15 m/s y máximas entre 0,15 y 0,25 m/s; con vientos sostenidos superiores a 25 km/h pueden alcanzar intensidades superiores a 0,50 m/s (Figura 5a).

Las velocidades medias hacia el oeste del centro del golfo oscilan entre 0,017 y 0,048 m/s; en la porción oeste del golfo entre 0,026 y 0,083 m/s y al sureste del mismo, entre punta del Este y cayo Largo entre 0,053 y 0,477 m/s. Este último valor se registró al norte de cayo Ávalos, con dirección predominante norte; indicando entrada de agua por dicho canal.

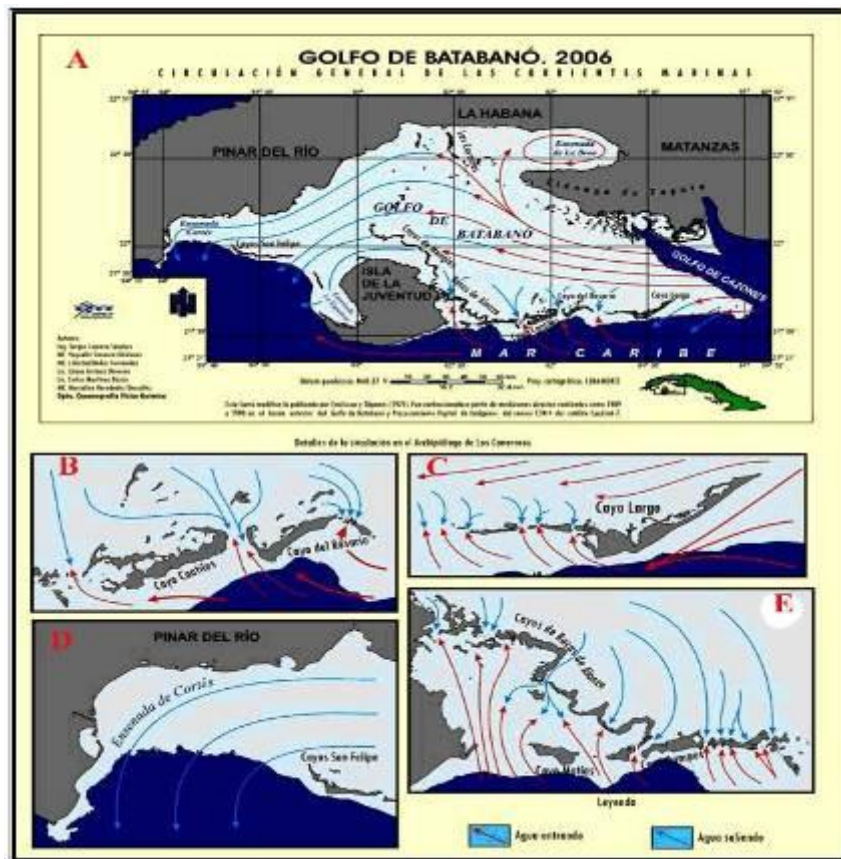


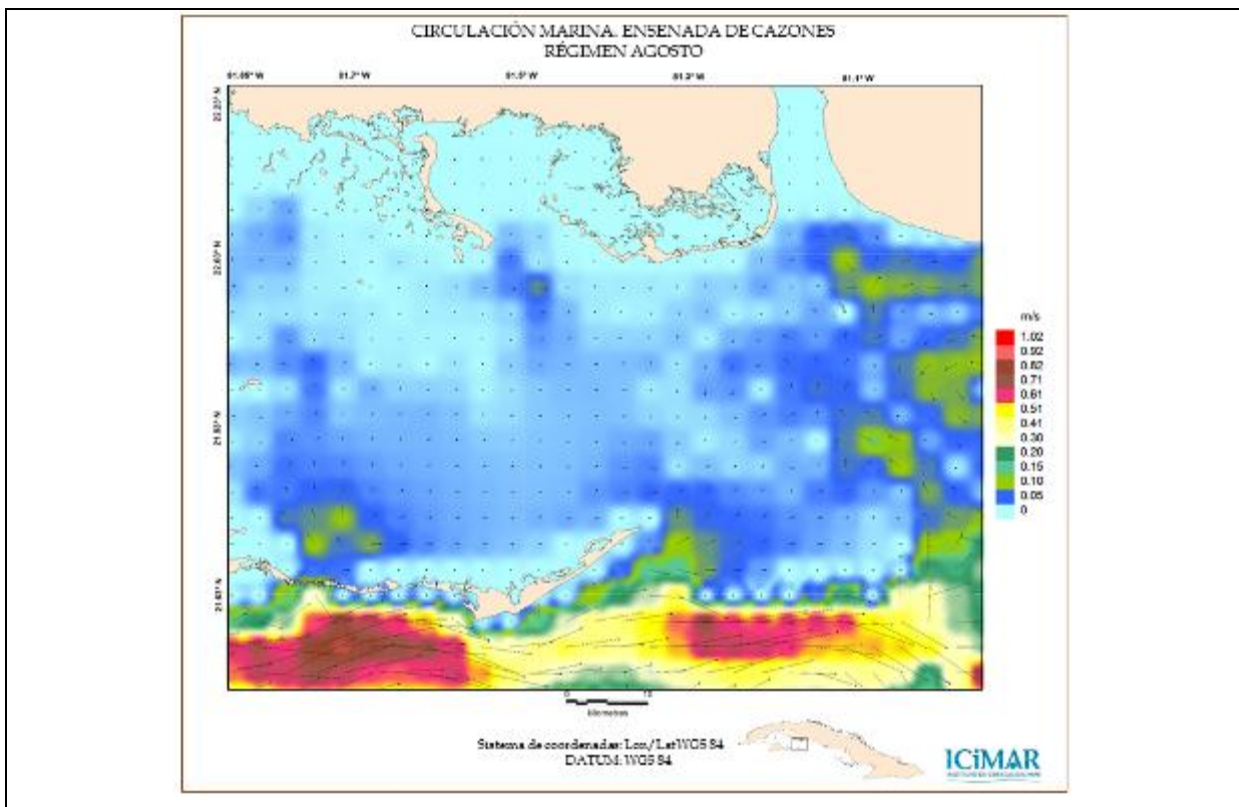
Figura 6. Circulación de las aguas en el golfo de Batabanó (Tomado de Bolívar, 2012).

En la parte suroccidental del golfo, predominan las corrientes reversivas de mareas débiles para las cuales, las direcciones hacia el tercer y cuarto cuadrantes se refuerzan por el efecto de embudo que se crea en esta área, por la cual el golfo evacua sus aguas hacia el Mar Caribe (Figura 6 A y D). En esta zona, las velocidades medias de las corrientes marinas oscilan entre 0,05 y 0,10 m/s y máximas entre 0,10 y 0,15 m/s, disminuyendo hacia la costa, el por ciento de calmas disminuye y la estabilidad direccional aumenta. Hacia la costa, aumentan aún más las calmas y la estabilidad direccional. Es característico de estas corrientes, las pulsaciones de la velocidad con semiperiodo de marea semi-diurna (6 – 7 horas).

La dirección del movimiento neto de las aguas del golfo de Batabanó es de este a oeste, con velocidades entre 0,01 y 0,047 m/s. Pero, dicho movimiento presenta singularidades como un giro anticiclónico al oeste de la Isla de La Juventud y divergencias en la circulación a la entrada de la ensenada de La Broa (Figura 6 A).

### 3.1.2. Corrientes marinas al sur de la ciénaga de Zapata.

Al sur de la península de Zapata, las corrientes marinas toman dirección oeste, en correspondencia con la circulación general del golfo. Sin embargo, en las aguas profundas al este de la península, las corrientes marinas simuladas forman remolinos y se bifurcan adentrándose también en el golfo de Cazones y en las aguas marinas más próximas a la ciénaga. Las velocidades calculadas fluctúan entre 0,05 m/s cerca de la costa, y 1,02 m/s en las aguas profundas al sur de la península (Figura 7).





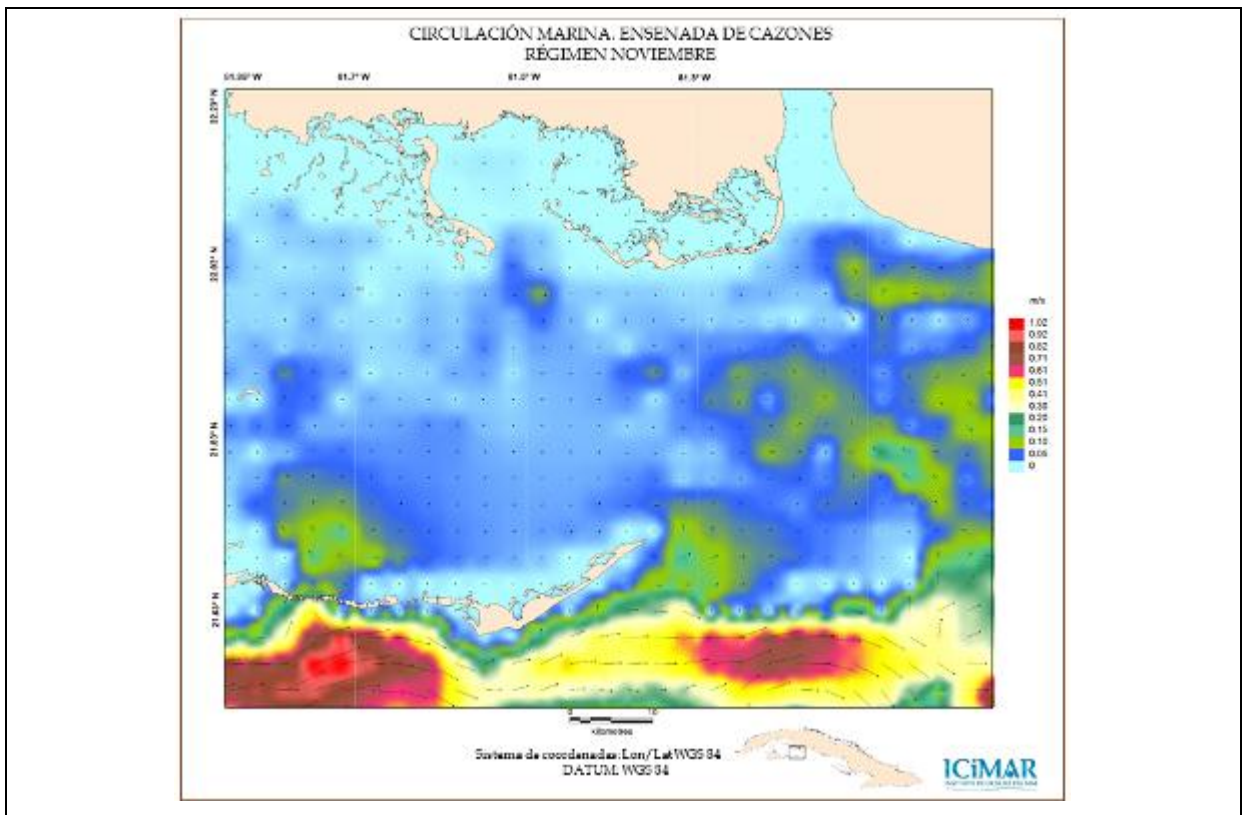


Figura 7. Circulación marina media simulada para las aguas al sur de la Ciénaga de Zapata.

Los valores medios obtenidos mediante la simulación numérica (Figura 7) se correspondieron con el valor medio de las corrientes marinas medidas entre el 13 de agosto de 2016 y el 1 de marzo de 2017 (9601 datos tomados cada 30 minutos), el cual resultó de 0.05 m/s (Figura 8).

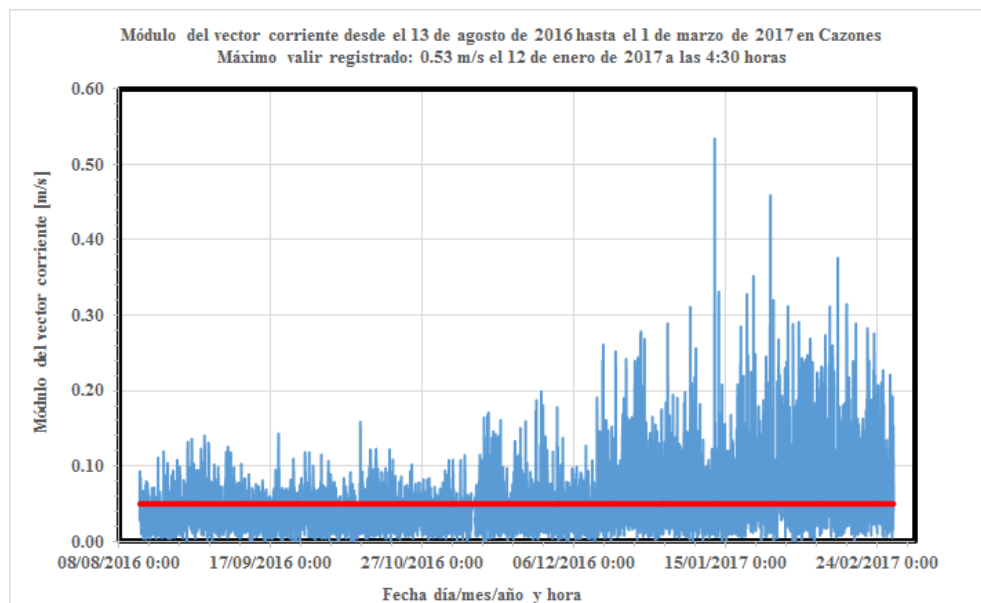


Figura 8. Valores de la velocidad de la corriente medidos por la estación permanente ubicada en el golfo de Cazonos. La línea roja representa el valor medio de la magnitud del vector corriente: 0.05 m/s.

### 3.1.3. Corrientes marinas en los golfos de Ana María y Guacanayabo.

Los golfos de Ana María y Guacanayabo se encuentran separados del Mar Caribe por una estrecha y larga franja somera donde emergen numerosos cayos, entre los que se destacan cayos de las Cinco Balas, de las Doce Leguas y el Laberinto de las Doce Leguas. Estos cayos están separados por numerosos canales los que garantizan el intercambio entre la plataforma y el océano (Figura 9). Entre los canales más importantes se encuentran el de Tunas, de Bretón, de Boca Grande, de Caballones y de Madrona, todos ellos significativos en cuanto a la dinámica de las aguas en el interior de la plataforma, ya que precisamente por ellos penetra más libremente la onda de marea, “oxigenando” el interior de la misma.

En las zonas someras del interior de la plataforma, también existe gran profusión de cayos y bajos, allí la onda de marea se transforma y debilita, por lo que las corrientes marinas son de baja intensidad, aumentando las calmas, mientras en las zonas más profundas sucede lo contrario (Figura 9). En el interior de estos golfos, las corrientes poseen velocidades entre 0,15 y 0,20 m/s, y presentan máximas absolutas entre 0,50 y 0,80 m/s en los canales al sur. Generalmente, la frecuencia de calmas es inferior al 15 %.

En la parte central de la plataforma, predominan las corrientes de deriva al noroeste, debido a la acción constante de los vientos predominantes del primer cuadrante, los que provocan un reforzamiento de la ocurrencia de corrientes con dirección oeste, debilitando la libre acción de la onda de marea. Sin embargo, esta última se manifiesta, en las pulsaciones de la intensidad de las corrientes, con semiperiodo de marea semidiurna (6 – 7 horas). Poseen velocidades medias inferiores a 6 cm/s y máximas absolutas que oscilan entre 0,15 y 0,25 m/s, con alta frecuencia de calmas (entre 60 y 80 %).

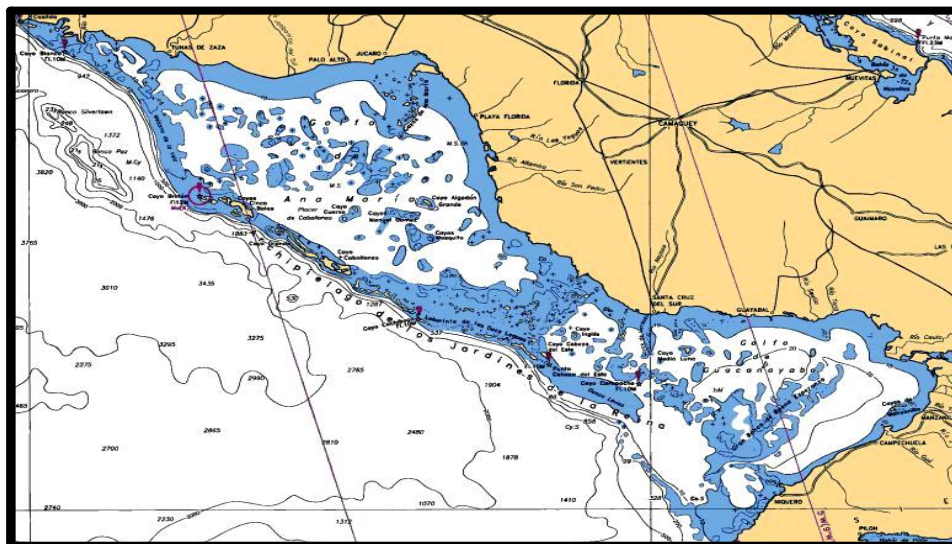


Figura 9. Carta esquema de los golfos de Ana María y Guacanayabo.

En los canales delimitados por los cayos interiores de la plataforma, predominan las corrientes reversivas de marea de moderada intensidad. En estas localidades aumenta la frecuencia de calmas y disminuye la intensidad de las corrientes marinas. El movimiento reversivo se hace más amplio. Las velocidades medias oscilan entre 5 y 10 cm/s, con máximas entre 0,20 y 0,30 m/s (Figura 10 C y D).

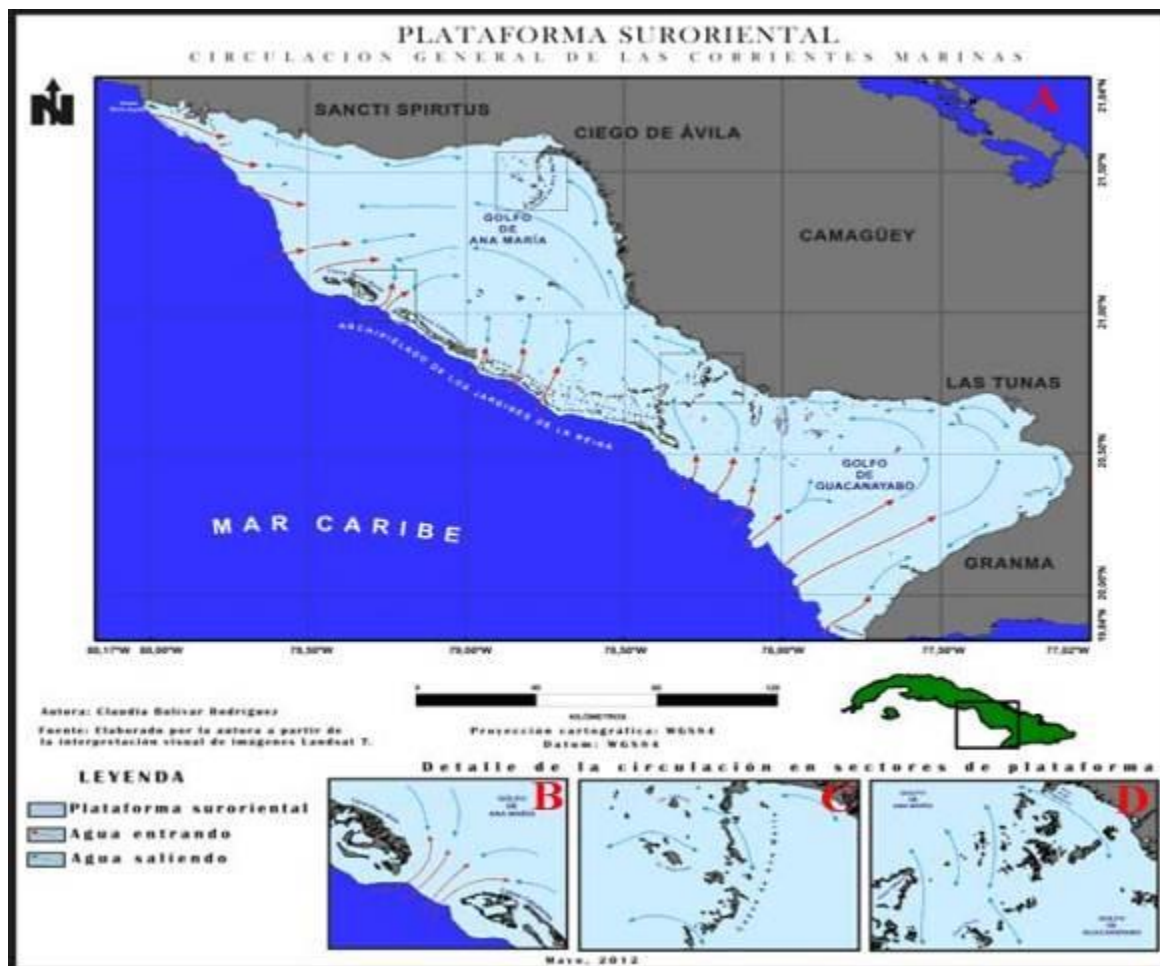


Figura 10. Circulación general de las aguas en los golfos de Ana María y Guacanayabo (Tomado de Bolívar, 2012).

### 3.1.4. Corrientes marinas en el archipiélago Jardines de la Reina.

Jardines de la Reina está incluida en una categoría de protección, como región especial de desarrollo sostenible (REDS) (Berovides y Gerhartz, 2007). Esta área contiene la cadena de cayos que separan el golfo de Ana María, del Mar Caribe. En dicho golfo, las aguas penetran por los canales y pasas que se abren a través del archipiélago de los Jardines de la Reina, entre ellos: Canal de Bretón, Canal Boca Grande, Canal de Caballones, Canal Cabeza del Este y pasa de Juan Grin. En dichos canales y pasas se registran corrientes reversivas de marea en ocasiones intensas, con semi-período de marea semi-diurno (seis horas como promedio, aunque el vaciante dura de una o dos horas más que el llenante) y en dos direcciones opuestas, coincidentes con la orientación del eje del canal. Las más

intensas, en el golfo de Ana María, se han observado en los canales de Bretón, Caballones y Boca Grande. Poseen velocidades medias entre 0,30 y 0,40 m/s y máximas entre 0,75 y 1,00 m/s.

Particularmente, el canal de Caballones, al sureste del cual se instaló la estación multi-paramétrica permanente (Figura 11), sigue curso recto en dirección noreste, con 3,5 m de extensión y profundidades mínimas de 3,7 m en su entrada sur y de 4 m en la norte. Las costas de los cayos que limitan el canal son de playas, en la costa este del mismo crecen palmas yuraguanas y vegetación arbustiva; mientras que en la oeste se caracteriza por un espeso manglar. La corriente en esta zona es originada por las variaciones del nivel medio del mar, ya que la energía del movimiento estacionario es mucho menor que la energía del movimiento no estacionario a razón de 0,01.

Según mediciones históricas en el canal de Caballones, ubicado al noroeste de cayo Anclitas, las corrientes son reversivas de marea, con velocidad media de 30,6 cm/s, y predominio de la entrada de agua con máximos de 50,3 cm/s (Figura 11), gracias a la influencia de la corriente de marea.



Figura 11. Resultante del movimiento del agua cerca de cayo Anclita, según mediciones históricas de corrientes marinas. El círculo rojo representa la ubicación de la estación multi-paramétrica permanente.



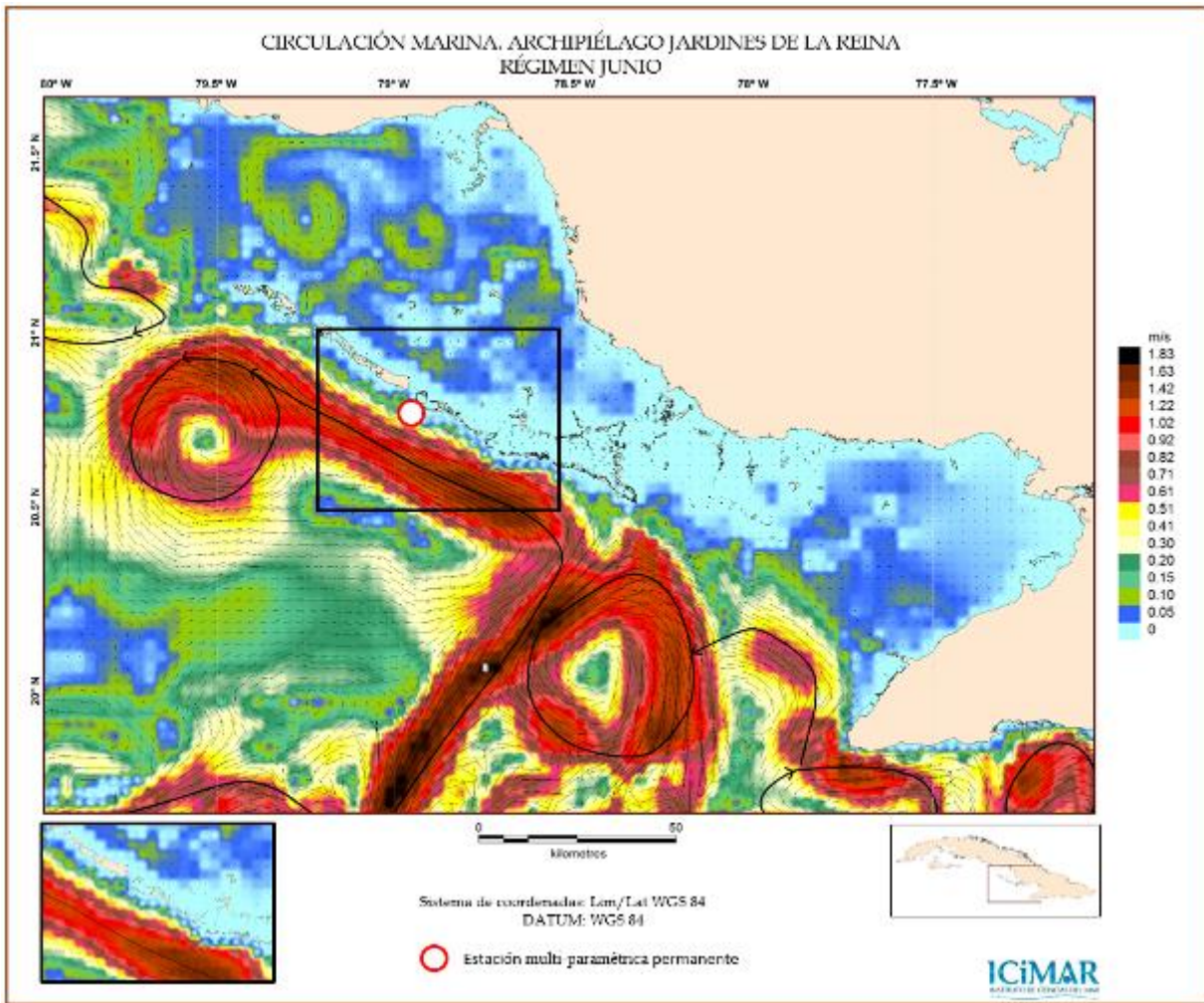


Figura 12. Circulación marina media simulada para las aguas al sur de Jardines de la Reina.

Los valores medios obtenidos mediante la simulación numérica (Figura 12) se correspondieron con el valor medio de las corrientes marinas medidas entre el 7 abril 2016 hasta el 2 de febrero de 2017 (14468 datos tomados cada 30 minutos), el cual resultó de 0.08 m/s (Figura 13).



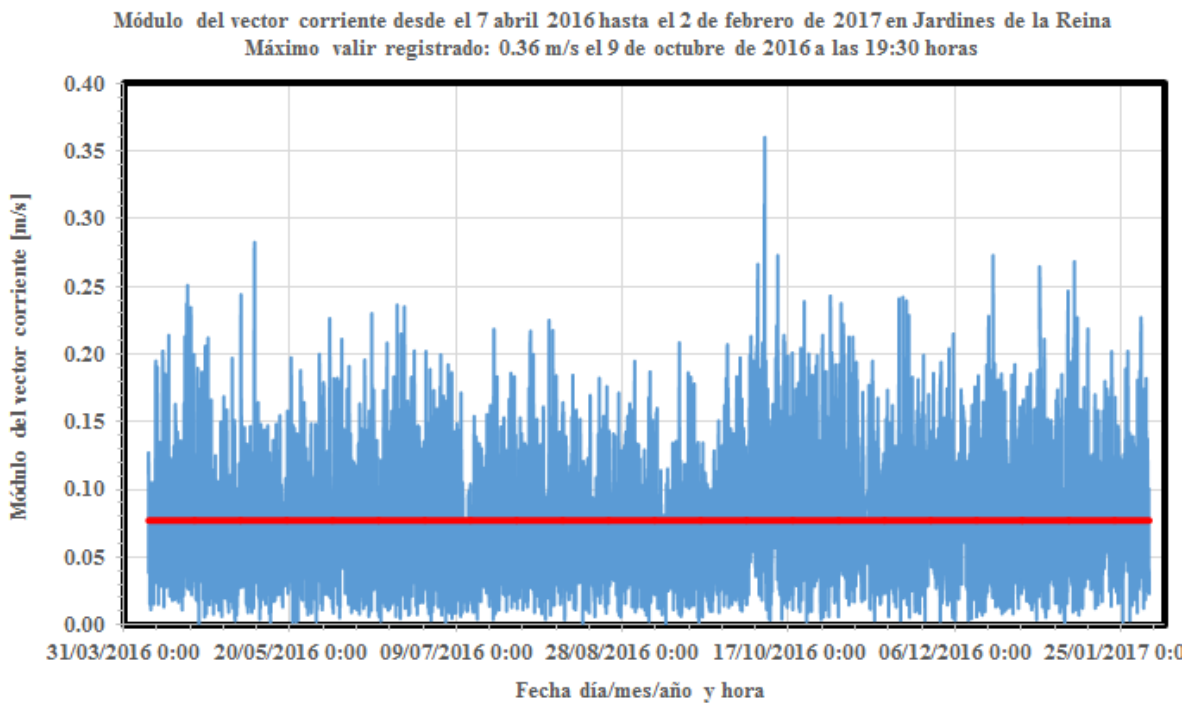


Figura 13. Valores de la velocidad de la corriente medidos por la estación permanente en la zona de estudio. Valores de la velocidad de la corriente medidos por la estación permanente ubicada en el golfo de Cazonas. La línea roja representa el valor medio de la magnitud del vector corriente: 0.08 m/s.

### 3.2. Escenarios

#### 3.2.1. La temperatura de las aguas.

No se observaron diferencias importantes que puedan suponer una tendencia, entre los valores de temperatura registrados por las estaciones automáticas permanentes (Figs. 14 y 15) y la información histórica acerca de la distribución espacio – temporal de la temperatura del agua en las zonas de estudio (Lluís Riera, 1972 y 1980).

Temperatura del agua (7 abril 2016 a 2 de febrero de 2017)  
MAX 4 de julio de 2016

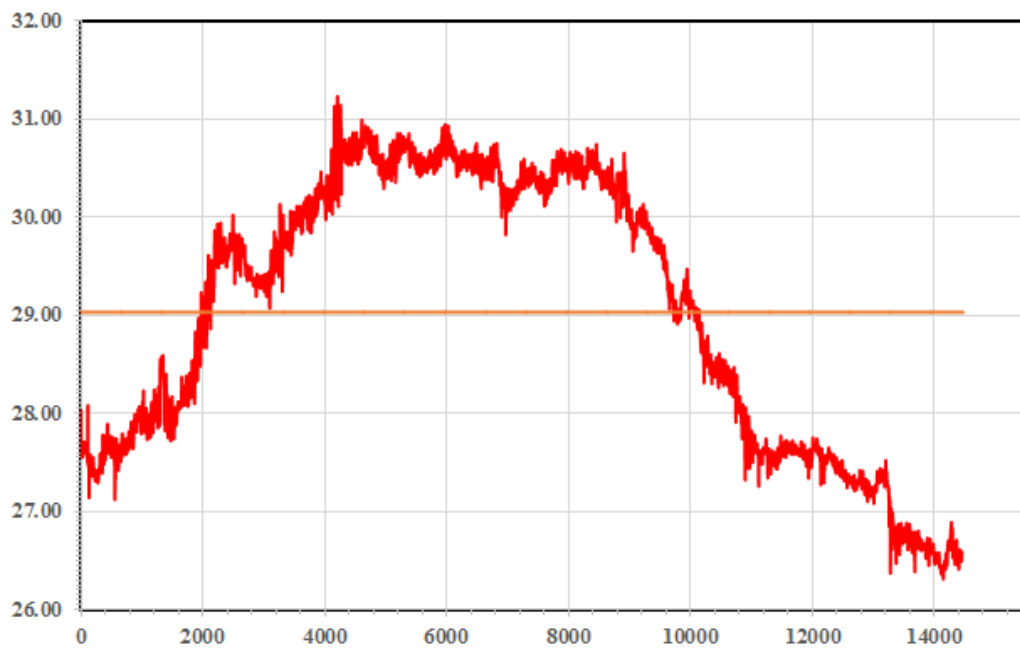


Figura 14. Temperatura del agua en Jardines de la Reina. La línea representa la temperatura promedio.

Temperatura del agua (13 / agosto / 2016 a 1 /marzo / 2017)  
MAX 27 de agosto de 2016

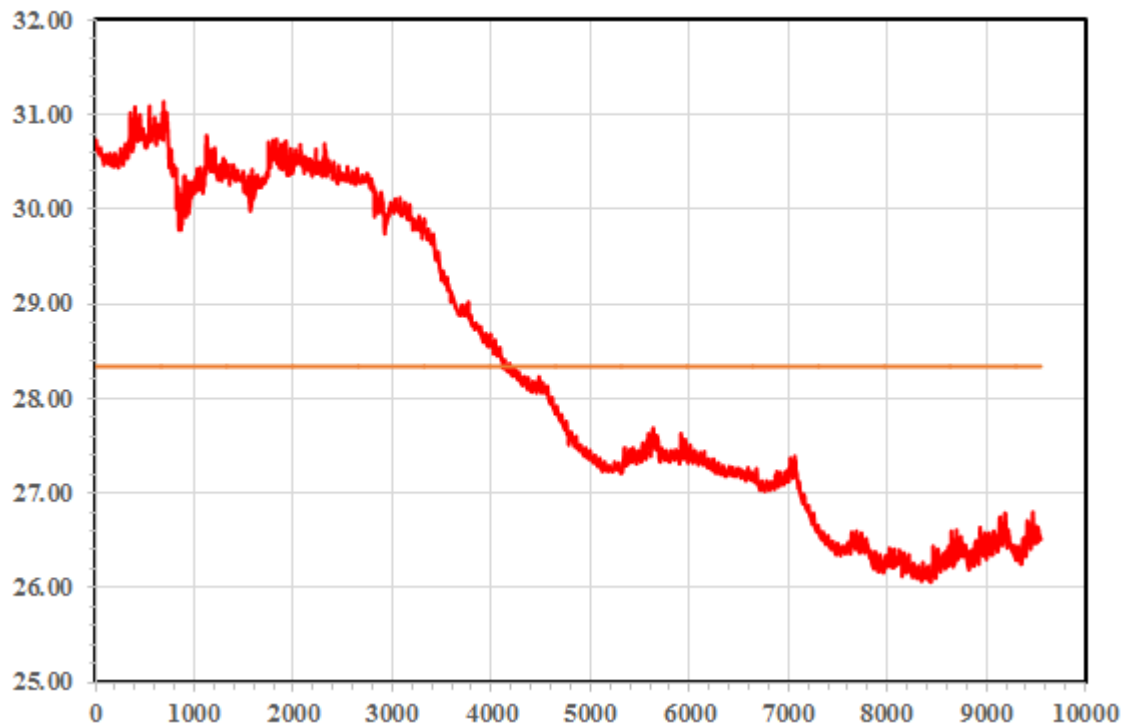


Figura 15. Temperatura del agua en el golfo de Cazon. La línea representa la temperatura promedio.

### 3.2.2. Las corrientes marinas.

Desde el punto de vista dinámico, en la plataforma insular, las corrientes marinas en sus grandes planicies son gobernadas principalmente por el régimen de vientos imperantes de los Alisios (Emilsson y Tápanes, 1971); mientras en las pasas y canales interiores y exteriores, las corrientes marinas están determinadas por la marea. Para el 2100, hay aún una gran incertidumbre en la proyección de los campos de viento y del patrón de los eventos meteorológicos extremos (IPCC, 2013).

Desde el punto de vista geomorfológico, el retroceso de la línea de costa y el aumento de la profundidad del fondo marino en las zonas de la plataforma insular, sería más evidente en el golfo de Batabanó que en los golfos de Ana María Guacanayabo (Hernández – González, *et al.*, 2003, 2012, 2013 y 2014), por lo que es en las diferentes áreas de esa zona en donde se podrían percibir mejor los cambios de la dinámica marina debido al ascenso del nivel medio del mar.

Debido a esto, solo se justifica extender los escenarios de la dinámica de las aguas de la plataforma insular hasta el 2100 en aquellas zonas en las que las condiciones geomorfológicas y geológicas de la zona costera propician cambios bruscos ante el ascenso del nivel medio del mar, como es el caso del golfo de Batabanó.

Como se puede apreciar en la Figura 16 el ascenso del nivel medio del mar de 85 cm para el 2100, supondría un significativo impacto de la inundación permanente de las aguas con un aumento de la intensidad de las corrientes marinas en más de un 50% en el área de estudio del golfo de Cazon. Desde el punto de vista de los arrecifes coralinos, solo se puede esperar un impacto menor, e incluso beneficioso gracias a:

1. Si bien aumentaría la profundidad de las aguas, el aumento de la dinámica de las aguas, con un patrón de las corrientes marinas de dirección oeste, disminuiría la turbidez de las mismas, ya que las zonas de mayor retroceso de la línea de costa se encuentran justamente hacia el oeste.
2. El aumento de la profundidad, favorecería la penetración de las condiciones oceánicas, modulando los cambios extremos de la temperatura de las aguas.
3. El retroceso de la línea de costa alejarían los arrecifes de la influencia directa de las zonas costeras en esa área de la zona de estudio.

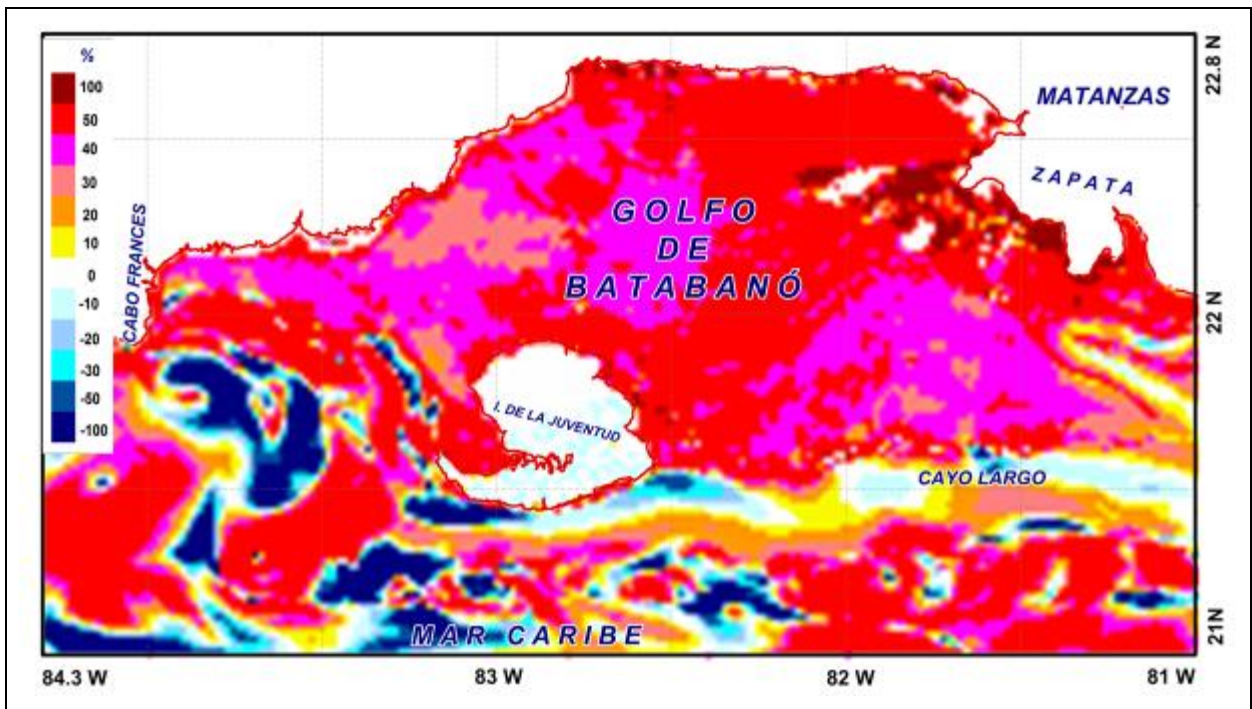


Figura 16. Escenario de las corrientes marinas para el golfo de Batabanó y el golfo de Cazones para el 2100.

Para Jardines de la Reina (Figuras 17 y 18) las corrientes marinas no presentan grandes cambios en velocidad y dirección para un ascenso del nivel medio del mar de 27 cm hacia el 2050 (Macroproyecto, 2016).

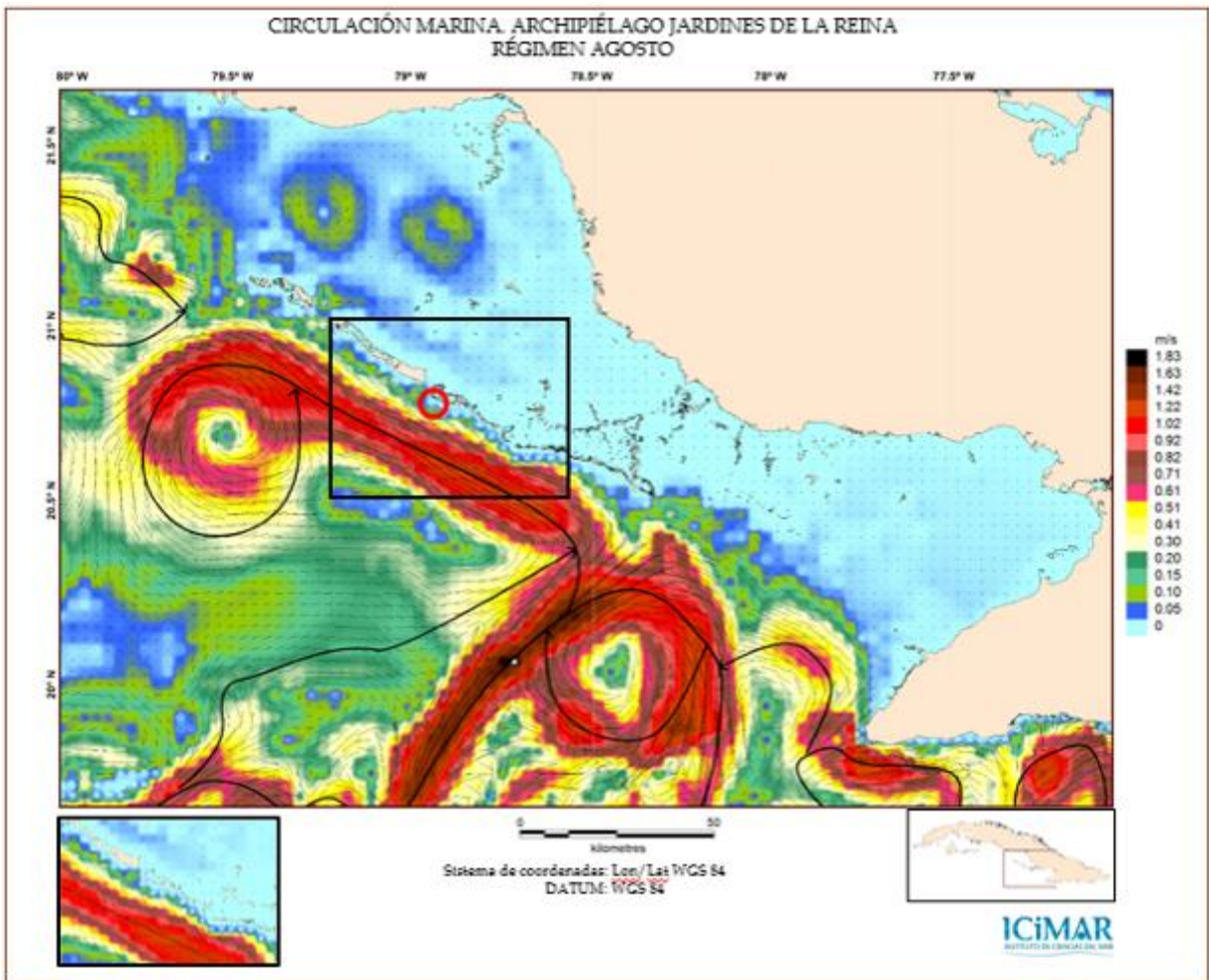


Figura 17. Escenario de las corrientes marinas para el año 2050 en Jardines de la Reina en agosto.



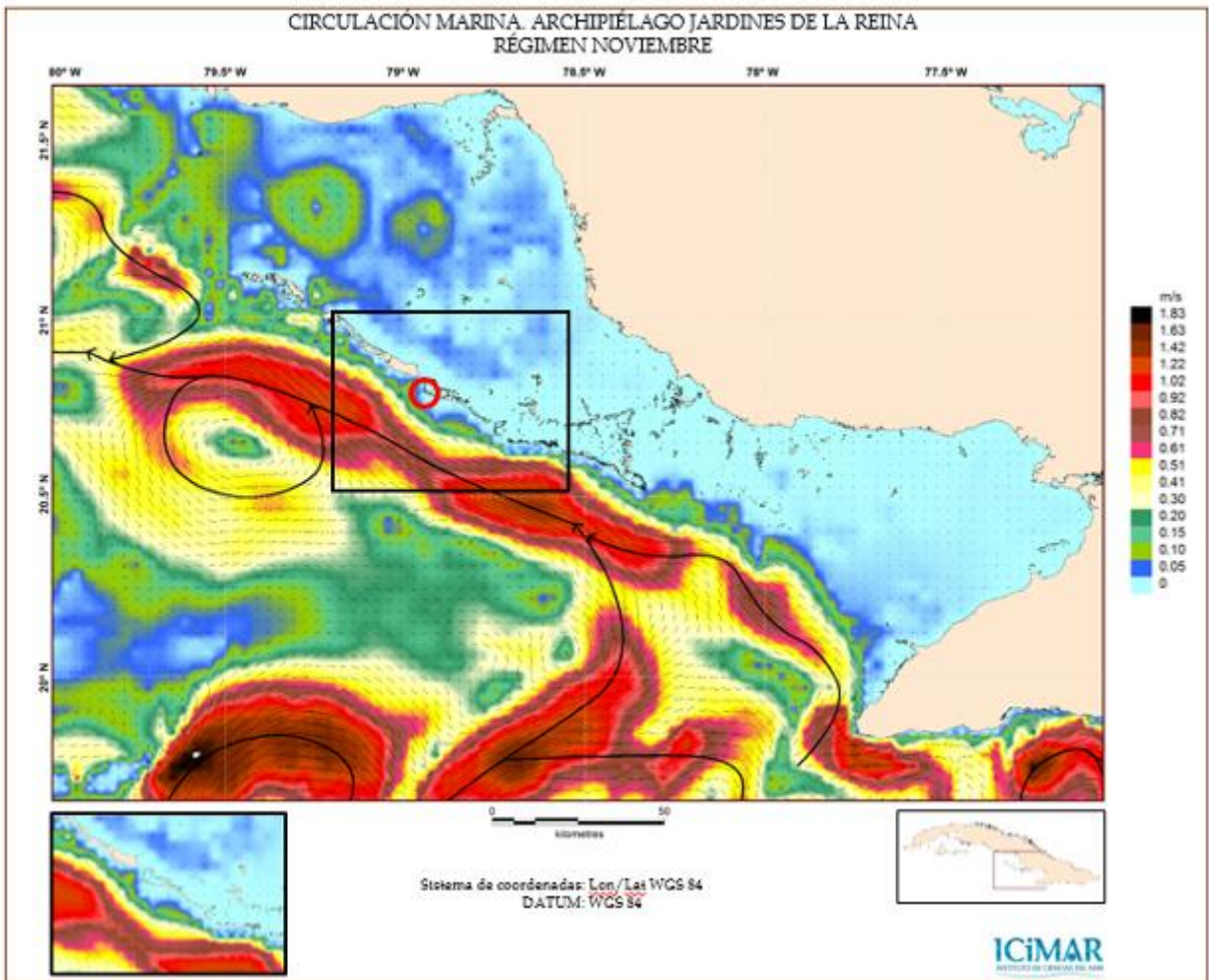


Figura 18. Escenario de las corrientes marinas para el año 2050 en Jardines de la Reina en noviembre.

Lo más relevante resultó que las aguas al sur del archipiélago Jardines de la Reina para el 2050, presentan características similares a las actuales, con velocidades cercanas a 1m/s y dirección oeste. Lo anterior resulta favorable para la conectividad de los ecosistemas, con las aguas profundas adyacentes y con las aguas someras de la plataforma.

Los cambios en esta zona, para los años posteriores al 2050 se suscitarían más lentamente que en el golfo de Batabanó. De la misma forma, aumentaría la influencia de las aguas oceánicas en las zonas exteriores de plataforma, aunque de manera gradual, beneficiando la sobre vivencia de los arrecifes coralinos gracias a la moderación que sufren las variaciones extremas de los parámetros hidrológicos. Por otra parte, de acuerdo a estos resultados, no deben cambiar de forma importante, los patrones físicos que intervienen en la conectividad marina.

## CONCLUSIONES

1. No se encontró tendencia en los registros de los datos de temperatura de las aguas en las zonas de estudio “golfo de Cazones” y “Jardines de la Reina”, en comparación con estudios realizados a inicios de los años 70.
2. Amplias zonas del golfo de Batabanó y del golfo de Cazones, podrían experimentar un fuerte incremento de la velocidad de las corrientes marinas, de hasta de un 50% en este último con respecto a la actualidad, hacia el 2100, principalmente a causa de los cambios en las condiciones de frontera de la dinámica de las aguas, ante el retroceso de la línea de costa.
3. En Jardines de la Reina, no se esperan cambios importantes para el 2050 en relación con la velocidad y dirección de las corrientes marinas, aunque el aumento de la profundidad (0.27 m) propiciará un mayor intercambio en el límite exterior de la plataforma, y a través de las pasas y canales del mencionado archipiélago, lo cual debe tener efectos favorables para la vida marina.

## BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

1. Álamo, B., A. I. Alfonso, D. Damián y Y. Masjuán (2014). Monitoreo ambiental para el establecimiento de una línea base según las características biológicas y oceanográficas de los ecosistemas marinos y costeros de jardines de la reina. Reportes de campo I y II. Auspiciados por el proyecto “Evaluación de los Impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad y desarrollo de estrategias de adaptación en dos regiones de ecosistemas frágiles de Cuba”, el Programa Nacional Cambio Climático en Cuba: Impactos, mitigación y adaptación, y Geocuba Estudios Marinos.
2. Arriaza, L. (2012). Modelación de Corrientes Marinas en Zonas del Archipiélago Cubano, 121 pp. Tesis de Doctorado en opción al grado de Doctor en Ciencias Meteorológicas.
3. Arriaza L., D.E. Milian, P. Romero, J. Simanca, O. Ramírez, L. Rodas, S.L. Lorenzo y M. Martínez (2007): Metodología para la estimación del comportamiento de las corrientes marinas en Cuba. Casos de estudio: aguas oceánicas adyacentes a Cuba y bahía de Santiago de Cuba. III Conferencia Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, CD-R de UCIENCIA 2007, Archivo científico de la UCI, 12 pág., ISBN 978-959-286-005.
4. Arriaza L., L. Rodas, J. Simanca, S. L. Lorenzo, D. E. Milian y P. Romero (2008 a): Contribución a la gestión ambiental del golfo de Batabanó: modelación numérica de corrientes marinas. Rev. Invest. Mar. No. 29, pág. 89-99, ISSN 0252-100962.
5. Arriaza L., D.E. Milian, J. Simanca, L. Rodas, S. L. Lorenzo Sánchez, M. Hernández y O. Linares (2008 b): Corrientes marinas en la plataforma Suroriental cubana. Rev. Serie Oceanológica, No 4, pág. 1-10, ISSN 2072-800X. <http://oceanologia.redciencia.cu/articulos/articulo41.pdf>.
6. Arriaza L., O. Ramírez, J. Simanca, L. Rodas, D. E. Milian Lorenzo y P. L. Romero Suárez (2008 c): Determinación de corrientes marinas para la gestión

- ambiental marino-costera cubana. Contribución a la educación y la protección ambiental, Vol. 8., pág. 185 – 196, ISBN 959-7136-20-1.
7. Baban S.M.J. y Jules-Moore, S. (2005): An evaluation of water circulation and contaminant transport models for the Intra-American Seas. *West Indian Journal of Engineering*, vol. 27. No. 2, pág. 1-17.
  8. Baisre J., G. García, M. González, G. González, R. Guerra, M. Hernández, M. Iturralde, F. Montalvo, M. Pérez, L. Rodas, S. Valle, A. Villasol, S. Álvarez, J. M. Beltrán, H. Caballero, V. Caballero, A. L. Cárdenas, L. Chabalina, M. E. Chávez, G. Díaz, L. Espinosa, R. Feitó, Y. García, E. González, P. González, Ma. E. de León, E. Machín, M. Martínez, I. Mitrani, F. Palacios, A. Pérez, R. Pérez de los Reyes, I. Pérez Santos, R. Puga, L. Rivas, N. Rivera, J. Ravelo, I. Sosa, M. Sosa, A. G. Varona y M. Suárez (2006): *Conozcamos el Mar. Tabloide del curso Universidad para todos*, Editorial Academia, La Habana, 32 pág.
  9. Blázquez. y E. Romeu (1982): Contribución al estudio de la circulación general en el Golfo de Batabanó, Zona B. *Rep. Invest., Inst. Oceanología.*, 1:1-33.
  10. Blázquez E.L. J.P. Rodríguez, I.C. Rosabal y R.H. Calderón (1988): Mediciones de corrientes en el Golfo de Batabanó. Reporte de Investigación. No. 14. 16 págs. 4 tablas y 15 figuras.
  11. Blumberg A. F. y G. L. Mellor (1987): A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in *Three-Dimensional-Coastal-Ocean-Model*. American Geophysical Union, Vol. 4, pág. 1-16.
  12. Bolívar C. (2012). *Circulación Marina Alrededor de Cuba*. Trabajo de diploma. Archivo Científico de ICIMAR. 110 pp.
  13. Emilsson Y. y J.J. Tápanes (1971): Contribución a la hidrología de la plataforma Sur de Cuba. *Ser. Oceanol.* 9:1-22.
  14. Fernández Vila, L. J.; D. B. López García; F. Montalvo Estévez; I. Pérez Santos; J. Simanca Cárdenas; M. Hernández González; O. Ramírez Stout; S. Lorenzo Sánchez; N. Capetillo Piñar; F. Vega Desdín; J. L. Viamontes Fernández; A. Morales Abreu; M. Blanco Concepción; A. Dieguez Martínez; P. Moreau Castellanos; I. García Ramil; A. Barrie González y L. Rodas Fernández (2006): Caracterización oceanográfica de la plataforma insular cubana y la influencia de variaciones antrópicas. Informe Científico de Resultado Parcial del Proyecto de Investigación y Desarrollo: “Bases oceanográficas para el estudio de las afectaciones del Cambio Global en la biodiversidad marina y costera de Cuba”, del PNCT “Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano”. (PNCT 013. Código: 01309180). Archivos de GEOCUBA Estudios Marinos y de la AMA. La Habana. 154 pág.
  15. Fernández Vila, L. J.; J. L. Viamontes Fernández y R. Ferro Suárez (2009): Caracterización estadística de las corrientes marinas en la plataforma cubana. Informe de resultado. Proyecto de Investigación – Desarrollo: Actualización de las corrientes marinas en las condiciones extremas del estado del tiempo. Escenario actual y escenario máximo previsto por el cambio climático en los



- años 2050 y 2100. Agencia de Oceanografía Física y Química. Empresa GEOCUBA Estudios Marinos. Archivos de GEM y de la AMA.
16. Fernández Vila, L. J.; J. de Armas Tápanes; D. Marrero Gestoso; D. D. Zayas Suárez y R. Rodríguez Romero (2010): Cartas de circulación de las aguas de la plataforma cubana. Informe suplemento al resultado "Caracterización estadística de las corrientes marinas en la plataforma cubana". Proyecto de Investigación – Desarrollo No 6: Actualización de las corrientes marinas en las condiciones extremas del estado del tiempo. Escenario actual y escenario máximo previsto por el cambio climático en los años 2050 y 2100, del Macro Proyecto: " Escenarios de peligros y vulnerabilidad de la zona costera cubana, asociados al ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 y 2100 ". Archivos de GEOCUBA Estudios Marinos y de la AMA. Agencia de oceanografía. Empresa GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, La Habana.
  17. GEOEM (2017). Actualización de las variables oceanográficas del golfo de Ana María. 136 pp.
  18. Hernández - González, M., Martínez C.A. and Marzo, O. (2014). Consequences of sea level variability and sea level rise for Cuban territory. p. 22 – 27. En Complex Interfaces Under Change. Sea – River – Groundwater – Lake. Edited by C. Cudennec, M., M., Kravchishina, J. Lewandowski, D.Rosbjerg & P. Woodworth. IAHS Publication 365, ISSN 0144-7815. 97 pp.
  19. Hernández - González, M., O. Marzo, Y. Ríos, L. Martínez, C. A. Martínez, R. García, M. M. Rivero, J. Gutiérrez, D. Montesino, Y. Carrillo, I. Almeida, J. Olivera, P.J. Pérez, R. Rodríguez, Y. Borrigo, H. Rodríguez y R. Casals (2012): Estimación de las anomalías, tendencia, proyección y los períodos de retorno de los valores extremos del nivel del mar relativo durante el presente siglo a partir de mediciones de la Red Mareográfica Nacional (desde 1966 hasta la fecha). Macro-proyecto 3. Informe anual de proyecto. 120 pp. + anexos. Archivo Científico del Instituto de Oceanología.
  20. Hernández - González, M., J.F. Montalvo, J.L. Juanes, Y. Rodríguez, C.A. Martínez (2013). Zonas Costeras y Recursos Marinos, p. 137 - 200. En Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba de Planos E., R. Rivero y V. Guevara (Editores 2013). Instituto de Meteorología. Agencia de Medio Ambiente. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, Cuba, 430 pp. ISBN 978-959-300-039-0.
  21. Hernández - González, M., Hernández, A., Arriaza, L., Simanca, J., Lorenzo, S. L., Cerdeira, S., Rodas, L., Díaz, G., Hernández, I., Marzo, O., Chang, J. L., Oviedo, A., y Alfonso, H. M. (2005). Estimación de la tasa de incremento del nivel medio del mar a partir de mediciones directas y evaluación de su impacto en el Golfo de Batabanó y en la Península de Zapata. Proceedings de *Geociencias 2005* (DVD). Sociedad Cubana de Geología. 5 - 8 de abril de 2005. Palacio de las Convenciones. La Habana. Cuba. ISBN 959-7117-03-7.
  22. Hernández M., A. Hernández, L. Arriaza, J. Simanca, S.L. Lorenzo, S. Cerdeira, L. Rodas, G. Díaz, I. Hernández, O. Marzo, J. L. Chang, A. Oviedo, H. M. Alfonso

- (2003): Evaluación de la tasa de incremento del nivel medio del mar y su influencia sobre algunas características oceanográficas y de las áreas de manglares de la plataforma insular cubana. Informe Final de Proyecto. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 160 págs.
23. Hernández – González, M., J.F. Montalvo, L. Rodas, L. Arriaza, S.L. Lorenzo, J. Simanca, S. Cerdeira, C.A. Bayón (2006). Desarrollo de métodos y tecnologías para el pronóstico de procesos oceanográficos en la plataforma insular cubana. ISBN. 7 978-959-298-008-2. 140 pp + anexos.
  24. Hill, D.F. Tidal Modelling of Glacier Bay, Alaska – Methodology, Results and Applications. Department of Civil & Environmental Engineering. The Pennsylvania State University. University Park, PA 16802. USA. June, 2007.
  25. Ionin, A.S., y A. Pavlidis, y O. Avello-Suárez (1977): Geología de la plataforma de Cuba. [En Ruso]. Nauka. Moscú. 215 pp.
  26. Lluís-Riera, M. (1972). Estudios hidrológicos del Golfo de Batabanó y de las aguas oceánicas adyacentes. Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. 14,1-49.
  27. Lluís-Riera, M. (1977). Estudios hidrológicos de la plataforma Suroriental de Cuba y aguas oceánicas adyacentes. Inf. Cient.-Téc. Inst. Oceanología . Acad. Cienc. Cuba. 16,1-29.
  28. Lluís-Riera, M. (1981a). Condiciones hidrológicas de la plataforma Nororiental de Cuba en febrero de 1976. Inf. Cient.-Téc. Inst. Oceanología . Acad. Cienc. Cuba. 161: 1-32.
  29. Lluís-Riera, M. (1981b). Informe de datos oceanográficos de la plataforma Suroriental de Cuba y aguas oceánicas adyacentes. Edit. Academia. 141 pp, 42 figs.
  30. Lluís-Riera, M. (1983a). Estudios hidrológicos de la plataforma Noroccidental de Cuba (Zona C). Edit. Academia. Rep. Inv. Inst. de Oceanología. 13: 1 -48.
  31. Lluís-Riera, M. (1983b). Características físico químicas de la plataforma de Cuba y aguas oceánicas adyacentes [en Ruso]. Informacionni Bulletin, Centro de coordinación del CAME para el problema mundial, Moscú 15:29-45p.
  32. Lluís-Riera, M. (1983c). Régimen hidrológico de la plataforma insular de Cuba. Cienc. Tierra y el Espacio. 7:81-110.
  33. Luettich, R.A., Westerink, J.J. ADCIRC – A (parallel) ADvanced CIRCulation Model for Oceanic, Coastal and Estuarine Waters. University of North Carolina at Chapell Hill Institute of Marine Sciences. 3431 Arendell, St. Morehead City, NC, 28557; Department of Civil Engineering and Geological Sciences, University of Notre Dame, Notre Dame. USA. 2000.
  34. Lorenzo-Sánchez Sergio L., J. Simanca; L. Rodas, L. Arriaza, M. Hernández y C. Martínez (2007): Carta de circulación general de las aguas del golfo de Batabanó, Cuba. CD-R Informática 2007, Archivo científico del Instituto de Oceanología, 26 pág., ISBN 978 959 285 002-5.

35. McLaneLabs (2017). Manuales del equipamiento, disponibles en internet (<http://www.mclanelabs.com/>).
36. Mellor G.L., L-Y, Oey y T. Ezer (1998): Sigma Coordinate Pressure Gradient Errors and the Seamount Problem. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 15, No 5, pág. 1122-1131.
37. Militello, A., Zundel, A.K. Surface-Water Modelling System Tidal Constituents Toolbox for ADCIRC. Coastal Engineering Technical Note IV-21. US Army Corps of Engineers. USA. December, 1999. INSMET (1991): Resumen Climático de Cuba. Editorial Academia, 127 pág. IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
38. Morales A., M. Hernández González, J. Simanca, A. Hernández – Zanuy, L. Rodas, L. Oliveros, J.F., Montalvo S.L. Sánchez, M.E. Chávez, R. Guerra, A. Barrie, V. Delgado, M. Hernández, R. García, M.M. Rivero, J. Viamontes, L. Fernández – Vila, F. Vega, D. López, J. Pérez, A. Dieguez, P. Moreau, R. Ferro (2008). Influencia de la variabilidad climática y los cambios globales sobre parámetros oceanográficos de la plataforma insular cubana, evaluación de los principales impactos sobre el medio ambiente marino costero. 241 pp + anexos. Archivo de Geocuba Estudios Marinos.
39. Murty T.S. y M.I. El – Sabh (1981): Interaction Between Storm Surges and Tides in Shallow Waters. *Marine Geodesy*. Vol. 5. N° 1.
40. Robert T. Watson, Daniel L. Albritton, Terry Barker, Igor A. Bashmakov, Osvaldo Canziani, Renate Christ, Ulrich Cubasch, Ogunlade Davidson, Habiba Gitay, David Griggs, Kirsten Halsnaes, John Houghton, Joanna House, Zbigniew Kundzewicz, Murari Lal, Neil Leary, Christopher Magadza, James J. McCarthy, John F.B. Mitchell, Jose Roberto Moreira, Mohan Munasinghe, Ian Noble, Rajendra Pachauri, Barrie Pittock, Michael Prather, Richard G. Richels, John B. Robinson, Jayant Sathaye, Stephen Schneider, Robert Scholes, Thomas Stocker, Narasimhan Sundararaman, Rob Swart, Tomihiko Taniguchi, y D. Zhou (2001): Cambio climático 2001: Informe de síntesis. IPCC Tercer Informe de Evaluación
41. Rodas L., J. Simanca, L. Arriaza, O. Ramírez y R. García (2009): Informe final del proyecto “La circulación oceánica y su relación con parámetros meteorológicos en la región Occidental de Cuba”.
42. Rodríguez J. y J. Rodríguez (1983): Las mareas en las costas cubanas. Reporte de Investigación No 8, Archivo científico de Instituto de Oceanología. ACC, 12 pág.
43. IPCC (2013). <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html> .
44. Rondón H.R., Chirino A.L, Nadal M. ADCIRC. Manual de Usuario. Parte 1: Corrientes de Marea. GEOCUBA Estudios Marinos. La Habana, 2013.

45. Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba. Tablas de Marea de las Costas de Cuba, 2012. Edimar, Agencia de Cartografía Náutica, GEOCUBA Estudios Marinos. La Habana, 2016.
46. Simanca J. (2004): Análisis de las Características Estadísticas y Espectrales de las Componentes Periódicas y no Periódicas de la Corriente Sumaria en la Periferia Acuática del Golfo de Batabanó, Tesis de maestría en Análisis Ambiental, Archivo científico del Instituto de Oceanología y del InsTEC, 41 pág.
47. Simanca J., L. Fernández, J. Viamontes, O. Ramírez y L. Arriaza (2005): Características estadísticas de las componentes periódicas y no periódicas de la corriente sumaria en el golfo de Batabanó. Rev. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental, Vol. 6, pág. 39-54, ISBN 959-7136-35-X.
48. Viamontes, F.J. (1990): Carretera turística desde Punta del Este hasta Cayo Largo del Sur. Informe Científico - Técnico de las 1ra, 2da y 3ra etapas, Instituto Cubano de Hidrografía. Archivos de GEOCUBA: Estudios Marinos, 240 pág.
49. Victoria I., M. Hernández, L. Rodas, J. Simanca, O. Ramírez, R. García, A. Cabal, H. Puente, M. Rallo, I. Rosabal y P. Rodríguez (1990): Características Oceanográficas de la Fosa de Jagua y de la Zona Económica Exclusiva al Sur de Cuba. Informe Final en Archivo Científico del Instituto de Oceanología, 180 pág.