

**NOTA:**

**RESPUESTA DEL AMBIENTE MARINO A ALGUNOS  
EVENTOS METEOROLÓGICOS SINÓPTICOS MEDIDOS  
SOBRE LOS ARRECIFES DE SAN ANDRÉS Y DE LAS ISLAS  
DEL ROSARIO, CARIBE COLOMBIANO\***

*Carolina Gutiérrez-Moreno, Milena Marrugo y Carlos Alberto Andrade*

*Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Proyecto Piloto Nacional de Adaptación al Cambio Climático-INAP: Componente Insular Continental, Edificio Prado Plaza, Calle 26a No. 3-55 Of. 206, Santa Marta, Colombia. carolina\_gutierrez@invemar.org.co (CGM); milena\_marrugo@invemar.org.co (MM); candrade@exocol.com (CAA)*

**ABSTRACT**

**Response of the marine environment to some synoptic weather events measured on the reefs of San Andres Island and Rosario Islands, Colombian Caribbean.** Continuous measurements were taken of oceanographic and meteorological parameters for two stations of the Global Ocean Observing System of the Southwest Caribbean, framed in the INAP project. The response of the surface layer, to atmospheric events, allowed to differentiate the pass of two cold fronts by Johnny Cay station (San Andres Island) and the arrival of the “Veranillo” in the sensors of Tesoro Island (Islas del Rosario, Cartagena). The cold fronts produced a decrease in the atmospheric pressure, air temperature, caused radical changes in wind direction and speed followed by precipitation. This situation lowered the sea surface temperature, the surface layer pH and rose momentarily the sea level. The “Veranillo” came to Archipelago of Rosario generating a strong increase in wind speed and solar radiation. The response in the sea surface layer was evident through a significant increase in sea level.

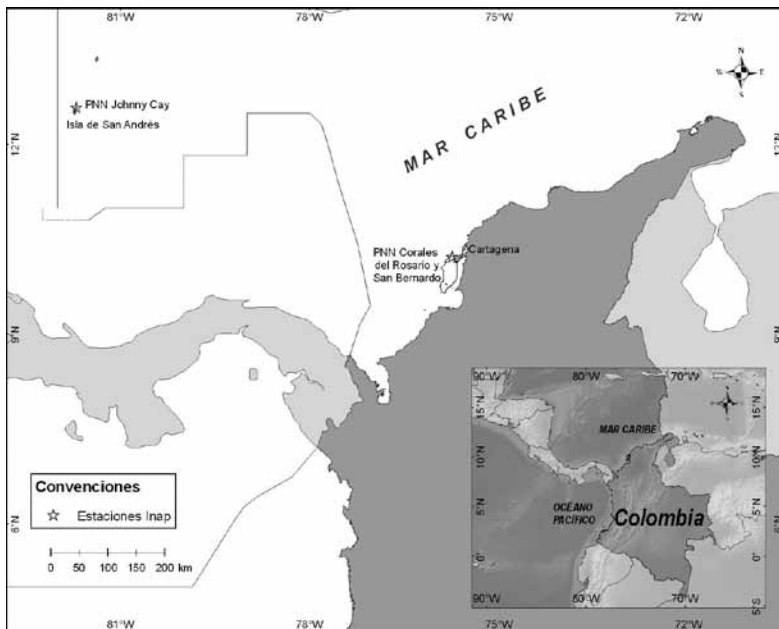
**KEY WORDS:** Meteorology, Oceanography, Cold front, “Veranillo”, INAP.

El ambiente marino en los arrecifes de coral es motivo de preocupación, ya que es evidente que las coberturas coralinas están disminuyendo alrededor del mundo (McClanahan *et al.*, 2002; Gardner *et al.*, 2003; Maliao *et al.*, 2008) e incluso en áreas marinas protegidas de Colombia (Díaz *et al.*, 1995; López-Victoria y Díaz, 2002; Garzón-Ferreira *et al.*, 2004; Gómez-Campo y López-Londoño, 2009; Navas-Camacho *et al.*, 2009), por esa razón los arrecifes que se encuentran en las áreas insulares del Caribe colombiano están siendo monitoreados como una de las medidas de adaptación formuladas para enfrentar el cambio climático (Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2009).

\* Contribución No. 1012 del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR.

Con el fin de apoyar la definición e implementación de medidas prioritarias para prever los impactos del cambio climático y establecer un sistemas de evaluación y monitoreo de los ecosistemas cambiantes, se ejecutó el primer proyecto de adaptación al cambio climático a nivel mundial-INAP, donde el componente insular continental del proyecto (desarrollado por INVEMAR) enmarcó el establecimiento de un sistema de observación de los océanos (GOOS) para el Caribe suroccidental.

Las primeras estaciones del programa INAP fueron instaladas en el área insular del Caribe colombiano (Figura 1), una en Johnny Cay al noreste de la isla de San Andrés (81.7° W, 12.6° N), y otra en Isla Tesoro en el Archipiélago del Rosario (75.7° W, 10.2° N), con el objeto de iniciar un esfuerzo de observación del clima marítimo en el contexto del cambio climático, como una medida de adaptación que permita conocer los distintos modos de variación ambiental en el área de los arrecifes de coral y, a largo plazo, poder establecer modelos climáticos para el Caribe colombiano. La posibilidad de acceder a parámetros oceanográficos y meteorológicos de forma simultánea y continua, ha permitido caracterizar algunos comportamientos del ambiente marino mediante la observación directa de las condiciones cambiantes del tiempo atmosférico, de esta forma se presenta la respuesta del mar frente a dos eventos meteorológicos sinópticos en el Caribe colombiano.



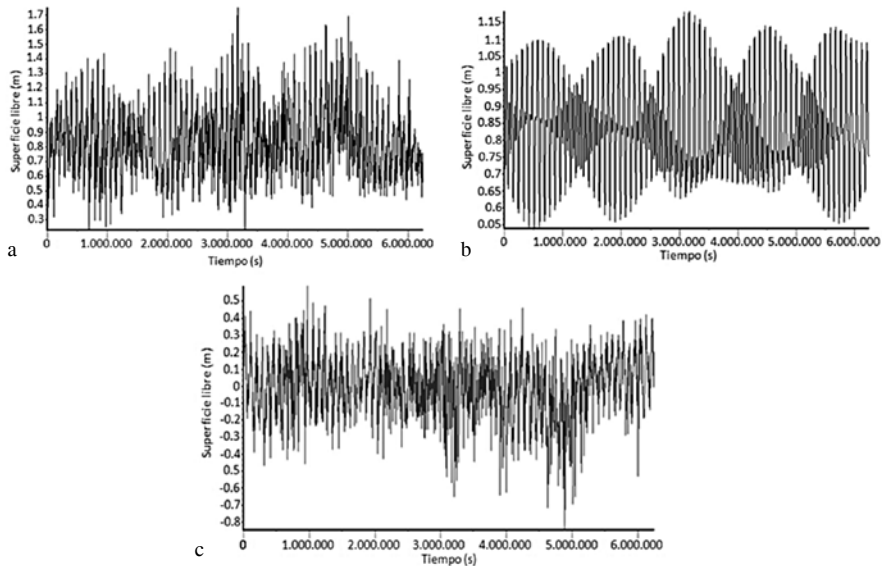
**Figura 1.** Ubicación geográfica de las primeras estaciones meteorológicas y oceanográficas del proyecto INAP.

Dentro de los parámetros meteorológicos se encuentran presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente, radiación solar y precipitación; las mediciones oceanográficas se realizan por medio de una sonda multiparamétrica y una sonda de presión de nivel, sumergidas alrededor de 5 m sobre las áreas de barlovento de las islas, registrando temperatura superficial del mar (TSM), pH y nivel del mar. Las series se almacenan en un lector con memoria en cada estación y se transmiten vía satélite GOES, siendo recibidos en tiempo casi real en el Centro Administrador de Datos-CAD del INVEMAR; los datos recibidos se visualizan a través del software Hydras3 del cual se descarga la información en archivos con formato \*.txt. Las series fueron estandarizadas para obtener un dato cada hora. Se eliminaron valores atípicos y los espacios fueron interpolados (cuando la ventana no fue mayor de seis horas) utilizando un promedio aritmético de doce puntos alrededor del faltante. Posteriormente la serie fue analizada para observar la variabilidad diaria de cada parámetro almacenando los datos para su utilización en las observaciones de más largo periodo. Así mismo para el presente análisis, las series fueron filtradas con un promedio corrido de 23 horas, eliminando la mayoría de la variabilidad diurna, y se compararon los datos meteorológicos entre sí en el contexto de los fenómenos meteorológicos presentes, contrastando el comportamiento de los valores atmosféricos con la respuesta de los valores oceanográficos. Finalmente, a la serie de nivel del mar le fueron calculadas las constantes armónicas y se le extrajo la marea astronómica a las serie usando el módulo interactivo TIC (Tutor Ingeniería de Costas) del programa SMC (Sistema de Modelamiento de Costas, aplicación informática que integra una serie de modelos numéricos que permiten implementar la metodología de estudio y diseño de actuaciones en el litoral) (González *et al.*, 2007) con el objeto de analizar las variaciones relacionadas con los parámetros meteorológicos.

La descripción de los eventos meteorológicos relevantes observados a través de los datos de las estaciones INAP contempló, para la estación de Johnny Cay (isla de San Andrés) en el periodo del 30 de diciembre (2009) al 18 de enero (2010) la identificación del paso de dos frentes fríos. Así mismo, para isla Tesoro (Cartagena de Indias) la serie de tiempo del 15 de junio al 15 de julio (2009), mostró el inicio del evento meteorológico del Caribe colombiano conocido como el “Veranillo de San Juan”.

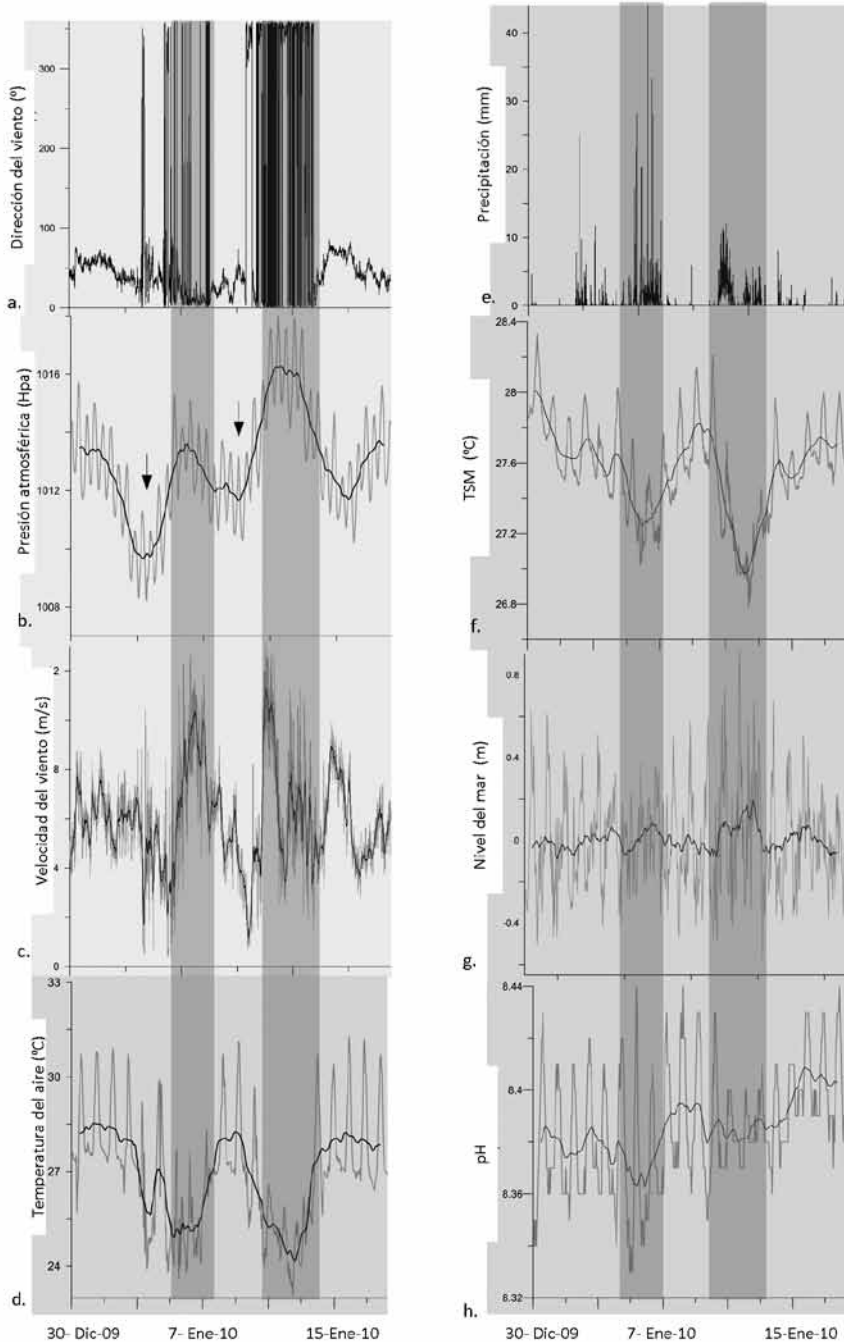
Para el análisis de la información es importante conocer la variabilidad diurna de los parámetros para entender los ámbitos de oscilación natural en condiciones “normales”. Aunque algunas comparaciones pueden parecer obvias como la relación entre la radiación solar y la presencia de clorofila-a, la temperatura ambiente, entre otras; es indispensable conocer los ámbitos entre los que oscilan los parámetros (Dai y Wang, 1999). Así mismo existen otras conductas menos evidentes, como el nivel del mar por ejemplo, que requiere para la identificación de su comportamiento diario el uso de filtros

que lo aíslen de la marea. De esta manera, los datos de nivel del mar muestran una marea mixta semidiurna típica del mar Caribe (Kjerfve, 1976; Dai y Wang, 1999) acompañada de variaciones importantes debidas a lo conocido como “marea meteorológica” es decir, por las desviaciones producidas por otras razones que no son de carácter astronómico tales como la presión atmosférica y el empuje del viento conocido como el ‘set up’ o aquellas conocidas como ‘olas de tormenta’ (‘storm surge’) (Figura 2).



**Figura 2.** Análisis de la serie de nivel del mar de Johnny Cay. a) superficie libre medida; b) superficie libre ajustada; c) residual. El residual contiene lo también conocido como marea meteorológica, que son los desniveles del mar normalmente causados por acción del viento (oleaje) y la presión atmosférica.

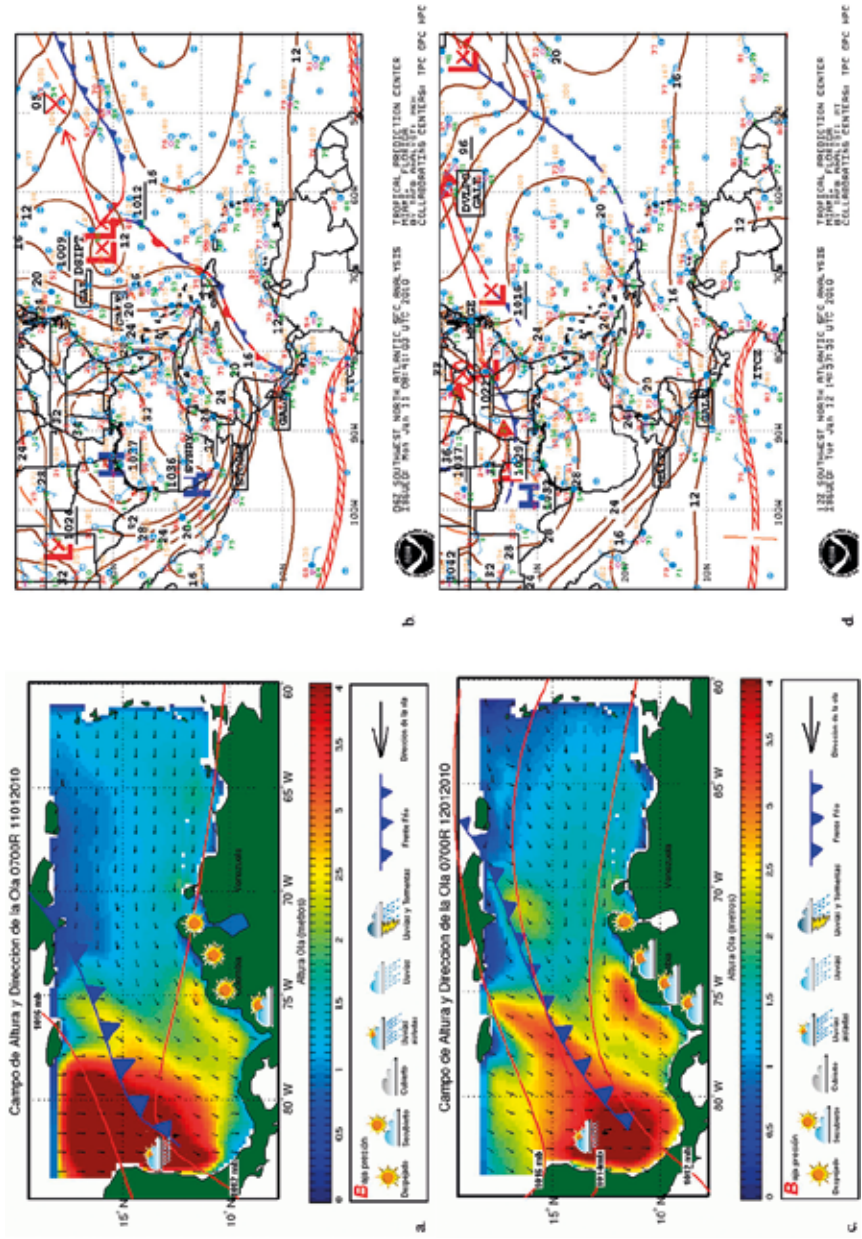
Aplicando el análisis armónico de marea a la serie del nivel del mar de 30 días del sensor en Johnny Cay, se obtuvieron los componentes armónicos que sirvieron para extraer los residuales, producto de la influencia astronómica y así poder relacionarlos con los eventos meteorológicos. La Figura 3 muestra el comportamiento típico del cambio en los parámetros meteorológicos al paso de dos frentes fríos subtropicales que vienen del noroeste. La llegada de estos sucesos meteorológicos se manifiesta con una baja significativa de la presión atmosférica previa al evento, acompañada por un drástico cambio de la dirección del viento, que normalmente es del este-noreste y pasa a ser del norte y noroeste (Figura 3a). En la medida que pasa el frente frío la situación es seguida por un descenso en la temperatura ambiente y la llegada de chubascos de mediana intensidad que duran algunos días inclusive (Hastenrath, 1991; Narváez y León, 2002) (Figura 3).



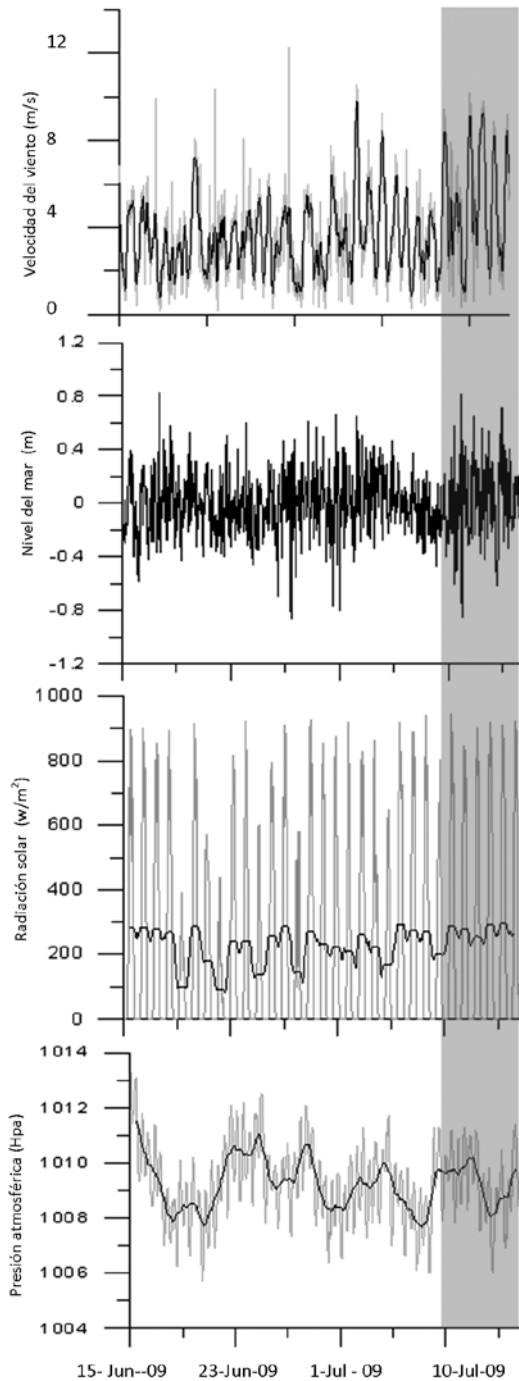
**Figura 3.** Paso de dos frentes fríos sobre el área de San Andrés durante el mes de enero de 2010. Las flechas indican el momento en el que se observa una reducción en la presión previa al paso de los frentes frío.

En San Andrés, los frentes fríos pasaron los días 02 al 07 de enero de 2010 y del 09 al 14 del mismo mes. Días previos al primer evento, se presenta una disminución promedio de la presión de 3 HPa desde el 02 de enero a las 15:00 horas hasta el 04 de enero a las 17:00 (Figura 3b). Durante el paso del primer frente frío, el 04 de enero el viento pasó abruptamente de ser del este a ser del norte franco ( $350^{\circ}$  a  $010^{\circ}$ ) a las 20:50 horas y se evidenció un aumento en la velocidad (Figura 3c). Al mismo tiempo, la temperatura ambiente bajó  $0.36^{\circ}\text{C}$  y se presentaron eventos de precipitación registrando 665.8 mm para el periodo (Figura 3d y 3e). El segundo evento ocurrió el 09 de enero, donde nuevamente se da un cambio de dirección del viento del Este al Norte hacia las 23:50 horas; días previos se vio una disminución de la presión de 0.3HPa. Para este frente frío se contó con el registro de imágenes de pronósticos climáticos registrados por el CIOH y la NOAA, en los cuales se señala el paso de los frentes fríos acá descritos, para las fechas del 11 y 12 de enero de 2010 (Figura 4). Durante el evento la temperatura ambiente bajó  $0.35^{\circ}\text{C}$  grados y se registraron 641.1 mm de precipitación. Concurrentemente, la respuesta de la capa superficial oceánica a la llegada de estos cambios atmosféricos se puede observar en la Figura 3g. En esas ocasiones se pudo ver una clara respuesta en el aumento del nivel del mar ( $\sim 0.4$  mm) y correspondió también a una disminución de la temperatura superficial del mar ( $\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ ) (Figura 3f). Al respecto, queda abierta la pregunta de si la precipitación que llega asociada a los frentes fríos, es decir, la precipitación que viene del Norte, tiene un pH tan bajo que hace que el agua que rodea los corales se vea afectada (Figura 3h). Para llegar a una respuesta es necesario seguir estudiando dichos comportamientos, no sólo los específicos para eventos meteorológicos como los que aquí se describen, sino también el comportamiento atmosférico y oceanográfico y su interrelación en general.

Otro evento sinóptico importante en la meteorología del Caribe suroccidental es la llegada del “Veranillo”, un periodo sin lluvias que ocurre normalmente entre julio y agosto caracterizado por un aumento de la intensidad del viento del este (Andrade y Barton, 2000; Curtis y Gamble, 2007). Dicha llegada del veranillo fue detectada en los sensores de la estación de isla Tesoro el día 10 de julio de 2009 por el relativamente drástico aumento de la velocidad del viento ( $\sim 4.6\text{m/s}$ ), aumento de radiación solar (se despejó de nubes el área costera) y suspensión de la precipitación normal en la época de transición (Figura 5). La respuesta de la capa superficial del mar sobre el arrecife coralino frente a isla Tesoro fue principalmente caracterizada por el aumento del oleaje en el área, que fue permanente durante todo el periodo de la observación a partir del 04 de julio de 2009 (Figura 5).



**Figura 4.** Pronósticos del clima reportados para el 11 y 12 de enero. Imagen A y C por CIOH; B y D, por la NOAA.



**Figura 5.** Llegada del “Veranillo” evidenciada en la estación de Isla Tesoro durante el mes de junio de 2009



Las series de datos obtenidas en las dos estaciones, hasta el momento han permitido empezar a entender los ámbitos y frecuencias de las variaciones de carácter diurno y estacional. El análisis del comportamiento de las variables atmosféricas sobre el ambiente marino deberá ser continuo, la finalidad de estudiar los efectos del cambio climático sobre las comunidades coralinas. Avanzar en este tema para ayudar la toma de decisiones es una tarea extensa, que requiere el estudio de series de tiempo más largas, no obstante existen las herramientas necesarias para cumplir dichos objetivos y su cumplimiento se reflejará en la producción de análisis como la presente publicación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Walter Vergara, del Banco Mundial por la financiación del Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático INAP-Componente C insular continental, al Fondo Mundial para el Medio Ambiente-GEF y por su personal comprometido con el cuidado del medio ambiente, al Sr. Capitán de Navío Francisco Arias Isaza, a Paula Sierra y Pilar Lozano del INVEMAR y a todos los colaboradores del proyecto por su apoyo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, C. A. y E. D. Barton. 2000. Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.*, C11 (105): 26.191-26.201.
- Curtis, S. y D. W. Gamble. 2007. Regional variations of the Caribbean mid-summer drought. *Theor. Appl. Climatol.*, 94: 25-34.
- Dai, A., y J. Wang. 1999. Diurnal and semidiurnal tides in global surface pressure fields. *J. Atmos. Sci.*, 56: 3874-3891.
- Díaz, J. M., J. Garzón-Ferreira y S. Zea. 1995. Los arrecifes coralinos de la isla de San Andrés, Colombia, estado actual y perspectivas para su conservación. *Acad. Colomb. Cienc. Exact., Fís. Nat. Colec. "Jorge Álvarez Lleras"*, 7, 152 p.
- Gardner, T., I. Cote, J. Gill, A. Grant y A. Watkinson. 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science*, 302: 958-960.
- Garzón-Ferreira, J., M. Moreno-Bonilla y J. Valderrama. 2004. Condición actual de las formaciones coralinas de *Acropora palmata* y *A. cervicornis* en el Parque Nacional Natural Tayrona (Colombia). *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 33: 117-136.
- Gómez-Campo, K. y T. López-Londoño. 2009. Lineamientos para un plan de manejo de arrecifes coralinos del Área Marina Protegida Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte en el contexto de Cambio Climático. Informe técnico final, SIMAC-INVEMAR/INAP, Santa Marta. 98 p.
- González, M., R. Medina, J. González-Ondina, A. Osorio, F. J. Méndez y E. García. 2007. An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects. *SMC, Comp. & Geosci.*, 33: 916-931.



- Gutiérrez-Moreno, C., Lozano, P. y P. Sierra-Correa. 2009. Metodología para la recolección y tratamiento de datos de las estaciones automáticas de monitoreo proyecto INAP. Informe final Banco de Programas de Inversión Nacional BPIN ZC-2009, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Santa Marta. 25 p.
- Hastenrath, S. 1991. *Climate Dynamics of the Tropics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Bajos. 488 p.
- Kjerfve, B. 1981. Tides in the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.*, 86 (C5): 4243-4247.
- López-Victoria, M. y J. M. Díaz. 2000. Morfología y estructura de las formaciones coralinas del archipiélago de San Bernardo, Caribe colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 24 (91): 219-230.
- Maliao, R. J., R. G. Turingan y J. Lin. 2008. Phase-shift in coral reef communities in the Florida Keys National Marine Sanctuary (FKNMS), USA. *Mar. Biol.*, 154: 841-953.
- McClanahan, T., N. Polunin y T. Done. 2002. Ecological state and resilience of coral reefs. *Conserv. Ecol.*, 6 (18): 1-27.
- Narváez, G. y G. León. 2003. Intrusión de aire frío en áreas tropicales estudio de caso del 5 al 8 de Enero del 2002. *Meteorol. Colomb.*, 7: 99-108.
- Navas-Camacho, R., K. Gómez-Campo, J. Vega-Sequeda y T. López-Londoño. 2009. Estado del conocimiento de los ecosistemas marinos y costeros. 59-84. En: INVEMAR (Ed.). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2008. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Santa Marta. 244 p.

FECHA DE RECEPCIÓN: 11/10/2010      FECHA DE ACEPTACIÓN: 12/04/2012