

*Short Communication*

## Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia

Alan Giraldo<sup>1</sup>, Efraín Rodríguez-Rubio<sup>2</sup> & Fernando Zapata<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Valle, Departamento de Biología

Grupo de Investigación en Ecología de Arrecifes Coralinos, A.A. 25360 Cali, Colombia

<sup>2</sup>Centro Control Contaminación del Pacífico, DIMAR-CCCP

Grupo de Estudios Oceanográficos y del Fenómeno El Niño, Vía al Morro  
Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia

**RESUMEN.** La zona de influencia costera de isla Gorgona es un área marina protegida localizada en el Pacífico Oriental Tropical (POT) de Colombia. Aunque alberga uno de los arrecifes coralinos más desarrollados del POT, la caracterización de las condiciones oceanográficas superficiales locales y su variabilidad temporal y espacial han sido escasamente abordadas. Para incrementar el conocimiento sobre la variabilidad de la temperatura y la salinidad en esta localidad se realizaron registros sistemáticos de estas variables durante cuatro periodos (septiembre 2005, diciembre 2005, marzo 2006 y junio 2006), se instalaron sensores de registro continuo de temperatura a 15 m de profundidad en la zona oriental y occidental de la isla, y se realizó un monitoreo del patrón local de circulación superficial utilizando un perfilador de corrientes (AWAK-ADCP) durante junio 2006 y febrero 2007. Se identificaron dos períodos contrastantes para las condiciones oceanográficas en la capa superficial (0-50 m) de la columna de agua: un período cálido y de baja salinidad superficial entre mayo y diciembre (profundidad termoclina 47 m) y un período frío y salino entre enero y abril (profundidad termoclina 7,5 m). Se descartó la presencia de proceso local de surgencia y los resultados indicaron una fuerte influencia de procesos de mesoescala (surgencia en el Panamá Bight) sobre la variabilidad temporal de las condiciones oceanográficas en la zona de estudio. En este mismo sentido se sugiere que la variabilidad espacial estaría más asociada a procesos climáticos regionales (patrón de precipitación) y la cercanía de la zona de estudio al complejo deltaico río Patía - río Sanquianga.

**Palabras clave:** temperatura, salinidad, oceanografía, isla Gorgona, Colombia, Pacífico Oriental Tropical.

## Oceanographic conditions off Gorgona Island, eastern tropical Pacific of Colombia

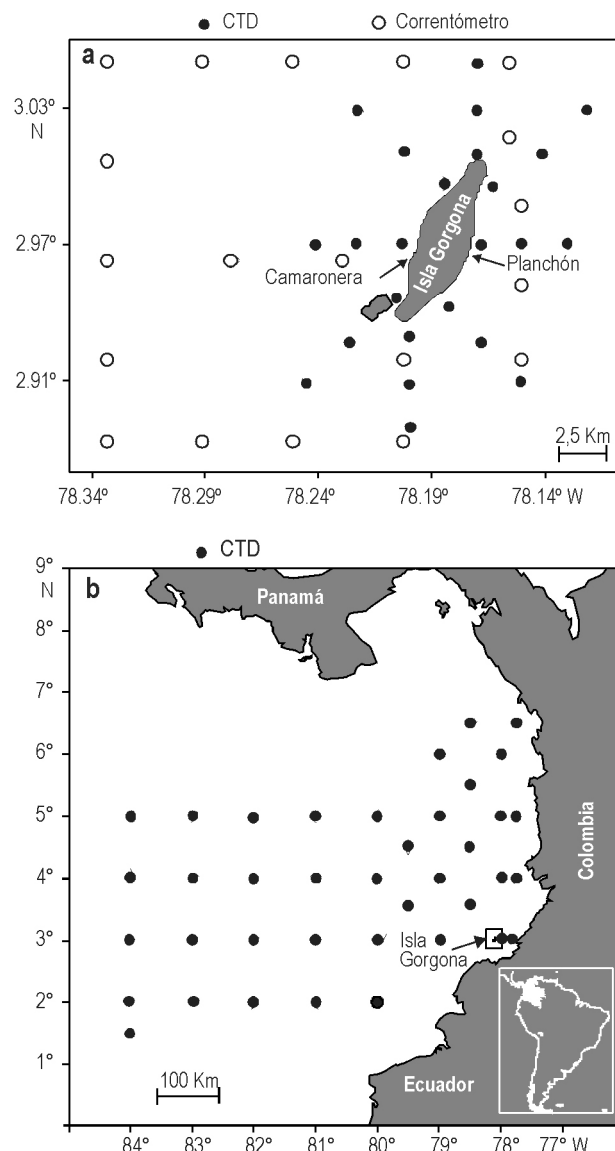
**ABSTRACT.** The near shore zone of Gorgona Island is a protected marine area located in the Eastern Tropical Pacific (ETP) of Colombia. Although this is home to one of the most developed coral reefs in the ETP, the characteristics of the local oceanographic conditions at the surface and their spatial and temporal variability have been poorly studied. In order to increase the information on temperature and salinity variability off Gorgona Island, systematic records of these variables were made during four periods (September 2005, December 2005, March 2006, June 2006). Furthermore, continuous record temperature sensors were installed at 15 m depth on the eastern and western sides of the island and the local surface circulation pattern was monitored in June 2006 and February 2007 using a current profiler (AWAC-ADCP). Two contrasting periods were identified in the oceanographic conditions of the surface layer (0-50 m): a warmer and low salinity period between May and December (thermocline depth 47 m), and a colder and high salinity period between January and April (thermocline depth 7.5 m). Local upwelling events were not observed and the results suggest a strong influence of mesoscale processes (Panama bight upwelling) on the temporal variability of the coastal oceanographic conditions in the study area. Furthermore, the spatial variability seems to be more associated with regional climatic processes (precipitation patterns) and the proximity of Gorgona Island to the Patía-Sanquianga River delta.

**Keywords:** temperature, salinity, oceanography, Gorgona Island, Colombia, Eastern Tropical Pacific.

Ha sido ampliamente demostrado que las condiciones oceanográficas locales tienen efectos directos (positivo o negativo) sobre las comunidades marinas. Sin embargo, identificar los patrones espaciales o temporales de estas características y realizar una adecuada descripción, se dificulta debido a la co-ocurrencia de procesos físicos, químicos y biológicos de diferentes escalas espaciales, pero que afectan simultáneamente en el tiempo a todas las comunidades que se desarrollan en la localidad (Mullin, 1993). En este sentido, un estudio ecológico, una caracterización biológica o un monitoreo temporal de una comunidad marina, no podría ser realizada sin considerar y definir previamente las escalas espaciales involucradas en los procesos oceanográficos que gobiernan las condiciones del entorno en donde se desarrollan.

En el ambiente marino, las comunidades biológicas están expuestas frecuentemente a diferentes fuentes de alteraciones físicas (Roger *et al.*, 1982; Dutton, 1986) o biológicas (Moran, 1986; Hughes *et al.*, 1987; Hughes, 1989), que modifican su organización e interrelación, así como la estabilidad temporal (Dickey, 1990). Por ejemplo, el proceso de dispersión estará estrechamente asociado con características oceanográficas superficiales como vórtices, plumas termales, frentes de densidad, condiciones locales del viento y células de circulación (Alldredge & Hamner, 1980; Wolanski & Hamner, 1988; Wolanski *et al.*, 1989). Adicionalmente, variables físicas como temperatura, salinidad, turbidez y velocidad de las corrientes (Hughes & Connell, 1999; Nadaoka *et al.*, 2001) pueden modular procesos de asentamiento, tasa de crecimiento y la estructura de cualquier comunidad marina (Mann & Lazier, 1996; Sale, 1998).

La isla Gorgona ( $2^{\circ}55'45''-3^{\circ}00'55''N$ ,  $78^{\circ}09'-78^{\circ}14'30''W$ ), es el territorio insular más extenso ( $13,2 \text{ km}^2$ ) sobre la plataforma continental del Pacífico colombiano, ubicado a solo 30 km del continente (Fig. 1a). Debido a su carácter insular, la presencia de asociaciones vegetales particulares y la alta diversidad biológica marina, la isla y un área circundante de  $610 \text{ km}^2$  fueron declaradas Parque Natural Nacional en 1980, convirtiéndose en la única área protegida en el Pacífico colombiano que está constituida principalmente por ambiente marino (UAESPNN, 1988). Es importante destacar que en la zona de influencia costera de isla Gorgona, se encuentran dos de los arrecifes coralinos más desarrollados y diversos del Pacífico oriental tropical, y el más grande del Pacífico Colombiano (Glynn *et al.*, 1982; Zapata, 2001). Estos ecosistemas, de alta importancia para la diversidad marina tropical (Cortés, 1997; Mann, 2000; Zapata & Vargas-Ángel, 2003), se desarrollan masivamente en el sector oriental y escasamente en el sector occidental de la isla (Zapata, 2001). Este patrón de distribución ha sido atribuido a diferentes factores, como salinidad y temperatura, llegando incluso a sugerirse la presencia de eventos periódicos de surgencia costera local



**Figura 1. Ubicación geográfica de isla Gorgona en el Pacífico colombiano. a) Grilla de muestreo local: CTD Grilla Univalle-Colciencias, correntómetro – Grilla DIMAR CCCP Insular. Se señala la ubicación de las estaciones de registro continuo de temperatura (Camaronera – Planchón). b) Grilla de muestreo regional: DIMAR CCCP campaña oceanográfica Pacífico XLII.**

**Figure 1. Gorgona Island in the Colombian Pacific Ocean. a) Local sampling grid: CTD Univalle-Colciencias Grid, Currentmeter: insular DIMAR CCCP grid. Fixed stations for the continuous registration of temperature were indicated (Camaronera – Planchón). b) Regional sampling grid DIMAR CCCP of oceanographic campaign Pacific XLII.**

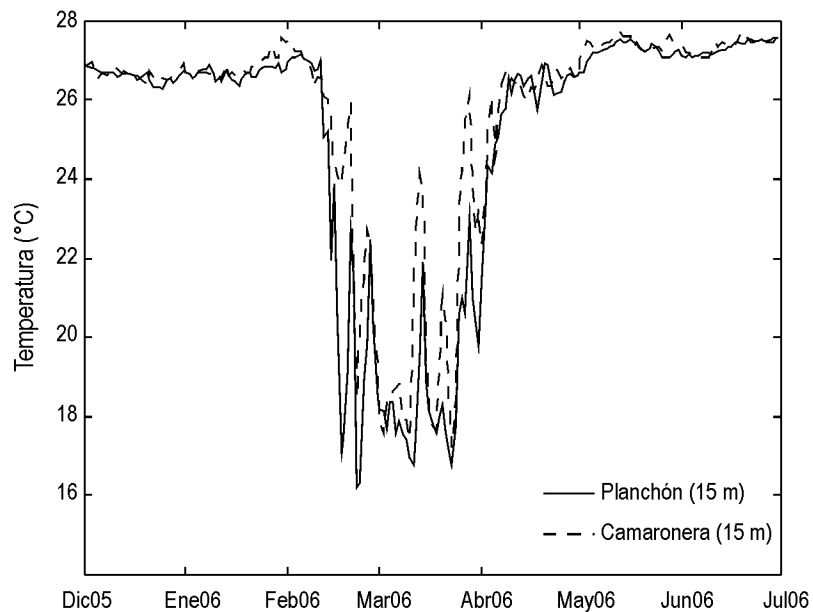
durante los primeros meses del año (Prah *et al.*, 1979; Díaz *et al.*, 2001), que podría estar modulando el desarrollo, estructura y estabilidad de los arrecifes coralinos en la isla Gorgona (Zapata *et al.*, 2001).

A pesar de la relevancia ecológica de esta localidad, la información acerca de las condiciones oceanográficas locales es escasa. En este contexto, destaca el trabajo realizado por Díaz *et al.* (2001), quienes describieron las condiciones climáticas y oceanográficas generales del ambiente marino-costero de isla Gorgona, registrando una humedad relativa del 90%, temperatura media del aire de 26°C, un período de lluvias entre mayo y octubre, seguido de un período de menores precipitaciones entre diciembre y febrero, con rango de precipitación anual entre 4.000 y 8.000 mm·año<sup>-1</sup>. Adicionalmente, mediciones realizadas utilizando derivadores superficiales reportaron que la circulación superficial costera es predominantemente hacia el NE, con rapidez entre 0,07 y 0,42 m·s<sup>-1</sup>.

Para evaluar la variabilidad espacio-temporal de la temperatura y salinidad en la zona de influencia costera de isla Gorgona, se estableció una grilla de muestreo de 24 estaciones equiespaciadas alrededor de la isla (Fig. 1a). Los muestreos se realizaron mensualmente entre septiembre 2005 y agosto 2006, aunque para el desarrollo de este trabajo sólo se consideraron los registros de septiembre 2005, diciembre 2005, marzo 2006 y julio 2006. En cada estación se registró el perfil vertical de temperatura y salinidad desde 0 hasta 50 m de profundidad utilizando un

CTD Seabird-19. Adicionalmente, se instalaron a 15 m de profundidad sensores de registro continuo de temperatura Data Logger StowAway® Tidbit® en la zona oriental (Planchón) y occidental (Cameronera) de la isla (Fig. 1a), los cuales fueron programados para almacenar el registro térmico en intervalos de 30 min desde el 1 de diciembre de 2005 hasta el 30 de junio de 2006. Para describir el patrón local de circulación superficial en la zona de estudio, se utilizó una grilla de muestreo de 19 estaciones (Fig. 1a), registrando con un perfilador acústico (ADCP) la dirección y rapidez de la corriente en la columna de agua (0-20 m) durante junio 2006 y febrero 2007. Considerando los reportes previos sobre enfriamiento en la columna de agua durante los primeros meses del año, se describió la variabilidad térmica espacial a 20 m de profundidad en marzo, tanto a escala local (Fig. 1a) como regional (Fig. 1b). Para el desarrollo del análisis regional se utilizaron los registros de temperatura obtenidos en 40 estaciones de muestreo en el Pacífico Oriental Tropical de Colombia durante la campaña oceanográfica DIMAR-CCCP Pacífico XLII, considerando simultáneamente el campo de viento asociado.

Durante el período de muestreo la temperatura media en la zona de estudio fue de 25,34°C (Planchón: 25,07°C-Cameronera: 25,62°C), detectándose un fuerte descenso en febrero-marzo, con registros mínimos promedio de 16,69°C (Planchón: 16,19°C, Cameronera: 17,18°C) (Fig. 2). El registro térmico en estas dos estaciones de muestreo



**Figura 2. Registro continuo de temperatura en el sector oriental (Planchón) y occidental (Cameronera) de la zona costera de isla Gorgona, Pacífico colombiano.**

**Figure 2. Register of temperature from eastern (Planchon) and western (Cameronera) side of Gorgona Island.**

estuvo fuertemente correlacionados ( $R = 0,93$ ), lo que demuestra que el patrón de enfriamiento ocurrió simultáneamente en el sector oriental y occidental de la isla. La variación vertical de la temperatura y la salinidad indicaron el desarrollo de una fuerte discontinuidad térmica (Fig. 3a) y halina (Fig. 3b) de carácter permanente, definiendo una columna de agua altamente estable (Fig. 3c). Con estos resultados, se identificaron dos períodos oceanográficos opuestos: un período cálido de baja salinidad superficial entre mayo y diciembre, donde la profundidad promedio de la termoclina (profundidad de la isoterma de  $22^{\circ}\text{C}$ ), fue de 47 m, y un período frío y de alta salinidad entre enero

y abril, donde la profundidad promedio de la termoclina fue de 7,5 m (Fig. 3a). Este período frío en la columna de agua de isla Gorgona ha sido asociado reiteradamente a la presencia de un supuesto proceso de surgencia local en el sector sur de la isla (Prahl *et al.*, 1979; Díaz *et al.*, 2001; Zapata *et al.*, 2001). Sin embargo, al considerar la variación espacial de la temperatura tanto a escala regional (Fig. 4a) como local (Fig. 4b), teniendo de referente la profundidad máxima a la que se desarrollan masivamente los arrecifes coralinos en isla Gorgona (20 m), se encontró que el enfriamiento en la columna de agua no fue una característica exclusiva para la zona de influencia costera

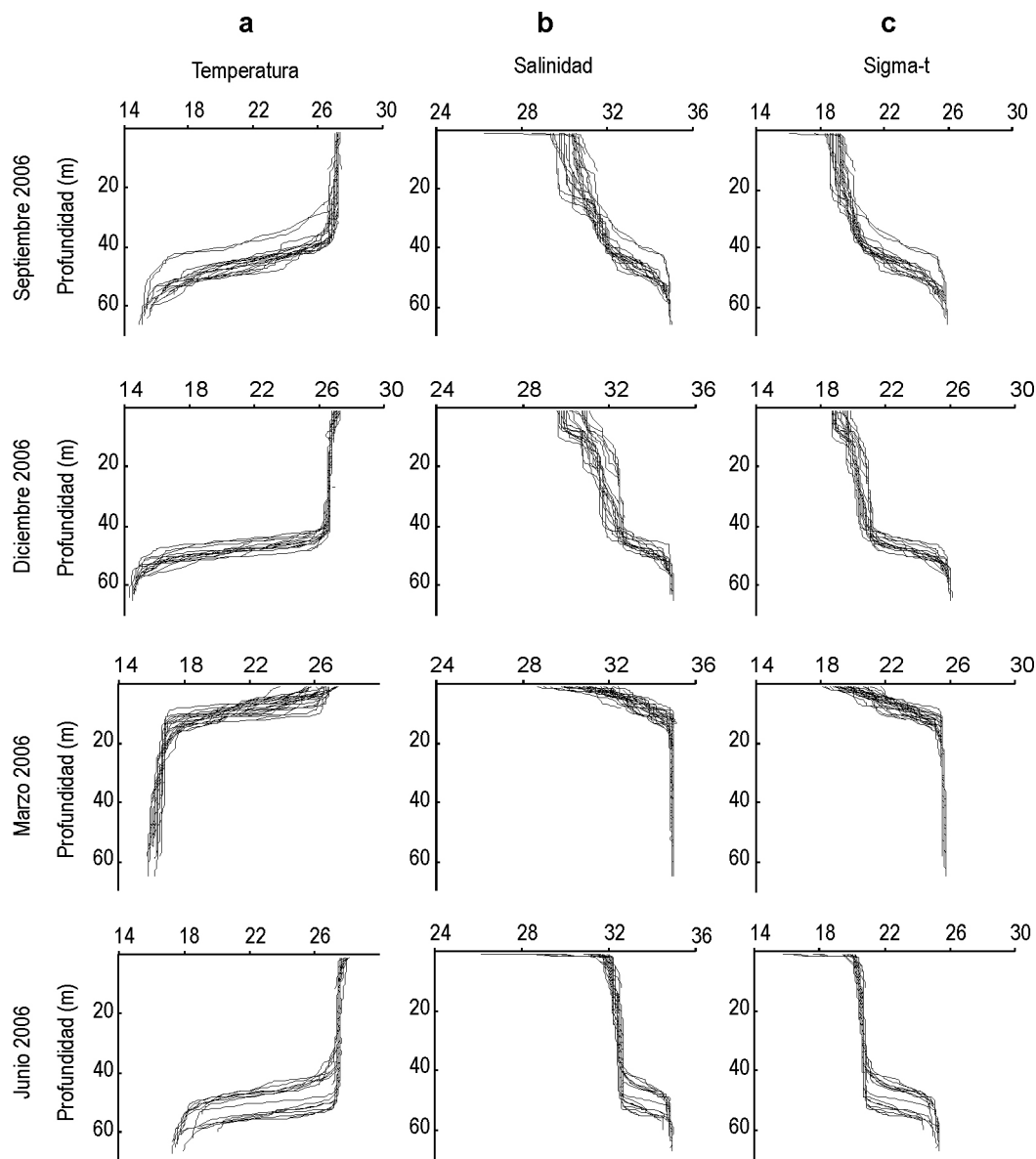
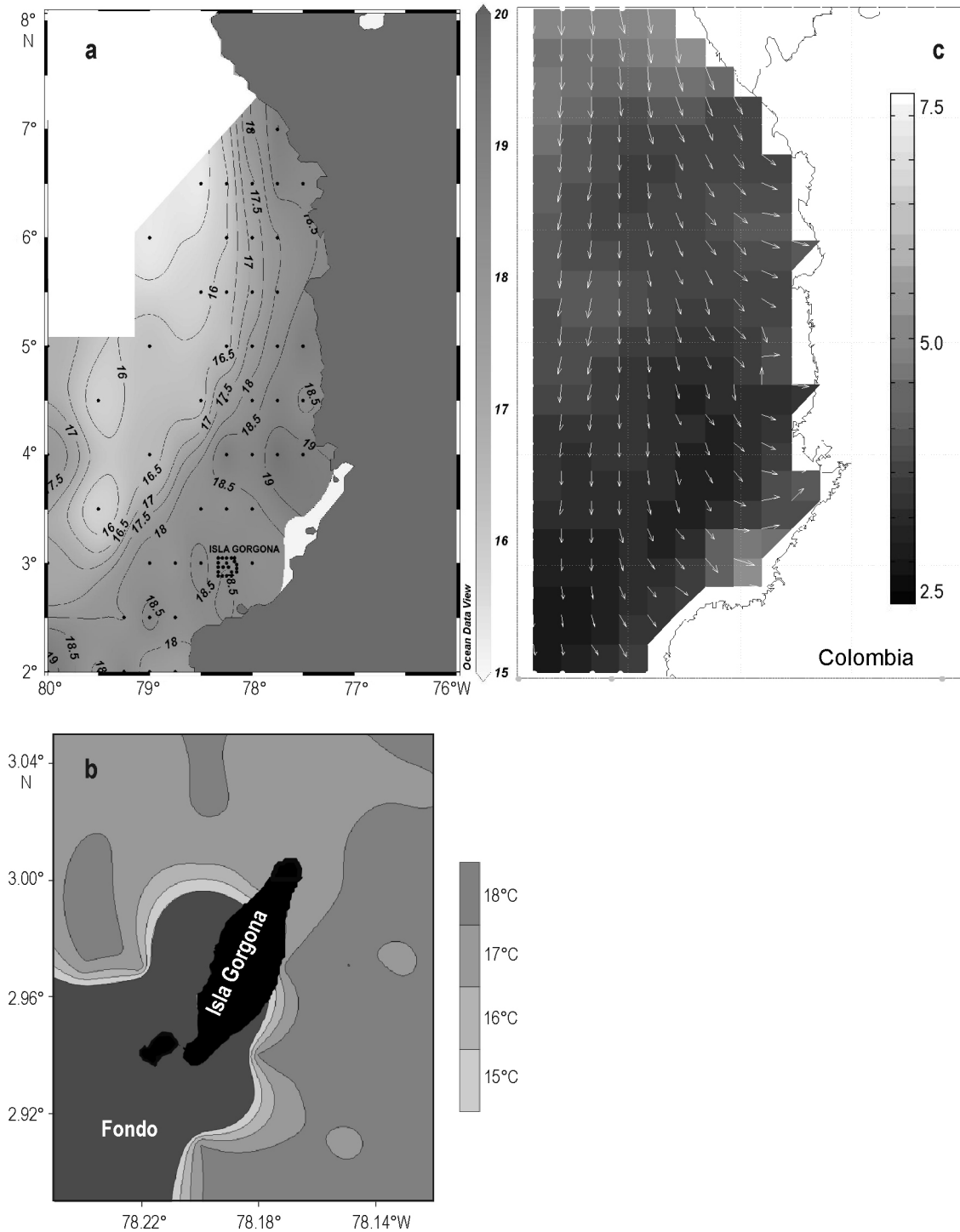


Figura 3. Variabilidad vertical de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad, y densidad ( $\text{Sigma-t kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en la columna en aguas costeras de isla Gorgona.

Figure 3. Vertical variability of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity and density ( $\text{Sigma-t kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) in coastal waters of Gorgona Island.



**Figura 4.** Distribución horizontal de la temperatura a 20 m de profundidad y del viento a 10 m sobre el nivel del mar en la zona de estudio. a) Temperatura en la zona costera de isla Gorgona (Fuente: Crucero Mar-06 Univalle-Colciencias CI7670 DTSO035), b) temperatura en la cuenca del Océano Pacífico Colombiano (Fuente: DIMAR-CCCP Pacífico XLII Marzo 2006), c) campo de viento en la cuenca del Océano Pacífico colombiano (Fuente: QuickSCAT Marzo 2006).

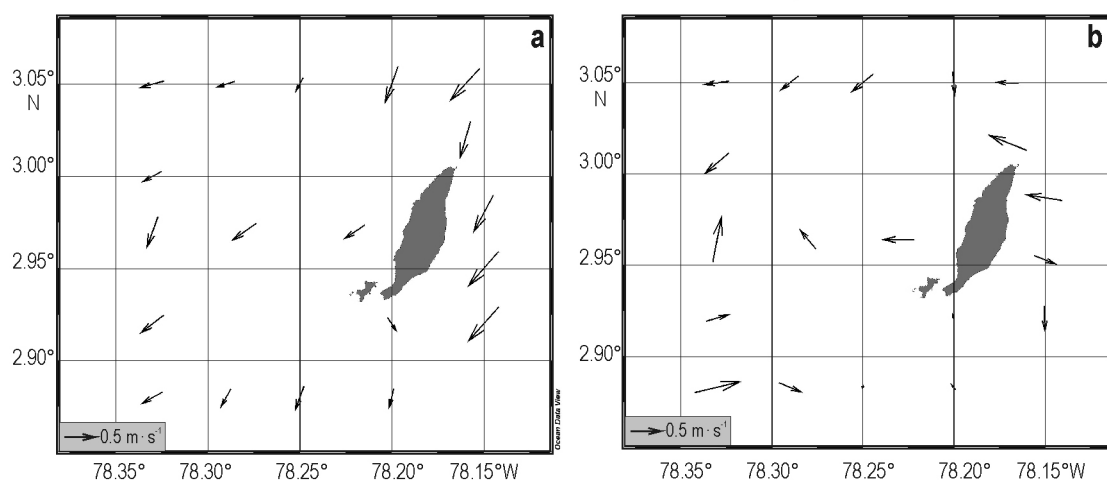
**Figure 4.** Spatial variability of sea water temperature (20 m depth) and winds (10 m above sea level) in the study zone. a) temperature from the coastal zone of Gorgona Island (Source: campaign Mar-06 Univalle-Colciencias CI7670 DTSO035). b) temperature from Colombian Pacific ocean (Source: DIMAR-CCCP Pacífico XLII March 2006). c) winds field on Colombian Pacific ocean (Source: QuickSCAT March 2006).

de isla Gorgona. Por el contrario, este enfriamiento fue una característica general en el Pacífico Oriental Tropical colombiano, originado por el ingreso de agua fría proveniente de un evento de surgencia que se desarrolla estacionalmente en la parte central del "Panama Bight", proceso que resulta de la acción divergente del chorro de viento de Panamá sobre la superficie del océano (Fig. 4c) (Rodríguez-Rubio *et al.*, 2003). En términos generales, la intensificación del chorro de viento de Panamá durante los primeros meses del año se origina por el encajonamiento de los vientos alisios del norte durante su paso por el istmo de Panamá. El consecuente proceso de surgencia oceánica se desarrolla con mayor intensidad a 5°N-80°W, generando una lengua fría que desciende desde el norte.

Al evaluar el patrón local de circulación, se encontró que en junio de 2006 la rapidez de las corrientes superficiales fue entre 0,24 y 0,73 m·s<sup>-1</sup>, aumentando progresivamente hasta magnitudes entre 0,27 y 0,94 m·s<sup>-1</sup> a los 30 m, máxima profundidad en que se realizaron registros. La mayor rapidez se determinó en el sector norte-noreste de la isla y la menor en el sector oeste. Esta tendencia se mantuvo hasta los 30 m de profundidad, siendo la dirección predominante suroeste (180°-270°). En febrero de 2007 la rapidez de la corriente superficial estuvo entre 0,28 y 0,93 m·s<sup>-1</sup>, registrándose la mayor rapidez en el sector oeste y una zona de calma en el sector sur (Fig. 5). Es importante destacar que se registró un cambio en la dirección preva- leciente del campo de corriente en febrero con respecto al registrado en junio, produciéndose en algunos sectores giros hacia el noroeste. Esta variabilidad estacional en el patrón de circulación estaría estrechamente asociada con la influencia de la corriente de Colombia en la zona de es-

tudio, específicamente por la interacción con la topografía submarina de la isla, además que durante febrero y marzo, la corriente de Colombia se intensifica y se acerca más a la zona costera (Rodríguez-Rubio *et al.*, 2003).

De acuerdo con Díaz *et al.*, (2001), en la zona de estudio se identifican dos períodos climáticos opuestos: un período lluvioso entre abril y noviembre, seguido de un período de menor precipitación entre diciembre y marzo. Esta condición climática tendría una alta influencia en las características oceanográficas superficiales de la zona de estudio, ya que además del efecto directo de la precipitación (4.000-8.000 mm·año<sup>-1</sup>), la cercanía al delta del río Patía-Sanquianga (50 km) favorece la influencia de agua continental sobre la isla Gorgona, lo que se refleja en la variabilidad salina del estrato superficial (0-5 m) durante septiembre y diciembre (Fig. 3b). En este mismo sentido, es de esperar que procesos oceanográfico-atmosféricos regionales influyan en las condiciones de la zona de estudio, tanto sobre las condiciones térmicas y halinas, como sobre el patrón local de circulación. Por ejemplo, el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) hacia el sur entre diciembre y marzo por acción de la intensificación de los vientos alisios del norte, genera una consecuente respuesta oceánica (surgencia oceánica) en el "Panama Bight" (Rodríguez-Rubio *et al.*, 2003). Este proceso atmosférico-oceánico de mesoescala, estaría afectando a toda la zona de influencia costera de isla Gorgona, con la presencia de agua fría y salina durante marzo. En conclusión, aunque es claro que la dinámica oceanográfica del entorno marino de isla Gorgona estaría fuertemente influenciada por su proximidad a la zona continental, procesos climático-oceanográficos de mesoescala, estarían



**Figura 5. Campo de corriente superficial a 10 m en la zona de influencia costera de isla Gorgona. a) Junio 2006 (Fuente Crucero DIMAR-CCCP), b) Febrero 2007 (Fuente: Crucero DIMAR-CCCP Pacífico XLIV).**

**Figure 5. Surface current field (10 m) in coastal waters of Gorgona Island. a) June 2006 (Source: DIMAR-CCCP), b) February 2007 (Source: DIMAR-CCCP Pacífico XLIV).**

afectando drásticamente las condiciones de la columna de agua en una escala anual y por consiguiente los diferentes ecosistemas bentónicos submareales que se desarrollan en esta importante área natural protegida del Pacífico Oriental Tropical colombiano.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto de investigación “Factores físicos, entorno oceanográfico y distribución de arrecifes coralinos en el P.N.N. isla Gorgona, Colciencias-Univalle 243-2004 (CI 7670), a favor de A. Giraldo y F. Zapata (permiso de investigación DTSO-035 otorgado por la Unidad Administradora Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales), en asociación con el proyecto de investigación “Dinámica Superficial y Subsuperficial de las Zonas Insulares en el Pacífico Colombiano (Fase I de II)”, Dirección General Marítima (DIMAR)– Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP), a favor de E. Rodríguez-Rubio. Los autores agradecen el apoyo logístico proporcionado por la Sección de Biología Marina del Departamento de Biología de la Universidad del Valle, la Estación Científica Henry von Prael del PNN Gorgona y la Dirección General Marítima (DIMAR) para la realización de este proyecto.

### REFERENCIAS

- Allredge, A.L. & W.H. Hamner. 1980. The occurring aggregation of zooplankton by a tidal current. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 10: 31-37.
- Cortés, J. 1997. Biology and geology of eastern Pacific coral reefs. *Coral Reefs*, 16: 39-46.
- Díaz, J.M., J.H. Pinzon, A.M. Perdomo, L.M. Barrios & M. López-Victoria. 2001. Generalidades. pp. 17-26. En: L.M. Barrios & M. López-Victoria (eds.). *Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única*. INVE-MAR, Ser. Publ. Esp. 7, Santa Marta, 160 pp.
- Dickey, T.D. 1990. Physical-optical-biological scales relevant to recruitment in large marine ecosystems. En: K. Sherman (ed.). *Large marine ecosystems: patterns, processes and yields*. AAAS Press, Washington, D.C., pp. 82-98.
- Dutton, I.M. (ed.). 1986. Workshop on the offshore effects of Cyclone Winnifred. Great Barrier Reef Marine Park Authority Workshop Series 7. Great Barrier Reef Marine Park Authority. Townsville, 111 pp.
- Glynn, P.W., H. von Prael & F. Guhl. 1982. Coral reefs of Gorgona Island, with special reference to corallivores and their influence on community structure and reef development. *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín*, 12: 185-214.
- Hughes, T.P. 1989. Community structure and diversity of coral reef: the role of history. *Ecology*, 70: 275-279.
- Hughes, T.P. & J.H. Conell. 1999. Multiple stressors on coral reef: a long-term perspective. *Limnol. Oceanogr.*, 44: 932-940.
- Hughes, T.P., D.C. Reed & M.J. Boyle. 1987. Herbivory on coral reefs: community structure following mass mortalities of sea urchins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 113: 39-59.
- Mann, K.H. 2000. *Ecology of coastal waters: with implication for management*. Blackwell Sciences, Massachusetts, 406 pp.
- Mann, K.H. & J.R.N. Lazier. 1996. *Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans*, Blackwell Science, Boston, 394 pp.
- Moran, P.J. 1986. The *Acanthaster* phenomenon. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 24: 379-380.
- Mullin, M.M. 1993. Webs and scales: physical and ecological processes in marine fish recruitment. Washington Sea Grant, University of Washington Press, 135 pp.
- Nadaoka, K., Y. Niher, R. Kumano, T. Yokoburi, T. Omija & K. Wakaki. 2001. A field observation on hydrodynamic and thermal environments of a fringing reef at Ishigaki Island under typhoon and normal atmospheric conditions. *Coral Reef*, 20: 387-398.
- Prael, H.V., F. Guhl & M. Grögl (eds.). 1979. *Gorgona*. Futura Grupo Editorial Ltda., Colombia, 263 pp.
- Rodríguez-Rubio, E., W. Schneider & R. Abarca del Río. 2003. On the seasonal circulation within the Panama Bight derived from satellite observations of wind, altimetry and sea surface temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 30(7): 1410-1413.
- Roger, C.S., T.H. Suchanek & F.A. Pecora. 1982. Effects of hurricane David and Frederic (1979) on shallow *Acropora palmate* reef community: St. Croix, U.S. Virgin Islands. *Bull. Mar. Sci.*, 32: 532-548.
- Sale, P.F. 1998. Appropriate spatial scales for studies of reef fish ecology. *Aust. J. Ecol.*, 23(3): 202-208.
- Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN). 1998. *El sistema de parques nacionales naturales de Colombia*, Ministerio del Medio Ambiente. Nomos, Bogotá, 497 pp.
- Wolanski, E. & W.M. Hamner. 1988. Topographically controlled fronts in the ocean and their biological influence. *Science*, 241: 177-181.
- Wolanski, E., D. Burrange & B. King. 1989. Trapping and dispersion of coral eggs around Bowden Reef, Great Barrier Reef, following mass coral spawning. *Cont. Shelf Res.*, 9: 479-496.

Zapata, F.A. 2001. Formaciones coralinas de isla Gorgona. pp. 27-40. En: L.M. Barrios & M. López-Victoria (eds.). Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única. INVEMAR, Ser. Pub. Esp. 7, Santa Marta, 160 pp.

Zapata, F.A. & B. Vargas-Ángel. 2003. Corals and coral reefs of the Pacific coast of Colombia. En: J. Cortes (ed.). Coral reefs of Latin America. Elsevier Science, Amsterdam, pp: 419-447.

Zapata, F.A., B. Vargas-Ángel & J. Garzón-Ferreira. 2001. Salud y conservación de las comunidades coralinas. pp. 41-50. En: L.M. Barrios & M. López-Victoria (eds.). Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única. INVEMAR, Ser. Pub. Esp. 7, Santa Marta, 160 pp.

*Received: 25 Jun 2007; Accepted: 24 March 2008.*