



ARTÍCULO

Variabilidad espacial de temperatura, salinidad y transparencia en el ambiente pelágico del PNN Gorgona durante septiembre 2007 y marzo 2008

Spatial variability of temperature, salinity and transparency in the pelagic zone of the PNN Gorgona during September 2007 and March 2008

Fecha recepción: 2008-07-24 / Fecha aprobación: 2008-09-05

Alan Giraldo López, oceanografia@univalle.edu.co

Grupo de Investigación en Ecología de Arrecifes Coralinos,
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Valle. A.A. 25360, Cali

Resumen

Con el propósito de describir la variabilidad espacial y temporal de la temperatura, salinidad y transparencia en el ambiente pelágico de Isla Gorgona se realizaron dos campañas de muestreo oceanográfico, una en septiembre de 2007 y la otra en marzo de 2008, a lo largo de una malla de 24 estaciones. En cada estación, se registró la temperatura y salinidad desde la superficie hasta 50 m o el fondo utilizando una CTD Seabird-19, y se registró la transparencia del agua utilizando un disco *Secchi*. Se detectaron diferencias significativas temporales y espaciales en la temperatura, salinidad y transparencia en la columna de agua. En términos generales durante septiembre el agua fue más cálida, menos salina y más transparente que durante marzo (Anova, $p < 0.05$). De otro lado, aunque no se detectaron diferencias significativas en la temperatura y salinidad superficial entre el sector oriental y occidental de la isla (Anova, $p > 0.13$), se estableció que a 10 m de profundidad el agua es significativamente más cálida y salina en el sector occidental de Isla Gorgona (Anova, $p < 0.02$).

Palabras claves: Oceanografía costera, observaciones STD, perfiles CTD, aguas costeras, islas.

Abstract

In order to describe the spatial and temporal variability of temperature, salinity and water column transparency, two oceanographic campaigns were carried out, the first one in September 2007 and the second one in March 2008, along 24 sampling station grid. Temperature and salinity in each station from surface to 50 m or bottom was registered using a Seabird-19 CTD, and the water column transparency was measured using a Secchi disk. Spatial and temporal significant differences of temperature, salinity and transparency were detected in the study area. In general terms, the water was warmer, less saline and more transparent during September than during March (Anova, $p < 0.05$). On the other hand, although no significant differences of surface temperature and salinity were detected among eastern and western side of the island (Anova, $p > 0.13$), at 10 m depth the water was warmer and more saline in the western than in the eastern side (Anova, $p < 0.02$).

Key words: Coastal oceanography, STD observations, CTD profilers, coastal waters, islands.

Introducción

El Parque Nacional Natural Gorgona (02°49'-03°06'N, 78°06'-78°18'W), es un área marina protegida en el Pacífico Oriental Tropical de Colombia que alberga una alta diversidad biológica [1], entre los que se destaca la presencia de uno de los arrecifes coralinos más desarrollados de esta región [2]. Esta área protegida, está conformada principalmente por áreas marinas y submarinas [3], y aunque gran parte de los objetos de conservación declarados tienen una estrecha relación con el ambiente marino circundante, el conocimiento de la variabilidad oceanográfica en diferentes escalas espacio-temporales es escaso.

En los últimos años, se ha hecho un intenso esfuerzo de investigación con el propósito de describir las condiciones climáticas generales [4], y la variabilidad térmica y salina en la zona de influencia del PNN Gorgona, incluyendo el patrón local de circulación superficial [5]. En términos generales, se han identificado dos períodos oceanográficos contrastantes en esta zona: período baja temperatura-alta salinidad entre diciembre y abril, y período de alta temperatura-baja salinidad entre mayo-noviembre [5], los cuales se encuentran estrechamente asociados con la dinámica temporal de la zona de convergencia intertropical y la ocurrencia de una inversión general en el patrón de circulación del viento entre diciembre y marzo, lo que provoca una respuesta oceánica (surgencia de agua sub-superficial) en la zona central de la Cuenca del Pacífico colombiano [6]. En cuanto a la descripción climática general, Díaz, *et al.*, [4] reportan que la precipitación anual en la zona se encuentra entre 4000 a 8000 mm año⁻¹, identificándose un período de lluvias entre mayo y octubre, seguido de un período de menores precipitaciones entre diciembre y febrero; siendo estas condiciones climáticas moduladas por el campo de viento local, el cual se encuentra dominado por los Alisios del Sur [7].

Considerando el valor intrínseco que tienen las comunidades submareales presentes en el PNN Gorgona como objetos declarados de conservación [3], es importante conocer las condiciones físicas y químicas generales del ambiente pelágico ya que la totalidad de las especies que conforman estas

comunidades presentan en algún momento de su ciclo de vida etapas planctónicas, e incluso en estado adulto pueden ser vulnerables a cambios drásticos de las condiciones ambientales (*c.a.* El Niño-La Niña). En este sentido, ha sido ampliamente documentado que tensores físicos como temperatura, salinidad y turbidez pueden afectar la organización ecológica de las comunidades marinas [8]. Por lo tanto, la determinación precisa de la variación espacial y temporal de estos tensores es esencial para evaluar, en un sentido ecológico, la estabilidad y respuesta de las comunidades marinas submareales [9, 10].

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de la variabilidad horizontal y vertical de la temperatura, salinidad y transparencia del agua en el ambiente pelágico del PNN Gorgona.

Materiales y métodos

Isla Gorgona, es la formación insular más extensa en el Pacífico colombiano y se ubica a solo 36 km en línea recta desde el continente. De acuerdo con evidencia petrográfica reciente, la formación de esta isla se presentó a partir de un evento de derrame de lava durante el Mesozoico inferior o Terciario superior, la cual se enfrió rápidamente al entrar en contacto con el agua de mar formando depósitos de Komatiitas [11-14].

Se diseñó un plan de muestreo oceanográfico con base en una malla de 24 estaciones (tabla 1) previamente definidas (figura 1). El primer esfuerzo de muestreo se realizó durante septiembre 2007 a bordo de la M/N Anita en el marco del proyecto evaluación de línea base de la biodiversidad marina del Parque Nacional Natural Gorgona, liderado por la Fundación Yubarta y Conservación Internacional. La segunda campaña de muestreo se realizó durante marzo 2008 a bordo de la L/C Fragata en el marco del programa de apoyo al fortalecimiento del plan de manejo del PNN Gorgona, liderado por la Unión Temporal Gorgona Científica conformada por la Fundación Conservación Ambiente Colombia y la Fundación Squalus.

El área efectiva de muestreo fue de 370 km², registrando en cada estación la temperatura y salinidad desde superficie hasta 50 m de profundidad utilizando un CTD *Seabird-19*, y la transparencia del agua como una medida indirecta de la turbidez, utilizando un disco *Secchi*. Considerando las características del conjunto de datos generado y la

necesidad de describir las tendencias espaciales de las variables seleccionadas, se utilizó el método de interpolación *Krigging* para generar mapas de contorno de temperatura, salinidad y transparencia en la zona de estudio. Los registros de CTD fueron procesados utilizando el software *SBE Data Processing v5.37D*. Con base en esta información se generaron perfiles verticales de temperatura y salinidad para cada uno de los períodos de muestreo.

Para evaluar la variabilidad temporal y espacial de las condiciones oceanográficas estudiadas se utilizó un análisis de varianza de dos vías. Para este propósito cada estación fue asignada al sector oriental u occidental con base en su posición respecto al eje longitudinal de la isla (figura 1). Para el desarrollo del análisis, se seleccionaron como variables independientes el mes (septiembre marzo) y el sector (Oriental Occidental), y como variables dependientes la temperatura superficial, temperatura a 10 m, salinidad superficial, salinidad a 10 m y la transparencia en la columna de agua.

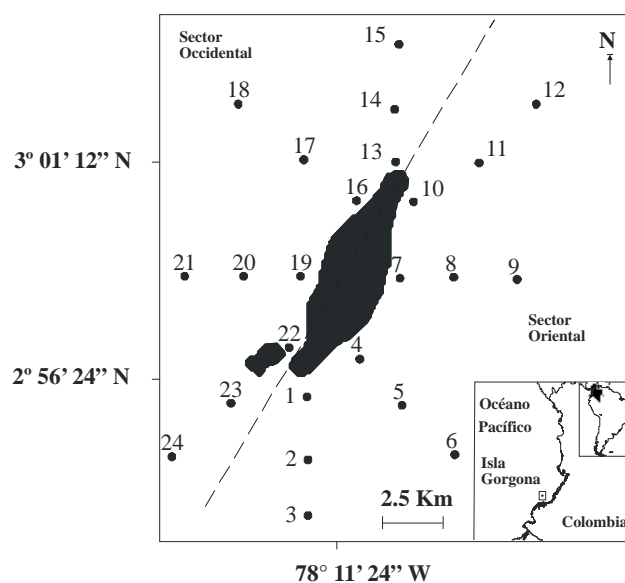


Figura 1. Ubicación espacial de isla Gorgona en el Pacífico colombiano. Se señala la posición de las estaciones de muestreo y se indica el sector occidental y oriental del área de estudio.

Tabla 1. Posición geográfica de las estaciones de muestreo oceanográfico en el PNN Gorgona.

Estación	Latitud N	Longitud W	Estación	Latitud N	Longitud W
1	2° 55' 48"	78° 12' 00"	13	3° 00' 36"	78° 10' 12"
2	2° 54' 36"	78° 12' 00"	14	3° 01' 48"	78° 10' 12"
3	2° 53' 24"	78° 12' 00"	15	3° 03' 00"	78° 10' 12"
4	2° 56' 24"	78° 10' 48"	16	3° 00' 00"	78° 10' 48"
5	2° 55' 48"	78° 10' 12"	17	3° 00' 36"	78° 12' 00"
6	2° 54' 36"	78° 09' 00"	18	3° 01' 48"	78° 10' 12"
7	2° 58' 12"	78° 10' 12"	19	2° 58' 12"	78° 12' 00"
8	2° 58' 12"	78° 09' 00"	20	2° 58' 12"	78° 10' 12"
9	2° 58' 12"	78° 07' 48"	21	2° 58' 12"	78° 14' 24"
10	3° 00' 00"	78° 09' 36"	22	2° 57' 00"	78° 12' 36"
11	3° 00' 36"	78° 08' 24"	23	2° 55' 48"	78° 13' 48"
12	3° 01' 48"	78° 07' 12"	24	2° 54' 36"	78° 15' 00"

Resultados

La temperatura superficial del mar (TSM) en la zona de estudio estuvo entre 26.8 °C y 28.6 °C (figura 2). Aunque la TSM fue significativamente mayor durante marzo (Anova, $p = 0.0001$, $TSM_{septiembre} = 27.3 \pm 0.4$ °C vs $TSM_{marzo} = 27.9 \pm 0.4$ °C), se detectaron diferencias significativas en la profundidad de la termoclina entre

los dos meses de estudio ubicándose más profunda durante septiembre (t-student, $p = 0.0001$, $Z_{septiembre} = 42.8 \pm 3.9$ m vs $Z_{marzo} = 23.7 \pm 2.7$ m). En este mismo sentido, al comparar la tasa de cambio de la temperatura por cada metro de profundidad (T), se encontró que fue un orden de magnitud menor en septiembre ($T_{septiembre} = -0.02$ °C vs $T_{marzo} = -0.17$ °C), lo que indica una mayor estabilidad térmica en la columna de agua durante este mes (figura 3).

Aunque la salinidad superficial fue más variable durante marzo que durante este mes (figura 2), se encontró que el registro promedio de salinidad superficial en la zona de estudio fue significativamente mayor durante septiembre (Anova, $p = 0.0068$, $SSM_{septiembre} = 30.8 \pm 0.3$ vs $SSM_{marzo} = 29.8 \pm 0.9$). Sin embargo, durante marzo los valores de salinidad mayores a 32 se registraron entre 4-10 m de profundidad mientras que en septiembre valores de salinidad mayores a 32 se registraron solamente después de la isóbata de los 20 m (figura 3).

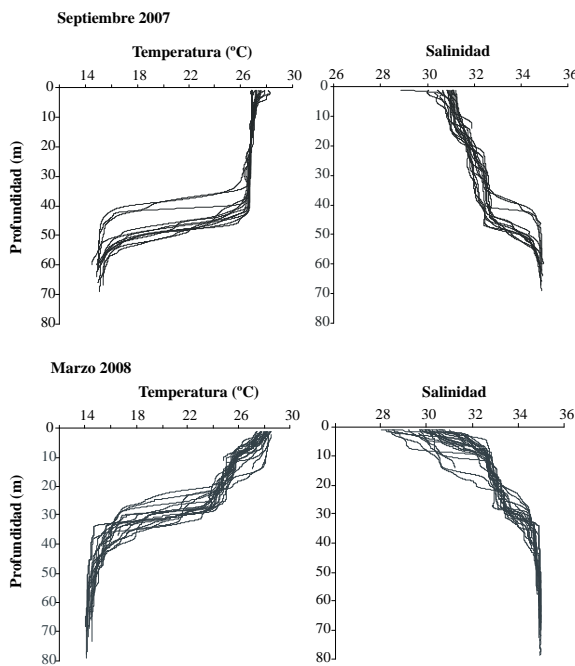


Figura 2. Variabilidad vertical de la temperatura y la salinidad en el ambiente pelágico del PNN Gorgona durante septiembre 2007 y marzo 2008.

Las condiciones de temperatura y salinidad a 10 m de profundidad fueron totalmente opuestas a las registradas para la zona superficial (figura 4). En este sentido la temperatura a 10 m de profundidad fue significativamente mayor durante septiembre (Anova, $p = 0.0001$) mientras que la salinidad fue significativamente mayor durante marzo (Anova, $p = 0.0001$). De otro lado, la transparencia de la columna de agua varió entre 3 m y 13 m en la zona de estudio (figura 2), siendo significativamente mayor durante septiembre (Anova, $p = 0.0087$, $Z_{secchi\ septiembre} = 8.6 \pm 2.7$ m vs $Z_{secchi\ marzo} = 6.4 \pm 2.9$ m).

Al evaluar la variabilidad espacial (sector oriental vs. sector occidental) de las condiciones evaluadas, se encontraron diferencias significativas en temperatura a 10 m, salinidad a 10 m y transparencia (tabla 2). En términos generales en el sector oriental de Isla Gorgona la región sub-superficial (10 m) de la columna de agua es significativamente más cálida y salina que el sector occidental (figura 4). Además, la transparencia del agua en el sector oriental de la isla es significativamente mayor que en el sector occidental (Anova, $p = 0.0443$; Tukey test, $p < 0.0107$) (figura 4). En este sentido, es importante destacar que durante marzo la transparencia del agua en el sector occidental descendió drásticamente, registrándose valores entre 4 y 6 m (tabla 2, figura 2).

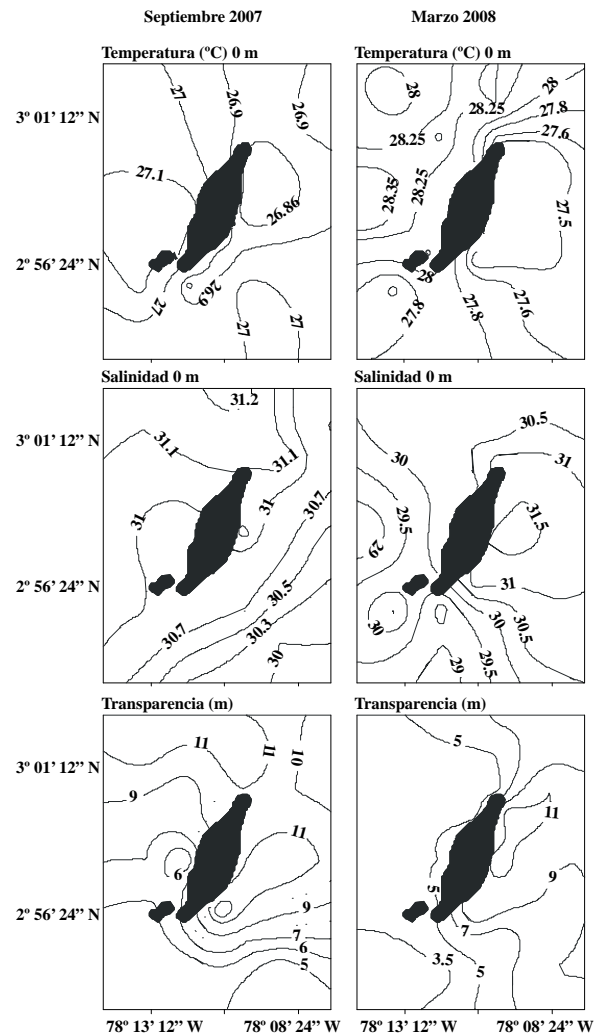


Figura 3. Variabilidad espacial de la temperatura (0m), salinidad (0m) y transparencia en el ambiente pelágico del PNN Gorgona durante septiembre 2007 y marzo 2008.

Tabla 2. Registros promedio, intervalo de confianza (IC) y resultados del análisis de varianza para cada una de las variables seleccionadas.

Temperatura 0 m (°C)

Mes	Zona	n	Promedio	SD	IC promedio (95%)		Anova		
							Fuente	F	p
Marzo	Oriente	12	27.62	0.073	27.46	27.78	Mes	23.8	0.0002
Marzo	Occidente	12	28.09	0.097	27.88	28.30	Zona	2.1	0.1560
Septiembre	Oriente	11	27.35	0.164	26.99	27.72	Mes x Zona	6.6	0.0143
Septiembre	Occidente	7	27.22	0.081	27.02	27.42			

Temperatura 10 m (°C)

Mes	Zona	n	Promedio	SD	IC promedio (95%)		Anova		
							Fuente	F	p
Marzo	Oriente	12	25.72	0.09	25.53	25.91	Mes	20.8	0.0001
Marzo	Occidente	12	26.49	0.31	25.80	27.18	Zona	5.6	0.0228
Septiembre	Oriente	11	26.91	0.02	26.87	26.96	Mes x Zona	2.7	0.1105
Septiembre	Occidente	7	27.06	0.04	26.96	27.16			

Salinidad 0m

Mes	Zona	n	Promedio	SD	IC promedio (95%)		Anova		
							Fuente	F	p
Marzo	Oriente	12	29.60	0.34	28.85	30.34	Mes	9.0	0.0048
Marzo	Occidente	12	29.89	0.18	29.49	30.30	Zona	2.3	0.1338
Septiembre	Oriente	11	30.70	0.11	30.46	30.94	Mes x Zona	1.3	0.2590
Septiembre	Occidente	7	31.02	0.04	30.91	31.12			

Salinidad 10 m

Mes	Zona	n	Promedio	SD	IC promedio (95%)		Anova		
							Fuente	F	p
Marzo	Oriente	12	32.63	0.03	32.55	32.70	Mes	43	0.0001
Marzo	Occidente	12	31.84	0.28	31.23	32.46	Zona	5	0.0289
Septiembre	Oriente	11	31.11	0.06	30.97	31.24	Mes x Zona	5	0.0265
Septiembre	Occidente	7	31.11	0.03	31.03	31.20			

Transparencia (m)

Mes	Zona	n	Promedio	SD	IC promedio (95%)		Anova		
							Fuente	F	p
Marzo	Oriente	12	8.17	0.92	6.14	10.19	Mes	8.1	0.0067
Marzo	Occidente	12	4.67	0.32	3.96	5.37	Zona	6.6	0.0137
Septiembre	Oriente	12	8.75	0.84	6.91	10.59	Mes x Zona	4.3	0.0443
Septiembre	Occidente	12	8.38	0.79	6.63	10.12			

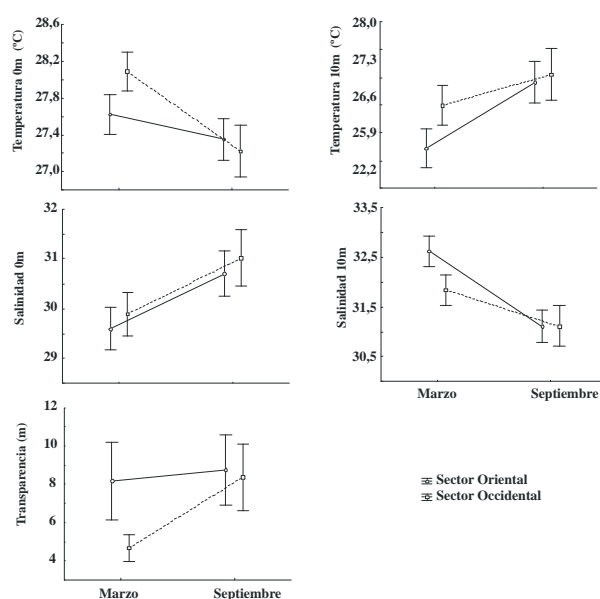


Figura 4. Comparación de los valores promedio de temperatura (0m y 10m), salinidad (0m y 10m) y transparencia en el ambiente pelágico del PNN Gorgona considerando el mes (septiembre-marzo) y la zona (Oriente - Occidente).

Discusión

Isla Gorgona se localiza en el sector más oriental del Pacífico Oriental Tropical (POT). En este contexto, la variabilidad temporal descrita para la temperatura, salinidad y transparencia en esta investigación son concordantes con lo reportado por Amador [15]; Benway and Mix [16] y Fiedler and Talley [17] para el POT e incluso se mantiene el patrón general descrito por Giraldo, *et al.* [5]. Sin embargo, es necesario considerar los posibles forzantes físicos que estarían modulando la variabilidad descrita.

Recurrentemente se reporta para la zona de Isla Gorgona la presencia de aguas significativamente más frías durante los primeros meses del año. Este descenso en la temperatura de la columna de agua ha sido atribuido tradicionalmente a procesos locales de surgencia [4, 18], aunque en un estudio reciente no se encontraron evidencias que soportaran esta hipótesis [5]. Por el contrario, Giraldo, *et al.* [5] plantean que este enfriamiento estacional es consecuencia de la respuesta oceánica a un forzante atmosférico del POT. En el sector oriental del Océano Pacífico han sido descritos tres forzantes atmosféricos principales: el

chorro de viento de Panamá (diciembre - abril), el chorro de viento del Chocó (octubre - noviembre) y el cinturón de convergencia intertropical (19-21). Cuando los vientos Alisios del norte se intensifican, el chorro de viento de Panamá afecta drásticamente la capa de influencia friccional del *Panama Bight*, provocando una consecuente respuesta oceánica en forma de una extensa lengua de surgencia que puede extenderse desde los 7° N hasta la zona ecuatorial [6, 7, 22]. La influencia de esta surgencia oceánica incluso puede registrarse en la zona costera del Pacífico colombiano [5], siendo este forzante la principal causa de las diferencias térmicas y salinas estacionales registradas en la zona de estudio.

Otro forzante a considerar es el componente climático. De acuerdo con Díaz, *et al.* [4], en Isla Gorgona se identifica un período de lluvias o invierno entre mayo y octubre, seguido de un período de menores precipitaciones o verano entre diciembre y febrero. En este contexto, la salinidad superficial responderá directamente al balance local entre la precipitación-evaporación [17], condición que explicaría la variabilidad estacional registrada. Sin embargo, al evaluar la variabilidad espacial de la salinidad (sector oriental sector occidente) es necesario considerar el efecto potencial de las fuentes locales de escorrentía. Por lo tanto, la cercanía de Isla Gorgona a la desembocadura del complejo Patía-Sanquianga permite suponer que esta fuente de agua continental, cuyo caudal medio es de $1300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y realiza una descarga sedimentaria equivalente a $14 \times 10^6 \text{ t año}^{-1}$ [23], estará influyendo significativamente en la zona de estudio. Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, el gradiente de salinidad superficial y transparencia detectado desde el sector suroriental hacia el noroccidental del área de estudio, probablemente sea el resultado de la influencia del río Patía-Sanquianga en Isla Gorgona. Sin embargo, esta influencia debe ser puesta a prueba incorporando técnicas específicas de investigación que permitan identificar y cuantificar el impacto real de este río en el ambiente costero del Pacífico Sur de Colombia.

En resumen, es claro que la variabilidad temporal y espacial de estas importantes características oceanográficas del ambiente pelágico del PNN Gorgona no responden a un único forzante. Por el contrario, es evidente que la temperatura, salinidad y transparencia de la columna de agua están moduladas

por procesos climáticos y oceanográficos que ocurren en diferentes escalas espacio-temporales pero que dejan sentir su efecto de manera simultánea.

Agradecimientos

Bellineth Valencia, Diego G. Ramírez y Eliana Velasco apoyaron la realización de la fase de campo. Este trabajo fue financiado parcialmente por Conservación Internacional, Fundación Yubarta, Unión Temporal Gorgona Científica y la Universidad del Valle. Un reconocimiento especial a la Estación Científica Henry Von Prahel del PNN Gorgona por el apoyo logístico proporcionado para la realización de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- [1] Barrios LM, López-victoria M, editores. *Gorgona marina*: contribución al conocimiento de una isla única. Santa Marta (Colombia): INVEMAR; Ser. Pub. Esp. 2001.
- [2] Zapata FA, Vargas-Ángel B. Corals and coral reefs of the Pacific coast of Colombia. In: Cortés J, editor. Coral reefs of Latin America. Amsterdam: Elsevier Science 2003:419-447.
- [3] UAESPNN. El Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Bogotá (Colombia): Editorial Nomos 1998.
- [4] Díaz JM, Pinzón JH, Perdomo AM, Barrios LM, López-Victoria M. Generalidades. En: Barrios LM, López-Victoria M, editores. *Gorgona marina*: contribución al conocimiento de una isla única. Santa Marta (Colombia): INVEMAR; Ser. Pub. Esp. 2001:17-26.
- [5] Giraldo A, Rodríguez-Rubio E, Zapata F. Condiciones oceanográficas en Isla Gorgona, Pacífico Oriental Tropical colombiano. *Lat Amer J Aquat Res.* 2008; 36(1):121-128.
- [6] Rodríguez-Rubio E, Schneider w, Abarca del Río R. On the seasonal circulation within Panama Bight derived from satellite observations of winds, altimetry and sea surface temperature. *Geophy. Res. Lett* 2003; (30):1410-1413.
- [7] Rodríguez-Rubio E, Stuardo J. Variability of photosynthetic pigments in the Colombian Pacific Ocean and its relationship with the wind field using ADEOS-I data. *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.)* 2002; 111(3):1-10.
- [8] Mann KH, Lazier JRN. Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans. 2nd ed. Boston: Blackwell Science 1996.
- [9] Jumars PA. Concepts in biological oceanography. Oxford: Oxford University Press 1993.
- [10] Alongi DM. Coastal ecosystem processes. Boca Raton (FL): CRC Press 1998.
- [11] Echeverría LM. Komatiites from Gorgona Island, Colombia. In: Arndt NT, Nisbet EG, editors. Komatiites. London (UK): George Allen and Unwin 1982;199-209.
- [12] Gómez H. Algunos aspectos neotectónicos hacia el Suroeste del Litoral Pacífico colombiano. *Revista CIAF* 1986; (11):281-289.
- [13] Llinás R, Pinto J, Peña F, Caro F. Geología. En: Rangel O, Aguirre J, editores. Biota y ecosistemas de Gorgona. Bogotá (Colombia): Fondo FEN 1990; 65-72.
- [14] Arndt NT, Kerr AC, Tarney J. Dynamic melting in plume heads: the formation of Gorgona komatiites and basalts. *Earth Planet Sci Lett* 1997; (146):289-301.
- [15] Amador JA, Alfaro EJ, Lizano OG, Magaña VO. Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: a review. *Progr. Oceanogr* 2006; (69):101-142.
- [16] Benway HM, Mix AC. Oxygen isotopes, upper-ocean salinity, and precipitation sources in the eastern tropical Pacific. *Earth Planet Sci Lett* 2004; (224):493-507.
- [17] Fiedler PC, Talley LD. Hydrography of the eastern tropical Pacific: a review. *Progr. Oceanogr* 2006; (69):143-180.
- [18] Prahel Hv, Guhl F, Grögl M. Gorgona. Bogotá, (Colombia): Futura Grupo Editorial Ltda 1979.
- [19] Lavín MF, Fiedler PC, Amador JA, Ballence LT, Farber-Lorda J, Mestas-Núñez AM. A review of eastern tropical Pacific oceanography: summary. *Progr Oceanogr* 2006; 69:391-398.
- [20] Philander SGH, Gu D, Lambert G, Lau NC, Li T, Pacanowski RC. Why the ITCZ is mostly north of equator? *J Clim* 1996; (9):2958-2972.
- [21] Poveda G, Mesa OJ. On the existence of Lloró (the rainiest locality on Earth): Enhanced oceanlandatmosphere interaction by a low-level jet. *Geophy Res Lett* 2000; (27):1675-1678.
- [22] Kessler WS. The circulation of the eastern tropical Pacific: a review. *Progr Oceanogr* 2006; (69):181-217.
- [23] Restrepo JD, Kjerfve B. Water Discharge and Sediment Load from the Western Slopes of the Colombian Andes with focus on Rio San Juan. *J Geol* 2000;(108):17-33. Tabla 1. Posición geográfica de las estaciones de muestreo oceanográfico en el PNN Gorgona.