

ARTÍCULO

Fitoplancton costero en Cabo Marzo y Punta Cruces, margen nororiental del Océano Pacífico colombiano

Coastal phytoplankton in Cabo Marzo and Punta Cruces, northeastern margin of Colombian Pacific Ocean

Fecha recepción: 2010-01-03 / Fecha aceptación: 2010-11-03

Alan Giraldo y Diego Germán Ramírez, oceanografia@univalle.edu.co
Grupo de Investigación en Ciencias Oceanográficas, Departamento de
Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Valle, Cali, Colombia

CIOH
www.cioh.org.co

RESUMEN

Se evaluó la estructura (composición, abundancia, riqueza, diversidad, equitabilidad y dominancia) y relación con factores abióticos (temperatura, salinidad y transparencia) de la comunidad fitoplanctónica costera en Cabo Marzo y Punta Cruces, localidades ubicadas en el sector nororiental del Pacífico colombiano. Estas localidades han sido identificadas como sitios potenciales para el establecimiento de un área marino-costero de manejo especial. En total se identificaron 86 especies de fitoplancton en Cabo Marzo (51 diatomeas, 30 dinoflagelados, 3 cianófitas y 2 silicoflagelados) y 112 especies en Punta Cruces (62 diatomeas, 42 dinoflagelados, 5 cianófitas y 3 silicoflagelados), siendo el grado de disimilitud entre las comunidades del 41.55% (índice de disimilitud Bray-Curtis). No se detectaron diferencias significativas para la densidad entre ambas localidades ($t_{16,0.05} = 1.80$; $p = 0.091$), siendo *Chaetaceros laevis* la especie dominante en Cabo Marzo, y *Ceratium fusus* y *C. furca* las especies dominantes en Punta Cruces. Al evaluar el grado de correlación entre la comunidad fitoplanctónica y las condiciones abióticas evaluadas, se detectó que la salinidad fue la variable de mayor efecto en la zona de estudio ($\rho_s = 0.41$). Los resultados de esta investigación presentan una limitada aplicabilidad temporal y geográfica, sin embargo proporcionan información necesaria y novedosa sobre las características generales de la comunidad fitoplanctónica costera en uno de los sectores menos estudiados del Pacífico colombiano.

Palabras claves: Oceanografía, aguas costeras, ambiente tropical, fitoplancton, diatomeas, Pacífico colombiano.

ABSTRACT

The community structure (abundance, richness, diversity, equitability and dominance) and the relationship with abiotic factors (temperature, salinity and transparency) of the coastal phytoplankton near Cabo Marzo and Punta Cruces, northeastern margin of Colombian Pacific Ocean, were investigated. Both sites have been identified as potential places to implement a marine-costal protected area of special management. 86 species were identified in Cabo Marzo (51 were diatoms, 30 dinoflagellates, 3 cyanophytes and 2 silicoflagellates) and 112 species were identified in Punta Cruces (62 were diatoms, 42 dinoflagellates, 5 cyanophytes and 3 silicoflagellates), being the dissimilarity between localities of 41.55 % (Bray-Curtis dissimilarity index). No significant difference in density were detected ($t_{16; 0.05} = 1.80$; $p = 0.091$). *Chaetaceros laevis* was de dominant taxa in Cabo Marzo, while *Ceratium fusus* and *C. furca* were the dominant species in Punta Cruces. A significant correlation between phytoplankton community and salinity in the study zone was detected ($\rho_s = 0.41$). Although the results of this investigation have a limited temporal and geographical applicability, these provide relevant and novel information about the coastal phytoplankton community from one of the zones fewer explored in the Pacific coast of Colombia.

Key words: Oceanography, coastal waters, tropical environment, phytoplankton, diatoms.

INTRODUCTION

The Colombian Pacific Ocean (CPO) is located at the Eastern Tropical Pacific (ETP), a region that characterizes by the presence of a permanent thermocline, which regulates the entry of nutrient-rich subsurface water to the photic zone of the water column and promotes the development of one of the major zones with dissolved oxygen deficiency [1, 2] in the world. Specifically, the CPO is a comprehensive part of the east bank of the POT. Although this sector has reported the presence of a high concentration of phytoplankton biomass, primary productivity rate is moderate [3, 4, 5, 6], and is modulated by the inflow of nutrients through local upwelling processes (Gulf of Tehuantepec, Papagayo Gulf and Gulf of Panama) which are driven by the trade winds during the first months of the year [1, 7].

In the coastal environment of this sector a high spatial and temporal heterogeneity of physical and chemical conditions develops due to the continued ingress of shelf water [8, 9], resulting in a functional and/or numeric response in the different biological components of the system [10, 11, 12]. Regarding the phytoplankton, various elements that influence the diversity and productivity in coastal environments have been proposed, including, the simultaneous action of abiotic factors such as inland nutrient flows, availability of light and thermal variability and local salt, and of biotic factors such as grazing and competition [13-18]. Therefore, through the studies of productivity of the marine pelagic ecosystem, it is necessary to identify the factors and understand the mechanisms that modulate the autotrophic component, since phytoplankton is a key component that forms the basis of the marine food web [19-24].

According to Peña and Pinilla [25], the systematic study of phytoplankton in the OPC began with the work of Vargas-Faucheaux *et al.* [26] based on the ACENTO Oceanographic campaign. These authors described the regional phytoplankton community associated with the oceanographic and climate conditions recorded. Since then, numerous research efforts directed towards the knowledge of the Colombian Pacific phytoplankton have been made based on PACIFIC-ERFEN oceanographic programs of the General Maritime Department (DIMAR – from its original Spanish language initials - Dirección General Marítima). It is worth highlighting among them, the work of Corchuelo and Moreno [27], who evaluated the phytoplankton taxonomic composition in the surface and the variation of the diatom-dynoflagellates ratio along a coast-ocean track, Castillo [28]

who used the phytoplankton indicator of water masses, Castillo and Vizcaino [29-30] who evaluated the use of phytoplankton as a biological indicator of El Niño, and Ramírez *et al.* [31] who described the taxonomic composition of phytoplankton in the neritic and oceanic zone of the Colombian Pacific.

In relation to the coastal environment, most studies have been conducted in bays and inlets of the south-central sector of the Colombian Pacific coast, highlighting the work of Calderon [32] and Collazos [33] who described the phytoplankton in the bay of Tumaco, Pineda [34] who studied the phytoplankton of the Bay of Buenaventura, and Mendoza [35] who studied the taxonomic composition of phytoplankton in the Bay of Málaga. To the north, the only bibliographic record on phytoplankton corresponds to the work conducted by Peña and Pinilla [25] on the Utria cove. They described the composition, distribution and abundance of the phytoplankton community in this location.

Although the coastal area of the northern sector of the Colombian Pacific reports on the identification of important coral formations such as Tebada and La Aguada [36], lush mangrove forests like Utria and Cupica [37-38], a vast number of fish species [39] and it is further considered a vital enclave for global biodiversity since it is an integral part of one of the most diverse centers of the world [40-41], yet one of the coastal marine regions less studied in Colombia. Therefore, this paper aims at providing relevant information on the composition and spatial variability of the coastal phytoplankton at two locations of this sector: Cabo Marzo and Punta Cruces. The intent is to evaluate their abundance, richness and degree of association with local conditions of temperature, salinity and transparency of the water column.

MATERIALS AND METHODS

An oceanographic sampling campaign was conducted in the locations of Cabo Marzo (6° 51'N - 77° 40' W) and Punta Cruces (6° 40'N - 77° 30' W) during January 2008 with the purpose of evaluating the oceanographic conditions and the composition and structure of the local phytoplankton community. To this end, a sampling grid was designed for each location. This grid consisted of nine stations spaced 1 km apart each, which were located from 100 meters inside the coastline up to 3 km offshore (table 1, figure 1). At each station, phytoplankton was captured using a simple conical net of 30 cm in diameter and 60-micron mesh filter. All the phytoplankton hauls lasted 5 min at a speed of 4 km

INTRODUCCIÓN

El Océano Pacífico colombiano (OPC) se encuentra inmerso en el Pacífico Oriental Tropical (POT), región que se caracteriza por la presencia de una termoclina permanente, la cual regula el ingreso de agua subsuperficial rica en nutrientes a la zona fótica de la columna de agua y favorece el desarrollo de una de las mayores zonas del mundo con deficiencia de oxígeno disuelto [1, 2]. Específicamente, el OPC hace parte integral del margen oriental del POT. Aunque en este sector se ha reportado la presencia de una alta concentración de biomasa fitoplanctónica, la tasa de productividad primaria es moderada [3, 4, 5, 6], siendo modulada por el ingreso estacional de nutrientes a través de procesos de surgencias locales (Golfo de Tehuantepec, Golfo de Papagayo y Golfo de Panamá) que son impulsadas por los vientos Alisios durante los primeros meses del año [1, 7].

En el ambiente costero de este sector se desarrolla una alta heterogeneidad espacial y temporal de las condiciones físicas y químicas debido al continuo ingreso de agua continental [8, 9], lo que provoca una respuesta funcional y/o numérica en los diferentes componentes biológicos del sistema [10, 11, 12]. En relación con el fitoplancton, han sido propuestos diferentes elementos que condicionan la diversidad y productividad en los ambientes costeros. Entre estos se destacan la acción simultánea de factores abióticos como el flujo de nutrientes continentales, la disponibilidad de luz y la variabilidad térmica y salina local, y de factores bióticos como el pastoreo y la competencia [13-18]. Por lo tanto, en los estudios de productividad de los ecosistemas pelágicos marinos es necesario identificar los factores y conocer los mecanismos que modulan el componente autotrófico, ya que el fitoplancton es un componente clave al servir de base de la trama trófica marina [19-24].

De acuerdo con Peña y Pinilla [25], el estudio sistemático del fitoplancton en el OPC se inició con el trabajo realizado por Vargas-Faucheaux et al. [26] con base en la campaña Oceanográfica ACENTO. Estos autores describieron la comunidad fitoplanctónica regional asociada con las condiciones oceanográficas y climatológicas registradas. A partir de ese momento, numerosos esfuerzos de investigación dirigidos hacia el conocimiento del fitoplancton del Pacífico colombiano han sido realizados con base en los programas oceanográficos PACIFICO-ERFEN de la Dirección General Marítima (DIMAR). Entre estos se destacan los trabajos de Corchuelo y Moreno [27], quienes evaluaron la composición taxonómica del fitoplancton superficial y la variación de la relación diatomea-dinoflagelados a lo largo de un trayecto

costa-oceano, Castillo [28] quien utilizó el fitoplancton como indicador de masas de agua, Castillo y Vizcaino [29-30] quienes evaluaron el uso del fitoplancton como indicador biológico de condiciones El Niño, y Ramírez et al. [31] quienes describieron la composición taxonómica del fitoplancton en la zona nerítica y oceánica del Pacífico colombiano.

En relación con el ambiente costero la mayoría de los estudios han sido realizados en bahías o ensenadas del sector centro-sur del litoral Pacífico colombiano, destacándose los trabajos realizados por Calderón [32] y Collazos [33] quienes describieron el fitoplancton en la Ensenada de Tumaco, el trabajo de Pineda [34] quien estudió el fitoplancton de la Bahía de Buenaventura y el de Mendoza [35] quien estudió la composición taxonómica del fitoplancton en la Bahía de Málaga. Para el sector norte, el único registro bibliográfico sobre fitoplancton corresponde al trabajo realizado por Peña y Pinilla [25] en la Ensenada de Utría, quienes describieron la composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica en esta localidad.

Aunque en la zona litoral del sector norte del Pacífico colombiano han sido identificadas importantes formaciones coralinas como Tebada y la Aguada [36], exuberantes bosques de manglar como el de Utría y Cupica [37-38], una alta riqueza de especies ícticas [39] y se considera un enclave vital para la biodiversidad mundial debido a que es parte integral de uno de los centros de mayor diversidad del planeta [40-41], es quizás una de las regiones marino-costera menos estudiada en Colombia. Por lo tanto, con el presente trabajo se pretende establecer información relevante sobre la composición y variabilidad espacial del fitoplancton costero en dos localidades de este sector: Cabo Marzo y Punta Cruces, evaluando además su abundancia, riqueza y grado de asociación con las condiciones locales de temperatura, salinidad y transparencia de la columna del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una campaña de muestreo oceanográfico en las localidades de Cabo Marzo (6° 51'N – 77° 40' W) y Punta Cruces (6°40'N - 77° 30' W) durante enero 2008 con el propósito de evaluar las condiciones oceanográficas y la composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica local. Para este propósito se diseñó para cada localidad, una malla de muestreo de nueve estaciones separadas 1 km entre sí, las cuales fueron ubicadas desde 100 m de la línea de costa hasta 3 km mar adentro (tabla 1, figura 1). En cada estación se rea-

h-1. This information was used in order to establish the water volume being filtered. Further, vertical variability of temperature and salinity was recorded using a CTD Seabird-19, and the transparency of the water column was measured using a Secchi disk.

The phytoplankton samples were concentrated into 500 ml wide-mouth plastic containers and preserved with formalin and iodine for transport to the laboratory. To estimate the phytoplankton density a 1ml aliquot of concentrated materials was pulled out. The cells present in 20 fields were counted using a Sedgewick-Rafter counting chamber under an optical microscope with zooms of 10X, 40X and 100X, when necessary. The taxonomic identification was made based on the work of Jiménez [42], Pesantes [43], Tomas [44-45] and Rivera-Tanenbaum [46].

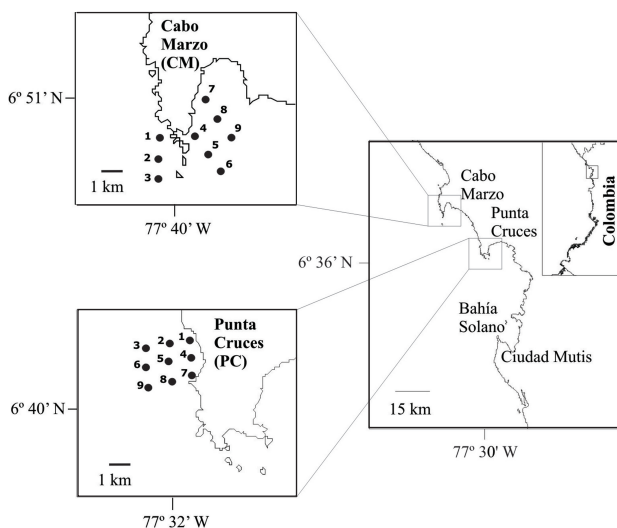


Figure 1. Position of the sampling stations in Cabo Marzo (CM) and Punta Cruces (PC), north-eastern area of the Colombian Pacific.

The effectiveness of the sampling effort was assessed at each site by comparing the number of species observed against the number of species expected, out of the ICE richness estimators [47-48], Chao-2 [49-50], Bootstrapping [51] and first-order Jackknife [51-54], established by re-sampling ($n = 1000$) (EstimateS v8.0) [55]. To describe the community characteristics in each locality, we used univariate indexes of richness (Margalef, d), diversity [Shannon-Wiener H' (base e)], dominance (Simpson: λ) and equitability (Pielou J'), estimated from the standardized abundance matrix (PRIMER v6.0) [56]. Finally, we compared the abiotic (temperature, salinity and transparency) and biotic descriptors (abundance,

Table 1. Geographic coordinates of the stations that make up the sampling grid in Cabo Marzo (CM) and Punta Cruces (PC), north-eastern sector of the Colombian Pacific.

Location	Station	Latitude (N)	Longitude (W)
Cabo Marzo	1	6° 50' 12.84"	77° 41' 34.84"
	2	6° 49' 31.22"	77° 41' 36.65"
	3	6° 48' 49.00"	77° 41' 35.45"
	4	6° 50' 15.25"	77° 40' 14.62"
	5	6° 49' 39.06"	77° 39' 48.08"
	6	6° 49' 04.68"	77° 39' 33.00"
	7	6° 51' 16.17"	77° 40' 03.98"
	8	6° 50' 47.22"	77° 39' 38.43"
	9	6° 50' 03.19"	77° 39' 10.69"
Punta Cruces	1	6° 42' 59.27"	77° 31' 32.99"
	2	6° 42' 47.67"	77° 32' 18.60"
	3	6° 42' 29.88"	77° 33' 09.61"
	4	6° 42' 17.50"	77° 31' 15.99"
	5	6° 42' 04.35"	77° 32' 06.23"
	6	6° 41' 48.11"	77° 32' 54.92"
	7	6° 41' 40.37"	77° 31' 23.72"
	8	6° 41' 23.36"	77° 32' 00.82"
	9	6° 41' 04.79"	77° 32' 37.15"

richness, diversity, dominance and equitability) between the two locations using a comparison test between independent groups of t-students, after evaluating the parametrical assumptions. When no such assumptions were met, data had to be transformed using the $\log(X + 1)$. If, despite the transformation, the assumptions remained to be unfulfilled, the non-parametrical comparison test for two independent groups of Mann-Whitney was applied.

A similarity matrix was built on the basis of the abundance records of species for Cabo Marzo (CM) and Punta Cruces (PC), and performed a classification analysis through the Bray-Curtis index and clustering by simple average (similarity clustering) [57] and non-metric multidimensional scaling (NMDS) analysis [58-60]. The cluster was validated using the SIMPROF routine (Prime v6.0) [61]. Additionally, the species that most contributed to the similarity in each location and to the dissimilarity between locations were identified through an exploratory analysis of similarity percentage (SIMPER). The degree of difference for the phytoplankton community was also evaluated at each site by a non-parametric swapping similarity analysis [ANOSIM (R)] [56, 61]. Finally, the relationship between the phytoplankton community and the abiotic parameters of temperature,

lizó un arrastre superficial de fitoplancton utilizando una red cónica simple de 30 cm de diámetro con ojo de malla de 60 micrones. Todos los arrastres tuvieron una duración de 5 min a una velocidad de 4 km h⁻¹, información que se utilizó para establecer el volumen de agua filtrado. Adicionalmente, se registró la variabilidad vertical de la temperatura y la salinidad utilizando un CTD Seabird-19, y se cuantificó la transparencia de la columna de agua utilizando un disco Secchi.

Las muestras de fitoplancton fueron concentradas en frascos plásticos de boca ancha de 500 mL y se preservó con formalina y lugol para su transporte al laboratorio. Para estimar la densidad fitoplanctónica se extrajo una alícuota de 1 ml del material concentrado, contando las células presentes en 20 campos de una cámara de conteo Sedgewick-Rafter en un microscopio óptico con aumentos de 10X, 40X y 100X cuando fue necesario. La identificación taxonómica se efectuó con base en los trabajos de Jiménez [42], Pesantes [43], Tomas [44-45] y Rivera-Tanenbaum [46].

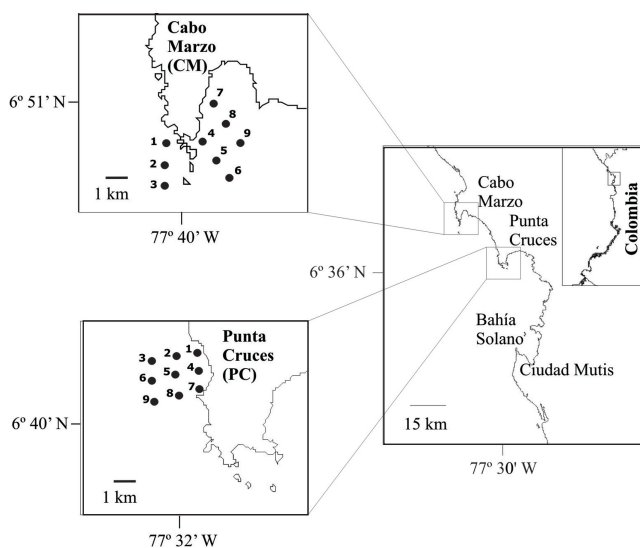


Figura 1. Posición de las estaciones de muestreo en Cabo Marzo (CM) y Punta Cruces (PC), sector nororiental del Pacífico colombiano.

Se evaluó la efectividad del esfuerzo de muestreo en cada localidad comparando el número de especies observado contra el número de especies esperado, a partir de los estimadores de riqueza ICE [47-48], Chao-2 [49-50], Bootstrapping [51] y Jackknife de primer orden [51-54], establecidos por remuestreo ($n=1000$) (EstimateS v8.0) [55]. Para describir las características comunitarias en cada localidad se utilizaron índices univariados de riqueza (Margalef: d), diversidad [Shannon-Wiener: H'

(base e), dominancia (Simpson: λ) y equitabilidad (Pielou: J'), estimados a partir de la matriz de abundancia estandarizada (PRIMER v6.0) [56]. Finalmente, se compararon los descriptores abióticos (temperatura, salinidad y transparencia) y bióticos (abundancia, riqueza, diversidad, dominancia y equitabilidad) entre las dos localidades utilizando una prueba de comparación entre grupos independientes de t -student, previa evaluación de los supuestos paramétricos. Cuando no se cumplieron los supuestos se realizó una transformación de los datos utilizando la función $\log(X+1)$. Si a pesar de la transformación no se cumplieron los supuestos se utilizó una prueba de comparación no paramétrica para dos grupos independiente de Mann-Whitney.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones que conformaron la malla de muestreo en Cabo Marzo (CM) y Punta Cruces (PC), sector nororiental del Pacífico colombiano.

Localidad	Estación	Latitud (N)	Longitud (W)
Cabo Marzo	1	6° 50' 12.84"	77° 41' 34.84"
	2	6° 49' 31.22"	77° 41' 36.65"
	3	6° 48' 49.00"	77° 41' 35.45"
	4	6° 50' 15.25"	77° 40' 14.62"
	5	6° 49' 39.06"	77° 39' 48.08"
	6	6° 49' 04.68"	77° 39' 33.00"
	7	6° 51' 16.17"	77° 40' 03.98"
	8	6° 50' 47.22"	77° 39' 38.43"
	9	6° 50' 03.19"	77° 39' 10.69"
Punta Cruces	1	6° 42' 59.27"	77° 31' 32.99"
	2	6° 42' 47.67"	77° 32' 18.60"
	3	6° 42' 29.88"	77° 33' 09.61"
	4	6° 42' 17.50"	77° 31' 15.99"
	5	6° 42' 04.35"	77° 32' 06.23"
	6	6° 41' 48.11"	77° 32' 54.92"
	7	6° 41' 40.37"	77° 31' 23.72"
	8	6° 41' 23.36"	77° 32' 00.82"
	9	6° 41' 04.79"	77° 32' 37.15"

Se construyó una matriz de similitud con base en los registros de abundancia de especies para Cabo Marzo (CM) y Punta Cruces (PC), y se realizó un análisis de clasificación mediante el índice de Bray-Curtis, utilizando estrategias de agrupamiento y ordenación: promedio simple (agrupamiento de similitud) [57] y escalamiento no métrico multidimensional (nMDS) [58-60]. Se estableció la validez de las agrupaciones evaluando la similitud de los perfiles generados utilizando la rutina SIMPROF (Primer v6.0) [61]. Adicionalmente, se identifi-

salinity and transparency was evaluated, maximizing the correlation range between the two similarity matrices [Spearman coefficient (ρ_s)] using the BEST routine (First v6.0) [61].

Outcomes

Table 2 summarizes the descriptors of central tendency (mean and median) and dispersion (percentile 25% percentile 75%, standard deviation and standard error) of each of the abiotic and biotic parameters evaluated in Cabo Marzo and Punta Cruces. It was found that the vertical structure of the water column was similar at both sites (figure 2a). In this regard, the existence

of a strong thermal and saline discontinuity was identified in the presence of a marked thermocline and halocline between 30 - 40 m deep, which reduces the possibility of ingress of subsurface nutrients to the photic layer. However, the record of vertical variability of salinity in Punta Cruces (figure 2a) suggests the presence of a shallow layer of lower salinity (ca 0 -10 m), a condition that may indicate an increased influence of shelf water. Although no significant differences of surface temperature were found between Cabo Marzo and Punta Cruces ($U = -1.37$, $p = 0.19$), surface salinity was remarkably higher in Cabo Marzo ($t_{16,0.05} = 8.52$; $p < 0.001$), whereas transparency was considerably greater in Punta Cruces ($t_{16,0.05} = 4.09$; $p < 0.001$) (figure 2b).

Table 2. Descriptors of central tendency and dispersion of the abiotic and biotic parameters evaluated in the locations of Cabo Marzo and Punta Cruces, north-eastern sector of the Colombian Pacific during January 2008. n: number of stations, M: mean, m: median, 25%: first quartile, 75%: third quartile, DE: Standard deviation, E: Standard error.

Location	Parameter	n	M	m	25%	75%	DE	E
Cabo Marzo	Temperature (°C)	9	27.220	27.300	26.980	27.420	0.230	0.080
	Salinity	9	26.480	26.480	26.340	26.640	0.230	0.080
	Transparency (m)	9	8.790	8.800	7.000	10.000	1.990	0.660
	Abundance (10^6 cel L ⁻¹)	9	5.640	4.770	4.410	7.410	1.920	0.640
	Richness (d)	9	5.650	5.420	5.360	5.920	0.530	0.180
	Diversity (H')	9	3.490	3.510	3.420	3.570	0.160	0.050
	Dominance (λ)	9	0.044	0.040	0.038	0.046	0.011	0.004
	Equitability (J')	9	0.890	0.900	0.890	0.910	0.030	0.010
Punta Cruces	Temperature (°C)	9	27.370	27.350	27.310	27.440	0.090	0.030
	Salinity	9	25.450	25.600	25.280	25.630	0.280	0.090
	Transparency (m)	9	12.240	12.000	11.000	13.000	1.560	0.520
	Abundance (10^6 cel L ⁻¹)	9	4.020	3.890	2.800	4.870	1.900	0.630
	Richness (d)	9	4.850	4.950	4.600	5.180	0.600	0.200
	Diversity (H')	9	3.230	3.240	3.190	3.280	0.110	0.040
	Dominance (λ)	9	0.062	0.065	0.054	0.070	0.009	0.003
Equitability (J')	9	0.870	0.870	0.870	0.880	0.020	0.010	

caron las especies que mayor aporte hicieron a la similitud en cada localidad y a la disimilitud entre localidades, utilizando un análisis exploratorio de porcentaje de similitud (SIMPER). Se evaluó el grado de diferencia para la comunidad fitoplanctónica descrita en cada localidad mediante un análisis de permutación no paramétrico de similitud [ANOSIM (R)] [56, 61]. Finalmente, se evaluó la relación entre la comunidad fitoplanctónica y los parámetros abióticos de temperatura, salinidad y transparencia, maximizando el rango de correlación entre las dos matrices de similitud [coeficiente de Spearman (ρ_s)] utilizando la rutina BEST (Primer v6.0) [61].

RESULTADOS

En la tabla 2 se resumen los descriptores de tendencia central (media y mediana) y dispersión (percentil 25%, percentil 75%, desviación estándar y error estándar)

de cada uno de los parámetros abióticos y bióticos evaluados en Cabo Marzo y Punta Cruces. Se encontró que la estructura vertical de la columna de agua fue similar en las dos localidades (figura 2a). En este sentido, se identificó la presencia de una fuerte discontinuidad térmica y salina, con la presencia de una marcada termoclina y haloclina entre 30 – 40 m de profundidad, lo que reduce la posibilidad de ingreso de nutrientes subsuperficiales a la capa fótica. Sin embargo, el registro de variabilidad vertical de la salinidad en Punta Cruces (figura 2a) sugiere la presencia de una capa somera de menor salinidad (c.a. 0 -10 m), condición que indicaría una mayor influencia de agua continental. Aunque no se detectaron diferencias significativas de temperatura superficial entre Cabo Marzo y Punta Cruces ($U = -1.37$; $p = 0.19$), la salinidad superficial fue significativamente mayor en Cabo Marzo ($t_{16,0.05} = 8.52$; $p < 0.001$), mientras que la transparencia fue significativamente mayor en Punta Cruces ($t_{16,0.05} = 4.09$; $p < 0.001$) (figura 2b).

Tabla 2. Descriptores de tendencia central y dispersión de los parámetros abióticos y bióticos evaluados en las localidades de Cabo Marzo y Punta Cruces, sector nororiental del Pacífico colombiano durante enero 2008. n: número de estaciones, M: media, m: mediana, 25%: primer cuartil, 75%: tercer cuartil, DE: desviación estándar, E: error estándar.

Localidad	Parámetro	n	M	m	25%	75%	DE	E
Cabo Marzo	Temperatura (°C)	9	27.220	27.300	26.980	27.420	0.230	0.080
	Salinidad	9	26.480	26.480	26.340	26.640	0.230	0.080
	Transparencia (m)	9	8.790	8.800	7.000	10.000	1.990	0.660
	Abundancia (10^6 cel L ⁻¹)	9	5.640	4.770	4.410	7.410	1.920	0.640
	Riqueza (d)	9	5.650	5.420	5.360	5.920	0.530	0.180
	Diversidad (H')	9	3.490	3.510	3.420	3.570	0.160	0.050
	Dominancia (λ)	9	0.044	0.040	0.038	0.046	0.011	0.004
	Equitabilidad (J')	9	0.890	0.900	0.890	0.910	0.030	0.010
Punta Cruces	Temperatura (°C)	9	27.370	27.350	27.310	27.440	0.090	0.030
	Salinidad	9	25.450	25.600	25.280	25.630	0.280	0.090
	Transparencia (m)	9	12.240	12.000	11.000	13.000	1.560	0.520
	Abundancia (10^6 cel L ⁻¹)	9	4.020	3.890	2.800	4.870	1.900	0.630
	Riqueza (d)	9	4.850	4.950	4.600	5.180	0.600	0.200
	Diversidad (H')	9	3.230	3.240	3.190	3.280	0.110	0.040
	Dominancia (λ)	9	0.062	0.065	0.054	0.070	0.009	0.003
	Equitabilidad (J')	9	0.870	0.870	0.870	0.880	0.020	0.010

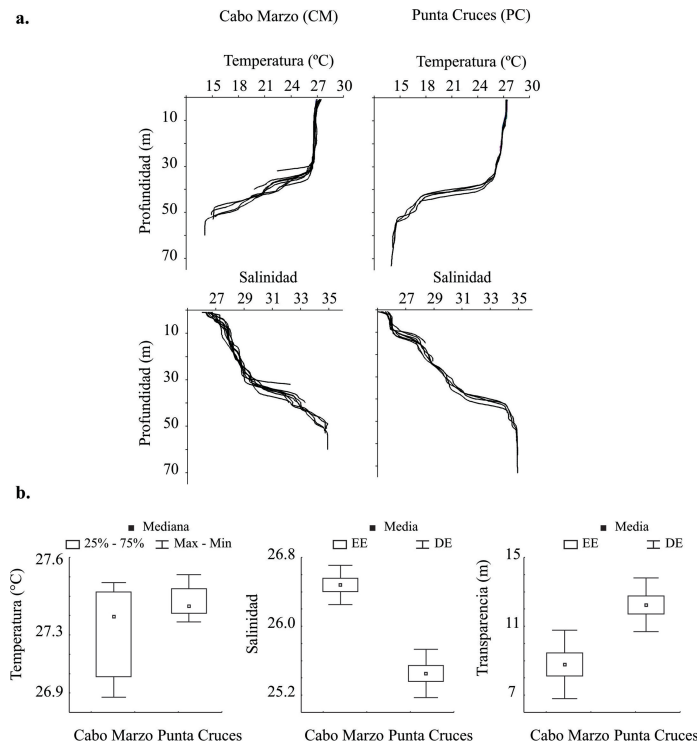


Figure 2. Description of the oceanographic conditions in the area of study. A. Vertical variability of temperature and salinity in Cabo Marzo and Punta Cruces. B. Comparison of temperature, salinity and transparency between Cabo Marzo (CM) and Punta Cruces (PC). EE: Standard Error. DE: Standard deviation.

In total, 127 species were identified in the two areas of study, out of which 86 species were recorded in Cabo Marzo [Diatoms (*Bacillariophyta*): 56.30%; Dinoflagellates (*Dynophyta*): 34.88%; Cyanophyta or blue-green algae (*Cyanophyta*): 3.49% and Silicoflagellates (*Chromophyta* and *Silicoflagellida*): 2.43%] and 112 species in Punta Cruces [Diatoms (*Bacillariophyta*): 55.36%; dinoflagellates (*Dynophyta*): 40.18%; Cyanophyta or blue-

green algae (*Cyanophyta*): 1.79% and Silicoflagellates (*Chromophyta* and *Silicoflagellida*): 2.68%] (table 3). From all the species recorded, 15 species were recorded only in Cabo Marzo and 41 in Punta Cruces (table 3). Hence, the sampling effort was stood at 85% to 93% of potential species present in Cabo Marzo and from 67% to 86% of potential species in Punta Cruces (table 4).

Table 3. Species of phytoplankton recorded in Cabo Marzo and Punta Cruces, north-eastern area of the Colombian Pacific in January 2008. * recorded only in Cabo Marzo, ** Recorded only in Punta Cruces.

<i>Bacillariophyta</i>	
<i>Asterionella glacialis</i> Castracane 1886	<i>Guinardia</i> sp.
<i>Asteromphalus brookei</i> Ehrenberg 1844	<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow
<i>Asteromphalus roperianus</i> Greville 1860	<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville 1865
<i>Bacteriastrium comosum</i> Pavillard 1916	<i>Lauderia</i> sp.
<i>Bacteriastrium delicatulum</i> Cleve 1817	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve 1889
<i>Bacteriastrium elongatum</i> Cleve 1817	<i>Leptocylindrus</i> sp. **
<i>Bacteriastrium hyalinum</i> Lauder 1864	<i>Lithodesmium</i> sp. *
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder 1864	<i>Navicula</i> sp. 1

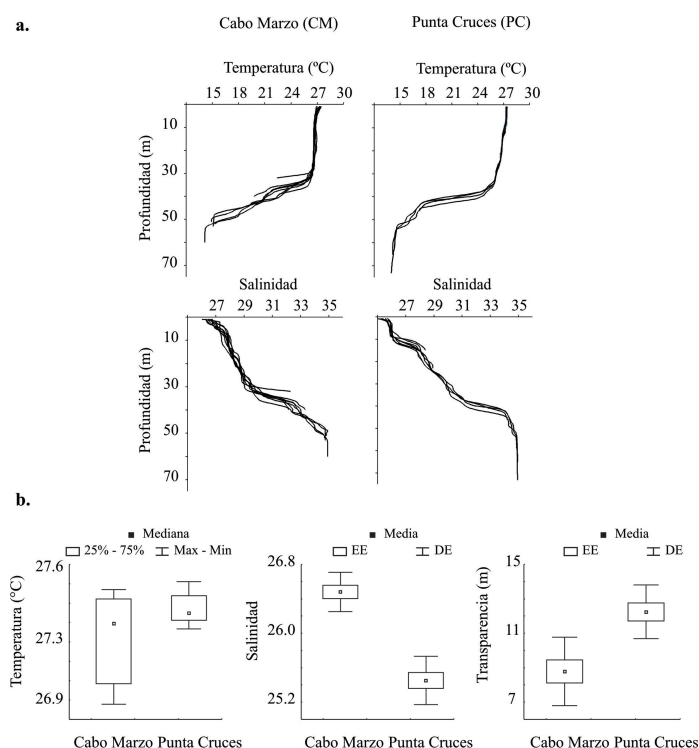


Figura 2. Descripción de las condiciones oceanográficas en la zona de estudio. A. variabilidad vertical de la temperatura y la salinidad en Cabo Marzo y Punta Cruces. B. Comparación de la temperatura, salinidad y transparencia entre Cabo Marzo (CM) y Punta Cruces (PC). EE: error estándar. DE: desviación estándar.

En total se identificaron 127 especies en las dos zonas de estudio, de las cuales 86 especies fueron registradas en Cabo Marzo [Diatomeas (*Bacillariophyta*): 56.30%; Dinoflagelados (*Dynophyta*): 34.88%; Cianófitas o algas azul-verdosas (*Cyanophyta*): 3.49% y Silicoflagelados (*Chromophyta* y *Silicoflagellida*): 2.43%]] y 112 especies en Punta Cruces [Diatomeas (*Bacillariophyta*): 55.36%; Dinoflagelados (*Dynophyta*): 40.18%; Cianófitas o algas

azul-verdosas (*Cyanophyta*): 1.79% y Silicoflagelados (*Chromophyta* y *Silicoflagellida*): 2,68%]] (tabla 3). Del total de especies registradas, 15 especies solo se registraron en Cabo Marzo y 41 especies solo se registraron en Punta Cruces (tabla 3), registrando el esfuerzo de muestreo entre el 85% al 93% de las especies potenciales presentes en Cabo Marzo y entre el 67% al 86% de las especies potenciales en Punta Cruces (tabla 4).

Tabla 3. Especies de fitoplancton registradas en Cabo Marzo y Punta Cruces sector nororiental del Pacífico colombiano en enero 2008. * registrada solo en Cabo Marzo, ** Registrada solo en Punta Cruces.

Bacillariophyta	
<i>Asterionella glacialis</i> Castracane 1886	<i>Guinardia</i> sp.
<i>Asteromphalus brookei</i> Ehrenberg 1844	<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow
<i>Asteromphalus roperianus</i> Greville 1860	<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville 1865
<i>Bacteriastrum comosum</i> Pavillard 1916	<i>Lauderia</i> sp.
<i>Bacteriastrum delicatulum</i> Cleve 1817	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve 1889
<i>Bacteriastrum elongatum</i> Cleve 1817	<i>Leptocylindrus</i> sp. **
<i>Bacteriastrum hyalinum</i> Lauder 1864	<i>Lithodesmium</i> sp. *

Table 3. Continuation Bacillariophyta

<i>Chaetoceros aequatorialis</i> Cleve 1873	<i>Navicula</i> sp. 2
<i>Chaetoceros atlanticus</i> Cleve 1873 **	<i>Nitzschia lineola</i> Cleve 1897 **
<i>Chaetoceros coarctatus</i> Laud 1864	<i>Nitzschia pungens</i> Grunow ex Cleve 1897 **
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve 1889	<i>Nitzschia</i> sp. 1**
<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve 1889 **	<i>Nitzschia</i> sp. 2**
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve 1873 *	<i>Odontella alternans</i> Schutt 1899 *
<i>Chaetoceros didymus</i> Ehrenberg 1845	<i>Odontella mobiliensis</i> Grunow 1884 *
<i>Chaetoceros laevis</i> Cupp 1943	<i>Odontella pulchella</i> Gray 1831 **
<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow 1863	<i>Odontella sinensis</i> Grunow 1864 *
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightw	<i>Odontella</i> sp. *
<i>Chaetoceros radicans</i> Schütt 1895	<i>Rhizosolenia alata</i> Brightwell 1858
<i>Chaetoceros</i> sp. 1**	<i>Rhizosolenia bergonii</i> Peragallo 1892 **
<i>Chaetoceros</i> sp. 2	<i>Rhizosolenia calcar-avis</i> Schultze 1858 **
<i>Chaetoceros</i> sp. 3	<i>Rhizosolenia castracanei</i> Peragallo 1888
<i>Chaetoceros</i> sp. 4	<i>Rhizosolenia decipiens</i> Sundström 1986 *
<i>Corethron</i> sp.	<i>Rhizosolenia hebetate</i> Bailey 1856
<i>Coscinodiscus concinnus</i> Smith 1856	<i>Rhizosolenia hyaline</i> Cleve 1901
<i>Coscinodiscus excentricus</i> Schmidt 1874	<i>Rhizosolenia imbricate</i> Brightwell 1858
<i>Coscinodiscus granii</i> Gough 1905	<i>Rhizosolenia robusta</i> Pritchard 1861 v
<i>Coscinodiscus</i> sp. 1**	<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell 1858
<i>Coscinodiscus</i> sp. 2	<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell 1858
<i>Ditylum</i> sp.	<i>Rhizosolenia</i> sp. 1 **
<i>Rhizosolenia</i> sp. 2**	<i>Dinophysis</i> sp. **.
<i>Rhizosolenia</i> sp. 3**	<i>Gonyaulax</i> sp. 1
<i>Rhizosolenia</i> sp. 4	<i>Gonyaulax</i> sp. 2 **
<i>Rhizosolenia</i> sp. 5**	
<i>Rhizosolenia</i> sp. 6*	<i>Protoperidinium elegans</i> Balech 1974
<i>Rhizosolenia</i> sp. 7*	<i>Protoperidinium depressum</i> Balech 1974 **
<i>Rhizosolenia</i> sp. 8**	<i>Protoperidinium divergens</i> Balech 1974 **
<i>Skeletonema costatum</i> Cleve 1878	<i>Protoperidinium</i> Balech 1974
<i>Thalassionema fraeunfeldii</i> Grunow 1862	<i>Protoperidinium steinii</i> Jørgensen 1899
<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow 1862	<i>Protoperidinium</i> sp. 1 **
<i>Thalassionema</i> sp. 1**	<i>Protoperidinium</i> sp. 2 **
<i>Thalassiosira</i> sp. 1	<i>Protoperidinium</i> sp. 3 **
<i>Thalassiosira</i> sp. 2	<i>Protoperidinium</i> sp. 4
<i>Thalassiotrix</i> sp.	<i>Protoperidinium</i> sp. 5 **
Dynophyta	<i>Protoperidinium</i> sp. 6 **
<i>Ceratium breve</i> Ostenfeld et Schmidt 1901	<i>Pyrocystis lunula</i> Schutt 1896 *
<i>Ceratium candelabrum</i> Stein 1883	<i>Pyrophacus steinii</i> Schiller 1935
<i>Ceratium carriense</i> Gourret 1883	<i>Pyrophacus</i> sp. 1 **
<i>Ceratium contortum</i> Cleve 1900	<i>Pyrophacus</i> sp. 2 **
<i>Ceratium deflexum</i> (Kofoid 1907) Jørgensen 1911 **	
<i>Ceratium extensum</i> (Gourret 1883) Cleve 1901	Cyanophyta
<i>Ceratium falcatum</i> (Kofoid 1907) Jørgensen 1920	<i>Anabaena</i> sp. 1

Tabla 3. Continuación Bacillariophyta

<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder 1864	<i>Navicula</i> sp. 1
<i>Chaetoceros aequatorialis</i> Cleve 1873	<i>Navicula</i> sp. 2
<i>Chaetoceros atlanticus</i> Cleve 1873 **	<i>Nitzschia lineola</i> Cleve 1897 **
<i>Chaetoceros coarctatus</i> Laud 1864	<i>Nitzschia pungens</i> Grunow ex Cleve 1897 **
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve 1889	<i>Nitzschia</i> sp. 1**
<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve 1889 **	<i>Nitzschia</i> sp. 2**
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve 1873 *	<i>Odontella alternans</i> Schutt 1899 *
<i>Chaetoceros didymus</i> Ehrenberg 1845	<i>Odontella mobiliensis</i> Grunow 1884 *
<i>Chaetoceros laevis</i> Cupp 1943	<i>Odontella pulchella</i> Gray 1831 **
<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow 1863	<i>Odontella sinensis</i> Grunow 1864 *
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightw	<i>Odontella</i> sp. *
<i>Chaetoceros radicans</i> Schütt 1895	<i>Rhizosolenia alata</i> Brightwell 1858
<i>Chaetoceros</i> sp. 1**	<i>Rhizosolenia bergonii</i> Peragallo 1892 **
<i>Chaetoceros</i> sp. 2	<i>Rhizosolenia calcar-avis</i> Schultze 1858 **
<i>Chaetoceros</i> sp. 3	<i>Rhizosolenia castracanei</i> Peragallo 1888
<i>Chaetoceros</i> sp. 4	<i>Rhizosolenia decipiens</i> Sundström 1986 *
<i>Corethron</i> sp.	<i>Rhizosolenia hebetate</i> Bailey 1856
<i>Coscinodiscus concinnus</i> Smith 1856	<i>Rhizosolenia hyaline</i> Cleve 1901
<i>Coscinodiscus excentricus</i> Schmidt 1874	<i>Rhizosolenia imbricate</i> Brightwell 1858
<i>Coscinodiscus granii</i> Gough 1905	<i>Rhizosolenia robusta</i> Pritchard 1861 v
<i>Coscinodiscus</i> sp. 1**	<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell 1858
<i>Coscinodiscus</i> sp. 2	<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell 1858
<i>Ditylum</i> sp.	<i>Rhizosolenia</i> sp. 1 **
<i>Rhizosolenia</i> sp. 2**	<i>Dinophysis</i> sp. **.
<i>Rhizosolenia</i> sp. 3**	<i>Gonyaulax</i> sp. 1
<i>Rhizosolenia</i> sp. 4	<i>Gonyaulax</i> sp. 2 **
<i>Rhizosolenia</i> sp. 5**	
<i>Rhizosolenia</i> sp. 6*	<i>Protoperidinium elegans</i> Balech 1974
<i>Rhizosolenia</i> sp. 7*	<i>Protoperidinium depressum</i> Balech 1974 **
<i>Rhizosolenia</i> sp. 8**	<i>Protoperidinium divergens</i> Balech 1974 **
<i>Skeletonema costatum</i> Cleve 1878	<i>Protoperidinium</i> Balech 1974
<i>Thalassionema fraeunfeldii</i> Grunow 1862	<i>Protoperidinium steinii</i> Jørgensen 1899
<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow 1862	<i>Protoperidinium</i> sp. 1 **
<i>Thalassionema</i> sp. 1**	<i>Protoperidinium</i> sp. 2 **
<i>Thalassiosira</i> sp. 1	<i>Protoperidinium</i> sp. 3 **
<i>Thalassiosira</i> sp. 2	<i>Protoperidinium</i> sp. 4
<i>Thalassiotrix</i> sp.	<i>Protoperidinium</i> sp. 5 **
Dynophyta	<i>Protoperidinium</i> sp. 6 **
<i>Ceratium breve</i> Ostenfeld et Schmidt 1901	<i>Pyrocystis lunula</i> Schutt 1896 *
<i>Ceratium candelabrum</i> Stein 1883	<i>Pyrophacus steinii</i> Schiller 1935
<i>Ceratium carriense</i> Gourret 1883	<i>Pyrophacus</i> sp. 1 **
<i>Ceratium contortum</i> Cleve 1900	<i>Pyrophacus</i> sp. 2 **
<i>Ceratium deflexum</i> (Kofoid 1907) Jørgensen 1911 **	
<i>Ceratium extensum</i> (Gourret 1883) Cleve 1901	Cyanophyta

Table 3. Continuation Dynophyta

<i>Ceratium furca</i> Claparede et Lachmana 1859	<i>Anabaena</i> sp. 2
<i>Ceratium fusus</i> Dujardin 1841	<i>Oscillatoria</i> sp. 1 **
<i>Ceratium gibberum</i> Gourret 1883	<i>Cianoficea</i> sp. 1 **
<i>Ceratium incisum</i> Jorgensen 1911 *	<i>Cianoficea</i> sp. 2
<i>Ceratium massiliense</i> Jorgensen 1911	
<i>Ceratium pentagonum</i> Gourret 1883	Chromophyta y Silicoflagellida
<i>Ceratium porrectum</i> Karsten 1907	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg 1837 **
<i>Ceratium strictum</i> Kofoid 1907	<i>Hermesinum adriaticum</i> Zacharias 1906
<i>Ceratium trichoceros</i> Kofoid 1908	<i>Hermesinum</i> sp.
<i>Dinophysis caudate</i>	
<i>Dinophysis</i> sp1. **	
<i>Dinophysis</i> sp2. **	
<i>Gonyaulax</i> sp 1.	
<i>Gonyaulax</i> sp 2. **	
<i>Ornithocercus steini</i> Schutt 1900	
<i>Ornithocercus thumii</i> Kofoid y Skogsberg 1928 *	
<i>Oxytoxum</i> sp.**	
<i>Podolampas bipes</i> Stein 1883	

Table 4. Estimators of expected phytoplankton wealth in the locations of Cabo Marzo (CM) and Punta Cruces (PC), north-eastern coast of the Colombian Pacific Ocean in January 2008. R: richness of species observed. %: percentage of species detected in each location considering the values set for the various wealth estimators after performing 1000 re-samples.

Site	R	ICE	%	Chao-2	%	Bootstrap	%	Jacknife	%
CM	86	101.0	85.1	104.1	82.6	93.0	93.0	101.1	85.1
PC	112	166.4	67.3	164.6	68.1	130.7	85.7	153.8	73.8

Phytoplankton density in Punta Cruces was between 1.36×10^9 and 7.98×10^9 cel L⁻¹, while in Cabo Marzo was between 3.77×10^9 and 9.12×10^9 cel L⁻¹ (figure 3). No significant differences in the density of phytoplankton between these two locations were detected ($t_{16,0.05} = 1.80$, $p = 0.091$), with *Ceratium fusus* ($382.11 \times 10^6 \pm 100.98$ cells L⁻¹) and *C. furca* (382.11×10^6 cells L⁻¹ \pm 137.26×10^6 cells L⁻¹) the dominant species in Punta Cruces, while *Chaetaceros laevis* (562.89×10^6 cells L⁻¹ \pm 56.08×10^6 cells L⁻¹) were the dominant species in Cabo Marzo (table 5). On the other hand, diversity (H') was found to be

significantly higher in Cabo Marzo ($t_{16,0.05} = 4.09$, $p = 0.001$), probably as a result of increased species richness (d) ($t_{16,0.05} = 3.03$; $p = 0.008$) and no significant differences in the abundance distribution of species (J') ($t_{16,0.05} = 1.90$, $p = 0.076$) (table 1, figure 4). Significant differences in dominance (λ) between the locations being studied ($t_{16,0.05} = 3.65$, $p=0.02$), however the estimate of dominance at each site was less than 4%, a result consistent with the high diversity present in the phytoplankton community of Cabo Marzo and Punta Cruces (table 1).

Tabla 3. Continuación Dynophyta

<i>Ceratium falcatum</i> (Kofoid 1907) Jorgensen 1920	<i>Anabaena</i> sp. 1
<i>Ceratium furca</i> Claparede et Lachmana 1859	<i>Anabaena</i> sp. 2
<i>Ceratium fusus</i> Dujardin 1841	<i>Oscillatoria</i> sp. 1 **
<i>Ceratium gibberum</i> Gourret 1883	<i>Cianofícea</i> sp. 1 **
<i>Ceratium incisum</i> Jorgensen 1911 *	<i>Cianofícea</i> sp. 2
<i>Ceratium massiliense</i> Jorgensen 1911	
<i>Ceratium pentagonum</i> Gourret 1883	Chromophyta y Silicoflagellida
<i>Ceratium porrectum</i> Karsten 1907	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg 1837 **
<i>Ceratium strictum</i> Kofoid 1907	<i>Hermesinum adriaticum</i> Zacharias 1906
<i>Ceratium trichoceros</i> Kofoid 1908	<i>Hermesinum</i> sp.
<i>Dinophysis caudate</i>	
<i>Dinophysis</i> sp1. **	
<i>Dinophysis</i> sp2. **	
<i>Gonyaulax</i> sp 1.	
<i>Gonyaulax</i> sp 2. **	
<i>Ornithocercus steini</i> Schutt 1900	
<i>Ornithocercus thumii</i> Kofoid y Skogsberg 1928 *	
<i>Oxytoxum</i> sp.**	
<i>Podolampas bipes</i> Stein 1883	

Tabla 4. Estimadores de riqueza esperada de fitoplancton en las localidades de Cabo Marzo (CM) y Punta Cruces (PC), margen nororiental del Océano Pacífico colombiano en enero 2008. R: riqueza de especies observada. %: porcentaje de especies detectadas en cada localidad considerando los valores establecidos para los diferentes estimadores de riqueza después de realizar 1000 remuestreos.

Sitio	R	ICE	%	Chao-2	%	Bootstrap	%	Jacknife	%
CM	86	101.0	85.1	104.1	82.6	93.0	93.0	101.1	85.1
PC	112	166.4	67.3	164.6	68.1	130.7	85.7	153.8	73.8

La densidad fitoplanctónica en Punta Cruces estuvo entre 1.36×10^9 y 7.98×10^9 cel L⁻¹, mientras que en Cabo Marzo estuvo entre 3.77×10^9 y 9.12×10^9 cel L⁻¹ (figura 3). No se detectaron diferencias significativas en la densidad del fitoplancton entre estas dos localidades ($t_{16; 0.05} = 1.80$; $p = 0.091$), siendo *Ceratium fusus* ($392.11 \times 10^6 \pm 106.98 \times 10^6$ cel L⁻¹) y *C. furca* ($382.11 \times 10^6 \pm 137.26 \times 10^6$ cel L⁻¹) las especies dominantes en Punta Cruces, mientras que *Chaetaceros laevis* ($562.89 \times 10^6 \pm 56.08 \times 10^6$ cel L⁻¹) fue la especie dominante en Cabo Marzo (tabla 5). De otro lado, se encontró que la diversidad (H') fue significativamente

mayor en Cabo Marzo ($t_{16; 0.05} = 4.09$; $p = 0.001$), probablemente como consecuencia de una mayor riqueza de especies (d) ($t_{16; 0.05} = 3.03$; $p = 0.008$), y de que no se detectaron diferencias significativas en la distribución de la abundancia de las especies (J') ($t_{16; 0.05} = 1.90$; $p = 0.076$) (tabla 1, figura 4). Se detectaron diferencias significativas en la dominancia (λ) entre las localidades de estudio ($t_{16; 0.05} = 3.65$, $p=0.02$), sin embargo el estimado de dominancia en cada localidad fue menor 4%, resultado consecuente con la alta diversidad presente en la comunidad fitoplanctónica de Cabo Marzo y Punta Cruces (tabla 1).

Table 5. Species of phytoplankton more representative in number in the locations of Cabo Marzo and Punta Cruces in January 2008. F: frequency (%). M: average abundance (10^6 Cel L⁻¹), m: median (10^6 Cel L⁻¹), 25%: first quartile (10^6 Cel L⁻¹), 75%: third quartile (10^6 Cel L⁻¹). EE: Standard error of the mean (10^6 Cel L⁻¹).

Location/Species	F	M	EE	m	25%	75%
Cabo Marzo						
<i>Chaetoceros laevis</i>	100	561.88	56.08	553.50	471	707
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	100	411.77	65.57	436.50	295	537
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	100	286.44	44.16	320.50	265	342
<i>Chaetoceros affinis</i>	100	214.78	43.09	184.00	118	339
<i>Ceratium furca</i>	100	207.66	63.71	139.00	83	236
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	100	156.00	14.28	147.00	138	171
<i>Ceratium fusus</i>	100	155.56	33.78	184.50	59	186
<i>Chaetoceros radicans</i>	100	153.44	25.65	153.00	92	177
<i>Rhizosolenia hebetate</i>	100	147.44	23.92	159.50	113	186
<i>Coscinudiscus concinnus</i>	100	130.67	25.84	113.00	83	159
Punta Cruces						
<i>Ceratium fusus</i>	100	392.11	106.68	396.00	181	483
<i>Ceratium furca</i>	100	382.11	137.26	241.50	125	564
<i>Coscinudiscus concinnus</i>	100	308.11	81.98	293.50	149	357
<i>Chaetoceros laevis</i>	100	280.11	74.93	254.00	149	324
<i>Ceratium gibberum</i>	89	176.56	67.85	118.50	38	326
<i>Rhizosolenia hebetate</i>	100	142.56	32.86	130.00	60	211
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	100	141.67	28.80	109.50	90	204
<i>Chaetoceros affinis</i>	100	121.78	36.15	98.50	60	118
<i>Ceratium tripos</i>	78	93.22	21.75	101.00	88	119
<i>Thalassionema fraeunfeldii</i>	100	79.67	11.90	89.00	54	94

Tabla 5. Especies de fitoplancton más importantes en número en las localidades de Cabo Marzo y Punta Cruces en enero 2008. F: frecuencia (%). M: abundancia promedio (10^6 Cel L⁻¹), m: mediana (10^6 Cel L⁻¹), 25%: primer cuartil (10^6 Cel L⁻¹), 75%: tercer cuartil (10^6 Cel L⁻¹). EE: Error estándar de la media (10^6 Cel L⁻¹).

Localidad / Especies	F	M	EE	m	25%	75%
Cabo Marzo						
<i>Chaetoceros laevis</i>	100	561.88	56.08	553.50	471	707
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	100	411.77	65.57	436.50	295	537
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	100	286.44	44.16	320.50	265	342
<i>Chaetoceros affinis</i>	100	214.78	43.09	184.00	118	339
<i>Ceratium furca</i>	100	207.66	63.71	139.00	83	236
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	100	156.00	14.28	147.00	138	171
<i>Ceratium fusus</i>	100	155.56	33.78	184.50	59	186
<i>Chaetoceros radicans</i>	100	153.44	25.65	153.00	92	177
<i>Rhizosolenia hebetate</i>	100	147.44	23.92	159.50	113	186
<i>Coscinudiscus concinnus</i>	100	130.67	25.84	113.00	83	159
Punta Cruces						
<i>Ceratium fusus</i>	100	392.11	106.68	396.00	181	483
<i>Ceratium furca</i>	100	382.11	137.26	241.50	125	564
<i>Coscinudiscus concinnus</i>	100	308.11	81.98	293.50	149	357
<i>Chaetoceros laevis</i>	100	280.11	74.93	254.00	149	324
<i>Ceratium gibberum</i>	89	176.56	67.85	118.50	38	326
<i>Rhizosolenia hebetate</i>	100	142.56	32.86	130.00	60	211
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	100	141.67	28.80	109.50	90	204
<i>Chaetoceros affinis</i>	100	121.78	36.15	98.50	60	118
<i>Ceratium tripos</i>	78	93.22	21.75	101.00	88	119
<i>Thalassionema fraeunfeldii</i>	100	79.67	11.90	89.00	54	94

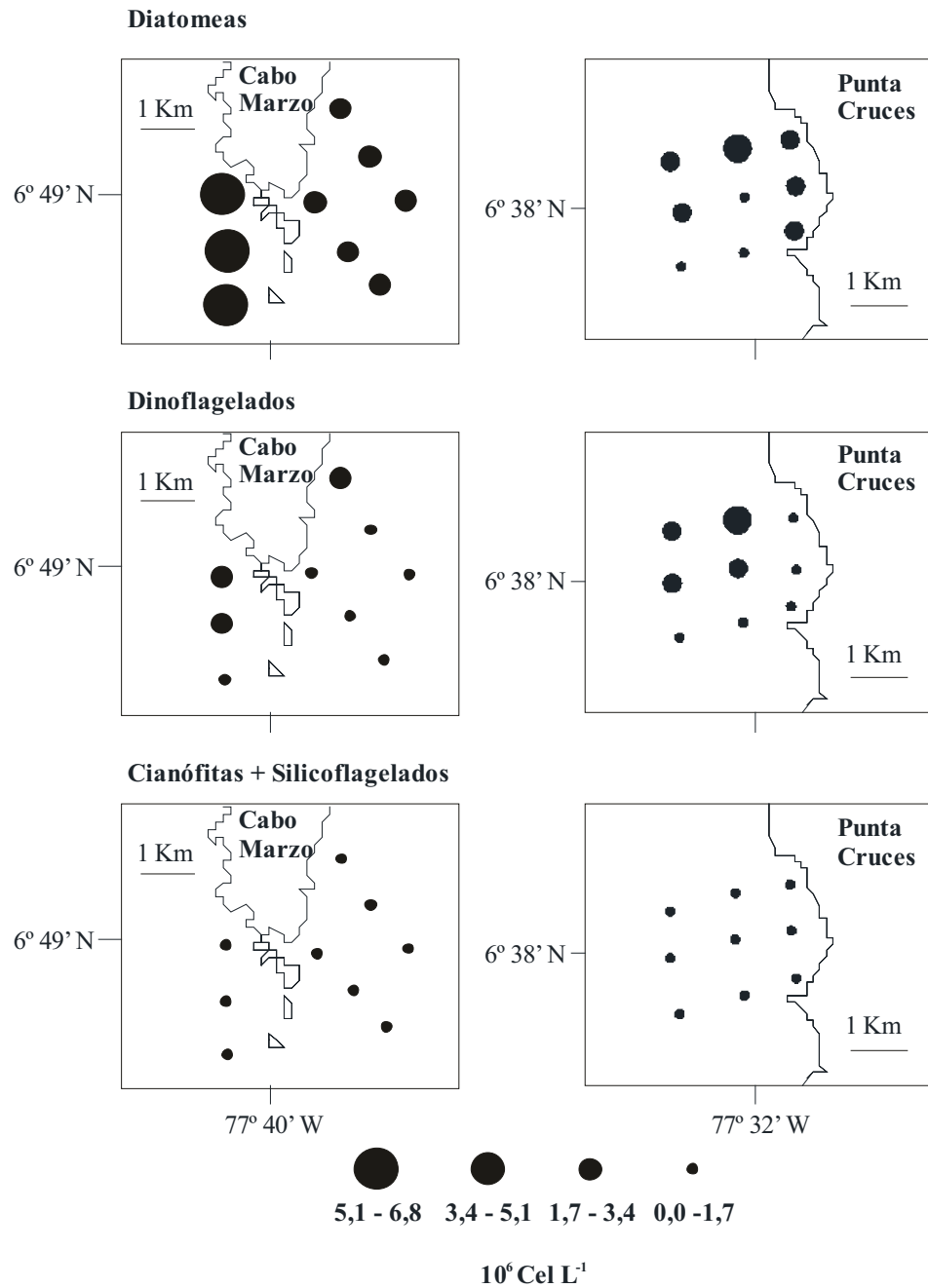


Figure 3. Space distribution pattern of the abundance of phytoplankton in Cabo Marzo and Punta Cruces, north-eastern area of the Colombian Pacific.

Based on the Bray-Curtis similarity matrix, three significant clusters ($p < 0.05$) were identified in the area of study, one corresponds to all the stations of Cabo Marzo and the other two correspond to the deepwater stations (PC2-PC3-PC6 and PC8-PC9) in Punta Cruces. These clusters were consistent with the organization analysis (figure 5). In this regard, the similarity of the phytoplankton community for Cabo Marzo was equi-

valent to 72.55% and 56.71% for Punta Cruces. *Chaetoceros laevis*, *Ch. lorenzianus*, *Bacteriastrium hyalino*, *Ceratium trichoceros*, *Ch. peruvianus* and *Ch. affinis* were the species that contributed the most to similarity in Cabo Marzo, and *Cosinudiscus concinnus*, *C. fusus*, *C. furca* and *Anabaena sp.* were the best contributors to that factor in Punta Cruces (percentage) (table 6).

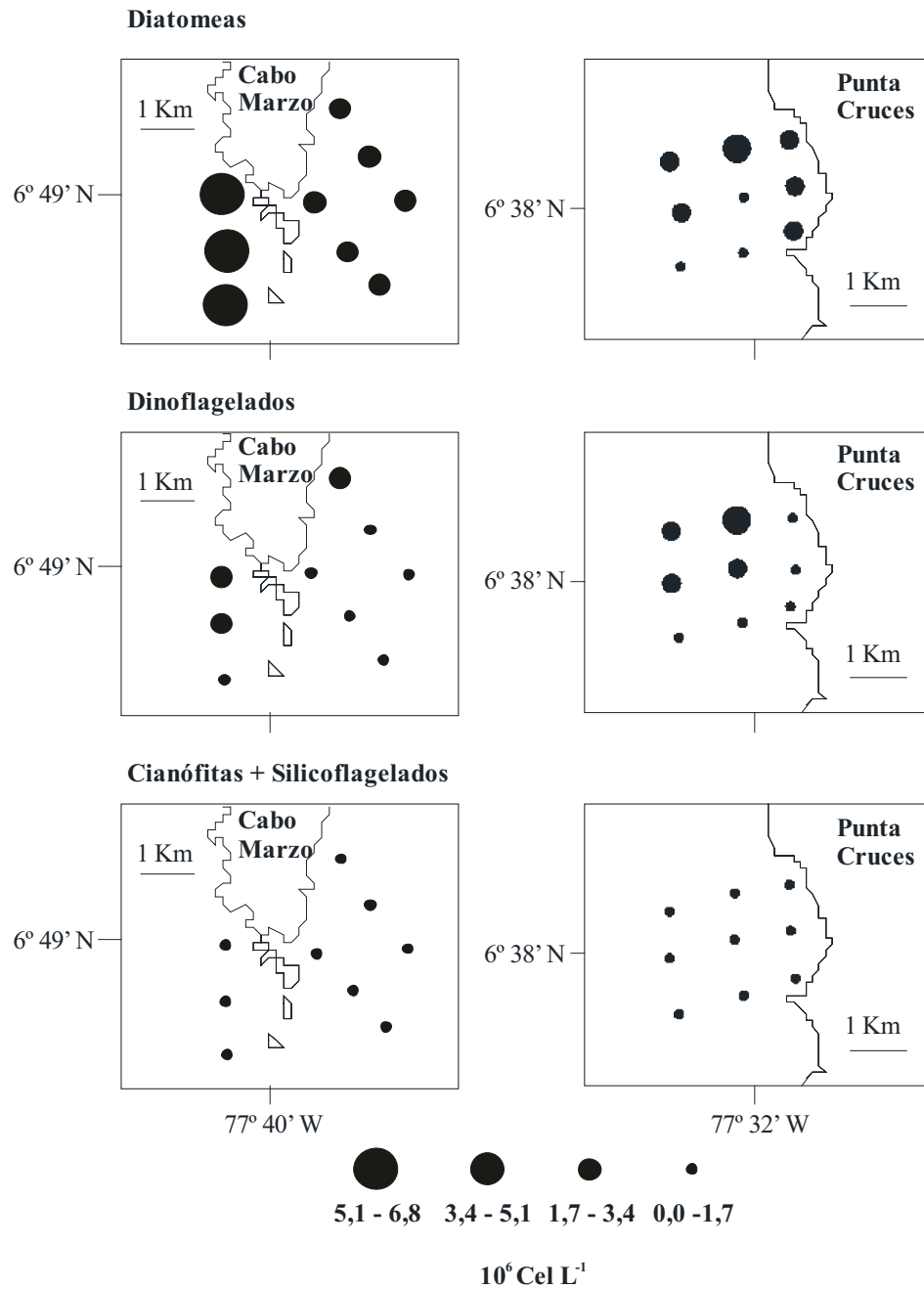


Figura 3. Patrón de distribución espacial de la abundancia del fitoplancton en Cabo Marzo y Punta Cruces, zona nororiental del Pacífico colombiano.

Con base en la matriz de similitud de Bray-Curtis, se identificaron tres agrupaciones significativas ($p < 0.05$) en la zona de estudio, una correspondiente a todas las estaciones de Cabo Marzo y las otras dos correspondientes a las estaciones de agua profunda (PC2-PC3-PC6 y PC8-PC9) en Punta Cruces. Estas agrupaciones fueron consistentes con el análisis de ordenación (figura 5). En este sentido, la similitud de la comunidad fitoplanctónica

para Cabo Marzo fue del 72.55% y para Punta Cruces del 56.71%. *Chaetoceros laevis*, *Ch. lorentzianus*, *Bacteriastrium hyalino*, *Ceratium trichoceros*, *Ch. peruvianus* y *Ch. affinis* fueron las especies que más aportaron a la similitud en Cabo Marzo, y *Cosinudiscus concinnus*, *C. fusus*, *C. furca* y *Anabaena* sp. las que más aportaron a la similitud en Punta Cruces (porcentaje) (tabla 6).

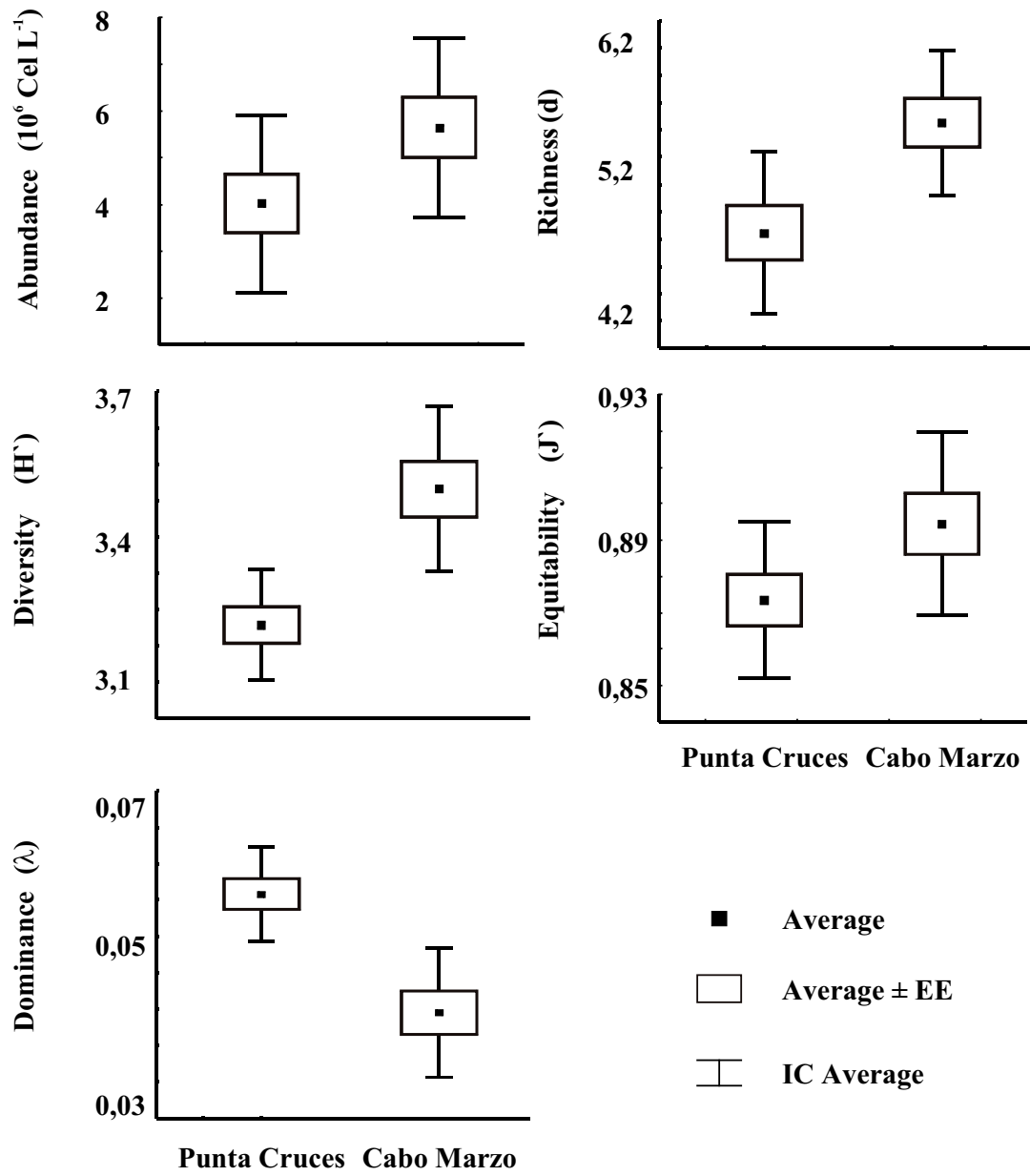


Figure 4. Graphic comparison of the indexes estimated to describe the phytoplankton community in Cabo Marzo (CM) and Punta Cruces (PC). EE: standard error. IC: confidence interval for the mean.

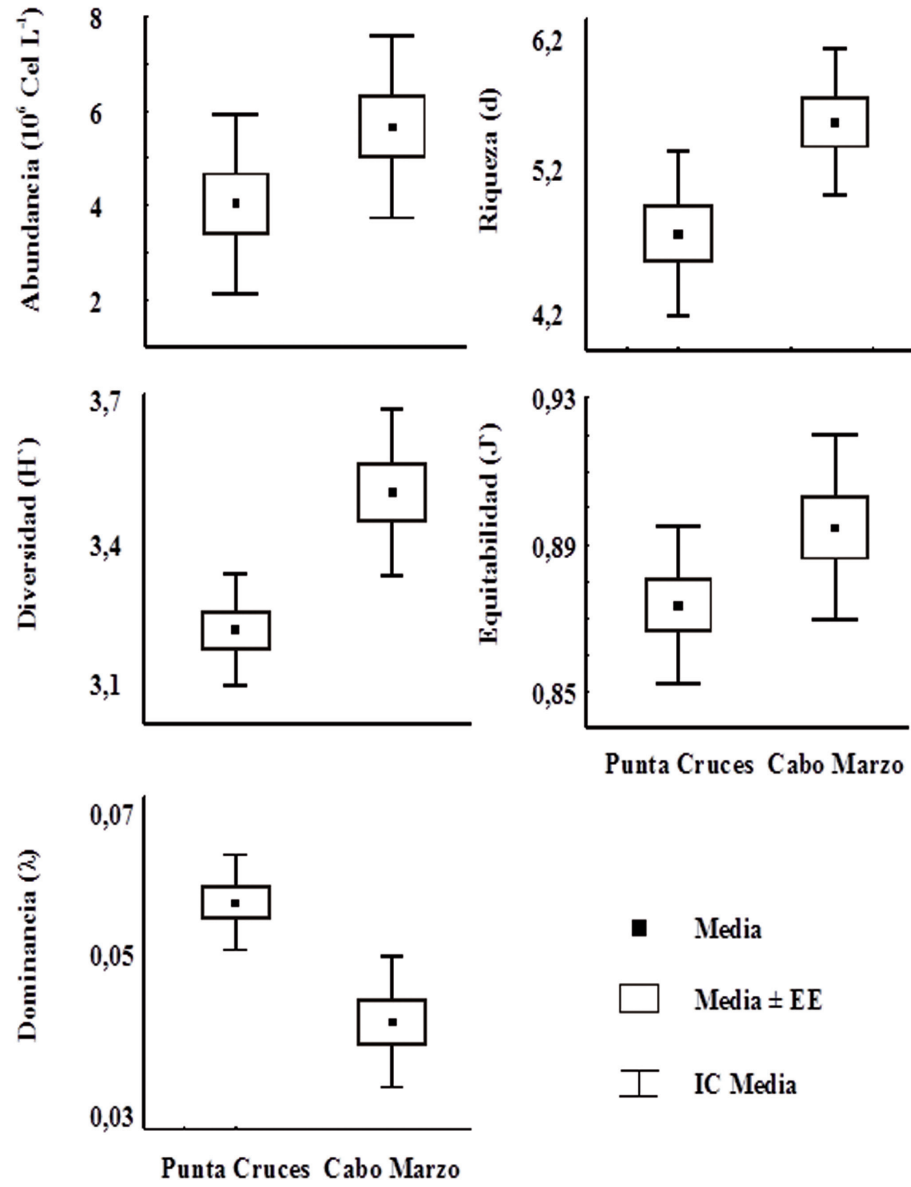


Figura 4. Comparación gráfica de los índices estimados para describir la comunidad fitoplanctónica en Cabo Marzo (CM) y Punta Cruces (PC). EE: error estándar. IC: intervalo de confianza para media.

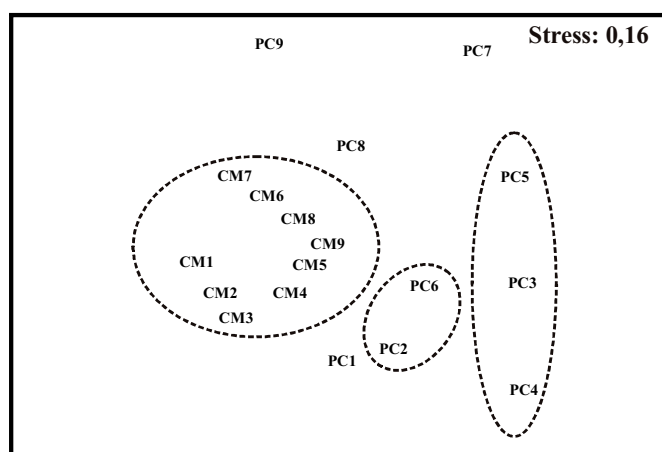
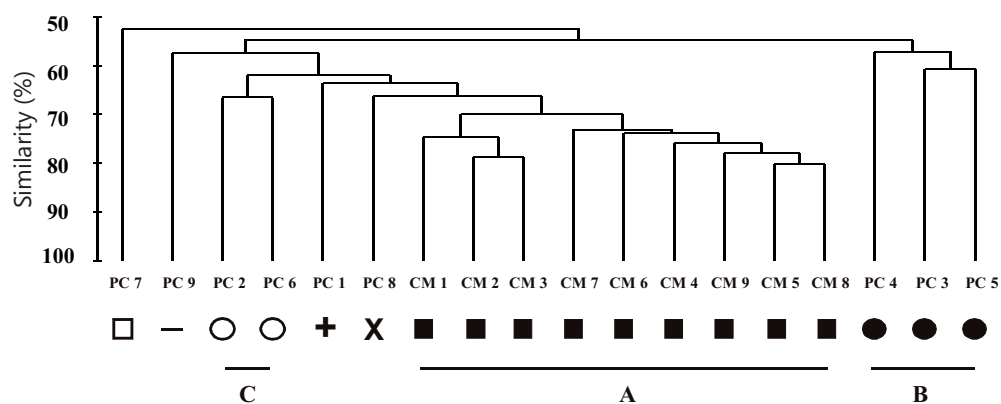


Figure 5. Analysis of classification and organization of the phytoplankton community in Cabo Marzo and Punta Cruces. The symbols represent the significance of the identified aggregations (routine SIMPROF, $p < 0.05$). CM: Cabo Marzo, PC: Punta Cruces. The number identifies the station in each location.

Table 6. List of the highest contributors to similarities between the sampling stations set in Cabo Marzo and Punta Cruces. Similarity established out of the Bray-Curtis matrix, determining the specific contribution from the SIMPER routine of the Primer® v6.0. Similarity in Cabo Marzo: 72.55%, Similarity in Punta Cruces: 56.71%.

Location	Species	Average abundance (10^6 cel L^{-1})	Similarity between stations	Contribution (%)	Accumulated (%)
Cabo Marzo	<i>Chaetoceros laevis</i>	561.89	2.86	3.94	3.94
	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	411.78	2.59	3.58	7.52
	<i>Bacteriastrium hyalino</i>	286.44	2.36	3.26	10.77
	<i>Ceratium trichoceros</i>	204.78	2.36	3.25	14.02
	<i>Chaetoceros Peruvianus</i>	156.00	2.29	3.16	17.18
	<i>Chaetoceros affinis</i>	214.78	2.27	3.13	20.31
Punta Cruces	<i>Coscinudiscus concinnus</i>	308.11	2.93	5.17	5.17
	<i>Ceratium fusus</i>	392.11	2.93	5.17	10.34
	<i>Ceratium furca</i>	382.11	2.92	5.15	15.49
	<i>Anabaena Sp.</i>	200.56	2.83	4.99	20.48

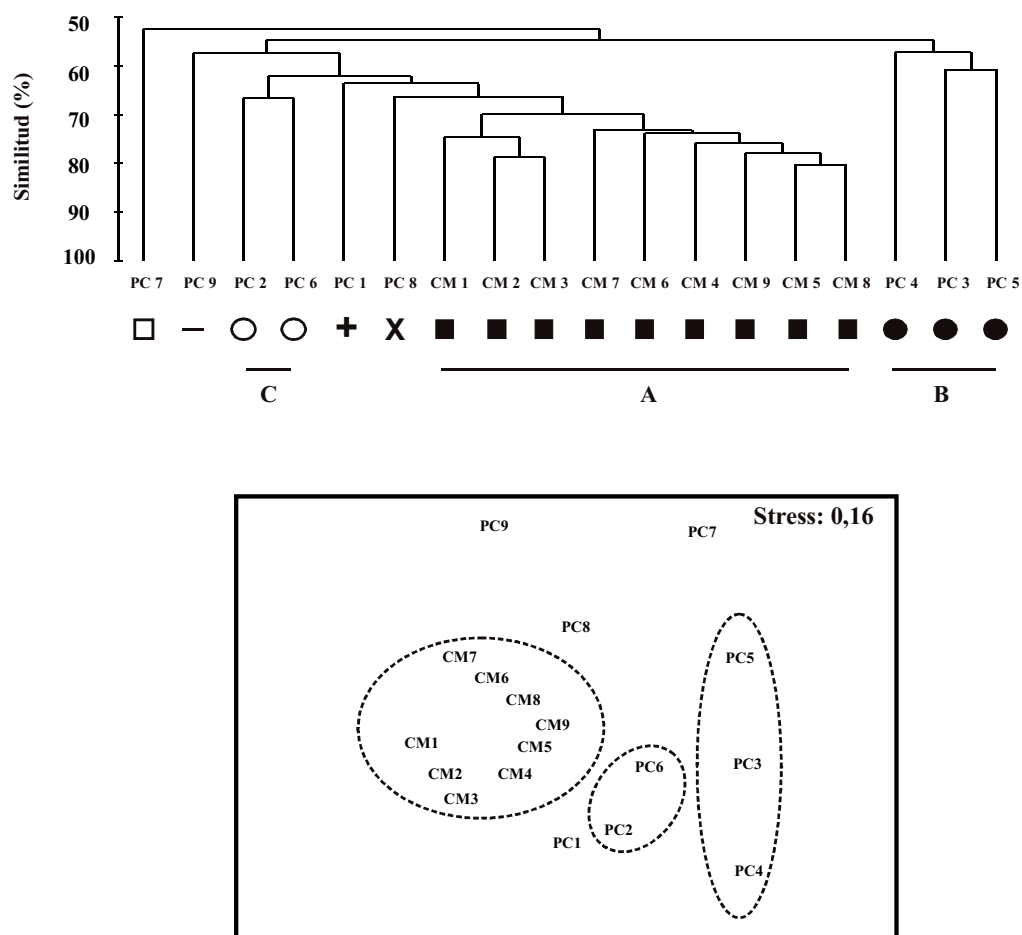


Figura 5. Análisis de clasificación y ordenamiento de la comunidad fitoplanctónica en Cabo Marzo y Punta Cruces. Los símbolos representan la significancia de las agregaciones identificadas (rutina SIMPROF, $p < 0.05$). CM: Cabo Marzo, PC: Punta Cruces. El número identifica la estación en cada localidad.

Tabla 6. Listado de especies que más contribuyen a la similitud entre las estaciones de muestreo en Cabo Marzo y en Punta Cruces. Similitud establecida a partir de matriz de Bray-Curtis, estableciendo la contribución específica a partir de la rutina SIMPER del Primer® v6.0. Similitud en Cabo Marzo: 72.55%, Similitud en Punta Cruces: 56.71%.

Localidad	Especie	Abundancia Promedio (10^6 cel L^{-1})	Similitud entre estaciones	Contribución (%)	Acumulado (%)
Cabo Marzo	<i>Chaetoceros laevis</i>	561.89	2.86	3.94	3.94
	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	411.78	2.59	3.58	7.52
	<i>Bacteriastrium hyalino</i>	286.44	2.36	3.26	10.77
	<i>Ceratium trichoceros</i>	204.78	2.36	3.25	14.02
	<i>Chaetoceros Peruvianus</i>	156.00	2.29	3.16	17.18
	<i>Chaetoceros affinis</i>	214.78	2.27	3.13	20.31
Punta Cruces	<i>Coscinudiscus concinnus</i>	308.11	2.93	5.17	5.17
	<i>Ceratium fusus</i>	392.11	2.93	5.17	10.34
	<i>Ceratium furca</i>	382.11	2.92	5.15	15.49
	<i>Anabaena Sp.</i>	200.56	2.83	4.99	20.48

A significant difference (ANOSIM, $R = 0.38$, $p = 0.01$) was established from the comparison of the structure of the phytoplankton community between both locations. The degree of dissimilarity was equivalent to 41.55%. In this regard, it was found that the species that contri-

buted the most to the dissimilarities between these locations were *Protoperdinium quarnerense*, *Lauderia sp.*, *Asteromphalus brookei*, *B. comosum*, *Ch curvisetus*, *Skeletonema costatum*, *Ch dydimus*, *Rhizosolenia setigera*, *Ch radican* and *Ch peruvianus* (table 7).

Table 7. List of the highest contributors to dissimilarities between Cabo Marzo and Punta Cruces. The dissimilarity was established out of the Bray-Curtis matrix, determining the specific contribution from the SIMPER routine of the Primer® v6.0. Dissimilarity: 41.55%.

Specie	Average abundance Cabo Marzo (10^6 cel L ⁻¹)	Average abundance Punta Cruces (10^6 cel L ⁻¹)	Dissimilarity between locationss	Contribution (%)	Accumulated (%)
<i>Protoperdinium quarnerense</i>	8.89	125.33	0.95	2.29	2.29
<i>Lauderia sp.</i>	3.22	69.44	0.92	2.22	4.51
<i>Asteromphalus brookei</i>	10.22	99.56	0.84	2.02	6.52
<i>Bacteriastrium comosum</i>	9.33	76.00	0.80	1.94	8.46
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	2.78	63.22	0.77	1.86	10.33
<i>Skeletonema costatum</i>	2.78	98.11	0.76	1.82	12.15
<i>Chaetoceros didymus</i>	16.56	46.67	0.75	1.81	13.95
<i>Rhizosolenia setigera</i>	4.67	38.89	0.74	1.78	15.73
<i>Chaetoceros radican</i>	49.00	153.44	0.73	1.76	17.49
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	43.33	156.20	0.72	1.73	19.22

Although a positive correlation between the phytoplankton community and the combined conditions of temperature and salinity were detected in the area of study ($\rho_s = 0.39$), the salinity of the abiotic factor accounted for the higher contribution to this relation, estimating a correlation degree of $\rho_s = 0.41$ for this parameter. In the mean time, the correlation degree for temperature was $\rho_s = 0.09$ and $\rho_s = 0.10$ for transparency (table 8).

Table 8. Result of the analysis of relation between the phytoplankton communities in the area of study with the local environmental conditions based on the BIOENV of the program PRIMER®. ρ_s : coefficient of Spearman co-relation between similarity matrices.

Variables	ρ_s
Temperature	0.09
Salinity	0.41
Transparency	0.10
Temperature – Salinity	0.39
Temperature – Transparency	0.10
Salinity – Transparency	0.15
Temperature - Salinity - Transparency	0.15

DISCUSSION

The coastal zone is an open system with a high environmental heterogeneity due to different oceanographic processes that take place simultaneously. This variability has a profound effect on the spatial distribution and abundance of phytoplankton leading to the development of spatial aggregation at different scales [61-63]. When the blending processes (e.g. wind or surge) dominate over local processes (e.g. shelf runoff or estuarine plumes), development of high heterogeneity of the physical, chemical and biological conditions in a short period of time might be expected, and even several times on the same day. In this regard, two scales of change associated with the source of variability in the phytoplankton communities of the coastal zone have been identified. Firstly, an instant change associated with mixing events; and secondly, gradual change associated to local variability of nutrient or light availability [64].

Cabo Marzo and Punta Cruces are located in a region with particular hydroclimatologic conditions, which could be exerting an influence on both the specific variability of environmental conditions of the

Al comparar la estructura de la comunidad fitoplanctónica entre las localidades, se estableció una diferencia significativa (*Anosim*, $R = 0.38$, $p = 0.01$), siendo el grado de disimilitud del 41.55%. En este sentido, se encontró que las especies que mayor aporte hicieron a la disimi-

litud entre localidades fueron *Protoperidinium quarnerense*, *Lauderia sp.*, *Asteromphalus brookei*, *B. comosum*, *Ch. curvisetus*, *Skeletonema costatum*, *Ch. dydimus*, *Rhizosolenia setigera*, *Ch. radican* y *Ch. peruvianus* (tabla 7).

Tabla 7. Listado de especies que más contribuyen a la disimilitud entre Cabo Marzo y en Punta Cruces. La disimilitud se estableció a partir de matriz de Bray-Curtis, estableciendo la contribución específica a partir de la rutina SIMPER del Primer® v6.0. Disimilitud: 41.55%.

Especie	Abundancia Promedio Cabo Marzo (10^6 cel L ⁻¹)	Abundancia Promedio Punta Cruces (10^6 cel L ⁻¹)	Disimilitud entre localidades	Contribución (%)	Acumulado (%)
<i>Protoperidinium quarnerense</i>	8.89	125.33	0.95	2.29	2.29
<i>Lauderia sp.</i>	3.22	69.44	0.92	2.22	4.51
<i>Asteromphalus brookei</i>	10.22	99.56	0.84	2.02	6.52
<i>Bacteriastrium comosum</i>	9.33	76.00	0.80	1.94	8.46
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	2.78	63.22	0.77	1.86	10.33
<i>Skeletonema costatum</i>	2.78	98.11	0.76	1.82	12.15
<i>Chaetoceros didymus</i>	16.56	46.67	0.75	1.81	13.95
<i>Rhizosolenia setigera</i>	4.67	38.89	0.74	1.78	15.73
<i>Chaetoceros radican</i>	49.00	153.44	0.73	1.76	17.49
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	43.33	156.20	0.72	1.73	19.22

Aunque se detectó una correlación positiva entre la comunidad de fitoplancton y las condiciones combinadas de temperatura y salinidad en la zona de estudio ($\rho_s = 0.39$), fue la salinidad el factor abiótico que generó un mayor aporte a esta relación, estimándose un grado de correlación de $\rho_s = 0.41$ para este parámetro, mientras que para la temperatura fue de $\rho_s = 0.09$ y para la transparencia de $\rho_s = 0.10$ (tabla 8).

Tabla 8. Resultado del análisis de relación entre la comunidad fitoplanctónica en la zona de estudio con las condiciones ambientales locales a partir de BIOENV del programa PRIMER®, ρ_s : coeficiente de correlación de Spearman entre matrices de similitud.

Variables	ρ_s
Temperatura	0.09
Salinidad	0.41
Transparencia	0.10
Temperatura – Salinidad	0.39
Temperatura – Transparencia	0.10
Salinidad – Transparencia	0.15
Temperatura - Salinidad - Transparencia	0.15

DISCUSIÓN

La zona costera es un sistema abierto que presenta una alta heterogeneidad ambiental debido a los diferentes procesos oceanográficos que ocurren simultáneamente. Esta variabilidad tiene un profundo efecto sobre la distribución espacial y abundancia del fitoplancton provocando el desarrollo de agregaciones espaciales en diferentes escalas [61-63]. Cuando los procesos de mezcla (e.g. viento o surgencia) dominan sobre los procesos locales (e.g. escorrentía continental o pluma estuarina), se podría esperar el desarrollo de una alta heterogeneidad de las condiciones físicas, químicas y biológicas en cortos periodos de tiempo, e incluso varias veces en el mismo día. En este sentido, han sido identificadas dos escalas de cambio asociadas a la fuente de variabilidad en las comunidades fitoplanctónicas de la zona costera, un cambio instantáneo asociado con los eventos de mezcla y un cambio paulatino asociado con la variabilidad local de disponibilidad de luz o de nutrientes [64].

Cabo Marzo y Punta Cruces se encuentran en una región que presenta condiciones hidroclimatológicas particulares, las cuales podrían estar influenciando tanto en la variabilidad puntual de las condiciones ambien-

coastal zone, and in the spatial and/or temporary scale in which these variations occur. According to Cortes [65] and Slavic [66], coastal topography in the area of study ranges strongly from wavy to fractured, the average annual temperature at sea level ranges between 25.8°C to 26.2°C, the average insolation ranges from 3.5 to 4.0 h d⁻¹ and the annual rainfall exceeds 6000 mm, which defines a warm humid to very humid weather with abundant fresh water outflows on the coast. These environmental characteristics favor the entrance of allochthonous nutrients from runoff into the coastal pelagic system. However, this area has semidiurnal-type tidal waves with a variation range between 3 to 4 m [67], which causes the coastal environment to be less sensitive to nutrient enrichment from runoff and more likely to be influenced by nutrient resuspension processes due to the actions of the tidal wave [68-70].

It has been widely stated that the structure and composition of phytoplankton in the pelagic environment are strongly modulated by thermal stratification and the availability of nutrients, especially silicate [71-73]. In this context, under conditions of high stratification and/or low nutrient availability, presence of small flagellate organisms is favored [74-75], while a water column of low stratification and/or high nutrient availability will favor the development of large diatoms and dinoflagellates [76-79]. Besides the temperature and availability of nutrients, other abiotic factors such as salinity and light radiation has a strong effect on the structure and composition of phytoplankton in a location [10], even being decisive in the richness-productivity relationship found in coastal environments due to its high spatial-temporary variability [14, 18].

In general terms, the results of this research suggest that the phytoplankton community present in the areas of study is different (i.e. composition of significant groups out of the classification and organization analysis), although the structure and composition analysis are not conclusive (i.e. low R estimate, similarity between locations > 50%). This ambivalence is likely a result of the limited temporary and geographic availability of the sampling. Nonetheless, the results obtained allow the explanation on the existence of a spatial small-scale variation trend (c.a. < 1 km). In this regard, it is clear that the aggregation patterns in the plankton may involve scales in the horizontal axle from 10 m up to 100 km [61-63, 80], and even some phytoplankton community variations have been described as having spatial scales below 10 m [81-82]. These factors are relevant as the

phytoplankton is the basis of the pelagic trophic web [10, 19], so, it is necessary to identify its temporary dynamics by considering all the critical space – time scales, even further in the coastal environment whence nearly 90% of the Ocean's secondary productivity comes [83].

Lastly, it is important to note that the area of study was subject to qualitative and quantitative evaluation of its biological and social components, in order to establish a coastal marine area of special management [84]. However, one of the elements that hinder the success of these initiatives is lack of numerical information on these communities, making it necessary to focus research efforts on the description and quantification of its structure and variation, as well as of the abiotic factors that modulate its dynamics [85-87], including phytoplankton. In this context, the results of this study provide novel information and the general characteristics of the phytoplankton community in two locations that have been identified as potential sites for establishing new marine and coastal areas of special management in the Colombian Pacific. Furthermore, the taxonomic composition of coastal phytoplankton greater than 60 microns in one of the least studied areas of the Colombian Pacific is also described.

ACKNOWLEDGMENTS

Bellineth Valencia and Tulia I. Martinez supported the in-field phase of this research. Eliana Velasco for her support during the taxonomic literature review. We are likewise grateful to the community of Piñas (Chocó) and the Major Community Board of Los Delfines, for authorizing the development of this research and providing the logistical support required to undertake the sampling campaigns in the area of Cabo Marzo and Punta Cruces. This work was partially funded by Conservación Internacional Colombia and Universidad del Valle, under the project "Ecological characterization of coral reefs and mangrove forests in Cabo Marzo, northern Pacific coast of the Colombian Pacific: structure, composition, diversity and associated fauna. CI 7736". A. Giraldo proposed the ideas for this work, designed the sampling, participated in the sample collection, conducted data analysis and wrote the manuscript. D. Ramírez participated in the collection of samples and performed the taxonomic identification of phytoplankton.

tales de la zona costera, como en la escala espacial y/o temporal en que estas variaciones ocurren. De acuerdo con Cortes [65] y Eslava [66], el relieve costero en la zona de estudio es fuertemente ondulado a quebrado, la temperatura media anual a nivel del mar oscila entre 25.8°C a 26.2°C, la insolación media oscila entre 3.5 a 4.0 h d⁻¹ y la precipitación anual es superior a 6000 mm, definiéndose un clima cálido húmedo a muy húmedo con abundante presencia de salidas de agua dulce en la costa. Estas características ambientales favorecen el ingreso de nutrientes aloctonos por escorrentía al sistema pelágico costero. Sin embargo, esta zona presenta un tipo de marea semidiurna con un rango de variación entre 3 a 4 m [67], lo que provoca que el ambiente costero sea menos sensible al enriquecimiento de nutrientes por escorrentía y probablemente esté más influenciado por procesos de resuspensión de nutrientes debido al accionar de la onda de marea [68-70].

Ha sido ampliamente propuesto que en el ambiente pelágico la estructura y composición del fitoplancton están fuertemente modulados por la estratificación térmica y la disponibilidad de nutrientes, en especial silicato [71-73]. En este sentido, bajo condiciones de alta estratificación y/o baja disponibilidad de nutrientes se favorece la presencia de pequeños organismos flagelados [74-75], mientras que una columna de agua con poca estratificación y/o alta disponibilidad de nutrientes favorecerá el desarrollo de diatomeas y dinoflagelados grandes [76-79]. Además de la temperatura y disponibilidad de nutrientes, otros factores abióticos como la salinidad y radiación lumínica tienen un fuerte efecto sobre la estructura y composición del fitoplancton en una localidad [10], llegando incluso a ser determinantes en la relación riqueza-productividad en los ambientes costeros, como consecuencia de su alta variabilidad espacio-temporal [14, 18].

En términos generales los resultados de esta investigación sugieren que la comunidad fitoplanctónica en las localidades de estudio son diferentes (i.e. conformación de grupos significativos a partir del análisis de clasificación y ordenación), aunque los análisis de estructura y composición no son concluyentes (i.e. estimado R bajo, similitud entre localidades >50%). Esta ambivalencia probablemente es consecuencia de la limitada aplicabilidad temporal y geográfica del muestreo realizado. Sin embargo, los resultados obtenidos permiten plantear la presencia en la zona de estudio de una tendencia de variación en pequeña escala espacial (c.a. < 1 km). En este sentido, es claro que los patrones de agregación en el plancton costero pueden involucrar escalas en el eje horizontal desde 10 m hasta 100 km [61-63, 80], e

incluso han sido descritas variaciones comunitarias en el fitoplancton en escalas espaciales menores a los 10 m [81-82]. Estas consideraciones son relevantes ya que la ser el fitoplancton la base de la trama trófica pelágica [10, 19] es perentorio identificar su dinámica temporal considerando todas las escalas espacio-temporales críticas, más aún en el ambiente costero en donde se produce cerca del 90% de la productividad secundaria del Océano [83].

Finalmente, es importante destacar que la zona de estudio fue objeto de una evaluación cualitativa y cuantitativa de su componente biológico y social para establecer un área marino-costera de manejo especial [84]. Sin embargo, uno de los elementos que dificultan el éxito de este tipo de iniciativas es la escasa información numérica sobre las comunidades presentes, lo que hace necesario enfocar esfuerzos de investigación en la descripción y cuantificación de su estructura y variación, así como de los factores abióticos que modulan su dinámica [85-87], incluyendo el fitoplancton. En este contexto, los resultados de este trabajo proporcionan información necesaria y novedosa sobre las características generales de la comunidad fitoplanctónica en dos localidades que han sido identificadas como sitios potenciales para establecer nuevas áreas marino-costeras de manejo especial en el Pacífico colombiano. Además, describe la composición taxonómica del fitoplancton costero mayor a 60 micrones de uno de los sectores menos estudiados del Pacífico colombiano.

AGRADECIMIENTOS

Bellineth Valencia y Tulia I. Martínez apoyaron la fase de campo de esta investigación. A Eliana Velasco por su apoyo durante la revisión taxonómica bibliográfica. A la comunidad de Piñas (Chocó) y al Consejo Comunitario Mayor Los Delfines por autorizar el desarrollo de esta investigación y proporcionar el apoyo logístico requerido para realizar las campañas de muestreo en la zona de Cabo Marzo y Punta Cruces. Este trabajo fue financiado parcialmente por Conservación Internacional Colombia y la Universidad del Valle, en el marco del proyecto de investigación "Caracterización ecológica de los arrecifes coralinos y bosques de manglar en Cabo Marzo, zona norte del litoral Pacífico colombiano: Estructura, composición, diversidad y fauna asociada. CI 7736". A. Giraldo planteó la idea del trabajo y diseñó el muestreo, participó de la colecta de muestras, realizó los análisis de datos y escribió el manuscrito. D. Ramírez participó en la colecta de muestras y realizó la identificación taxonómica del fitoplancton.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- [1] Barber, R. T y F. P. Chavéz. 1983. Biological consequences of El Niño. *Science*, 222: 1203 – 1210.
- [2] Fiedler, P. C. y L. D. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: a review. *Progress. Oceanogr.*, 69: 143-160.
- [3] Chavez, F.P. y R. T. Barber. 1987. An estimate of new production in the equatorial Pacific. *Deep-Sea Research.*, 34, 1229–1243.
- [4] Chavez, F.P. 1995. A comparison of ship and satellite chlorophyll from California and Peru. *J. Geophys. Res.*, 100: 24855–24862.
- [5] Chavez, F.P., K. R. Buck, S. K. Service, J. Newton y R. T. Barber. 1996. Phytoplankton variability in the central and eastern tropical Pacific. *Deep-Sea Res II.*, 43: 835–870.
- [6] Fiedler, P.C., 2002. The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep-Sea Res. I.*, 49: 321–338.
- [7] Pennington, J.T., K.L. Mahoney, V. S. Kuwahara, D. D. Kolber, R. Calienes, F. P. Chavez, F.P., 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: a review. *Progr. Oceanogr.*, 69: 285–317.
- [8] Restrepo, J. D. y B. Kjerfve. 2000. Water and sediment load from the western slopes of the Colombia Andes with focus on Río San Juan. *J. Geol.* 108: 17-33.
- [9] Poveda, G. y O. J. Mesa. 2000. On the existence of Lloró (the rainiest locality on the Herat): enhanced Ocean-Land-Atmosphere interaction by a low-level jet. *Geophys. Res. Letters*. 27 (11): 1675-1678.
- [10] Mann, K, H. 2000. Ecology of coastal waters: with implication for management. 2nd ed. Blackwell Sciences. USA. 406 pp.
- [11] Jones, A. B., M. J. O'Donohue, J. Udy, y W. C. Denison. 2001. Assessing ecological impacts of shrimp and sewage effluent: biological indicators with standard water quality analyses. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 52: 91–109.
- [12] Roelke, D., D. Augustine, y Y. Buyukates. 2003. Fundamental predictability in multispecies competition: the influence of large disturbance. *Amer. Nat.*, 162: 615–623.
- [13] Tilman, D., S. S. Kilham, y P. Kilham. 1982. Phytoplankton community ecology: The role of limiting nutrients. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 13: 349–372.
- [14] Underwood, G.J.C., J. Phillips y K. Saunders. 1998. Distribution of estuarine benthic diatom species along salinity and nutrient gradients. *Eur. J. Phycol.*, 33: 173–183.
- [15] Huisman, J., P. van Oostveen, y F. J. Weissing. 2001. Critical depth and critical turbulence: two different mechanisms for the development of phytoplankton blooms. *Limnol. Oceanogr.*, 44: 1781–1787.
- [16] Irigoien, X., J. Huisman, y R. P. Harris. 2004. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton. *Nature.*, 429: 863–867.
- [17] Alvarez-Góngora, C. y J. A. Herrera-Silveira. 2006. Variations of phytoplankton community structure related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone. *Mar. Pollution Bull.*, 52: 48–60.
- [18] Spatharis, S., D. Mouillot, D. B. Danielidis, M. Karydis, T. Do Chi y G. Tsiirtsis. 2008. Influence of terrestrial runoff on phytoplankton species richness-biomass relationships: A double stress hypothesis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 362: 55–62.
- [19] Parsons, T. R., M. Takahashi y B. Margrave. 1984. Biological Oceanographic processes. 3th ed. Pergamon Press, UK. 330 pp.
- [20] Platt, T., P. Jauhary y S. Sathyebdranath. 1992. The importance and measurement of new production. En: P. Falkowski y A. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. *Environ. Sci. Res.*, 43: 273-284.
- [21] Mann, K. H. y J. R. N. Lazier. 1996. Dynamics of marine eco-systems: biological-physical interactions in the oceans, Blackwell Science, Boston, 394 pp.
- [22] Beisner, B. E. 2001. Plankton community structure in fluctuating environments and the role of productivity. *OIKOS.*, 95:496-510.
- [23] Troccoli, G.L., J. A. Herrera-Silveira, y F. A. Comín. 2004. Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatan, Mexico. *Hydrobiology*. 519: 85–102.
- [24] Herrera, L. y R. Escribano. 2006. Factors structuring the phytoplankton community in the upwelling site off El Loa river in the northern Chile. *J. Mar. Syst.*, 61: 13-38.
- [25] Peña, V. y G. Pinilla. 2006. Composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la Ensenada de Utría, Pacífico Colombiano (Composition, distribution and abundance of the phytoplankton community of Ensenada de Utría, Colombian Pacific). *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 37: 67-81.
- [26] Vargas-Faucheaux, C., E. Cajiao, R. Steer, P. Monsalve y R. Combariza. 1969. Estudio preliminar descriptivo de algunas variables oceanográficas del Pacífico colombiano (Programa ACENTO 1965-1966) (Preliminary study of some oceanographic variables of the Colombian Pacific – ACNTO program, 1965-1966). Departamento Oceanográfico Escuela Naval Almirante Padilla, Cartagena, Colombia, 51 pp.
- [27] Corchuelo, C. y G. Moreno. 1983. Contribución al Conocimiento del Fitoplancton y algunos tintínidos del Pacífico Colombiano. Tesis de grado. (Contribution to the knowledge of phytoplankton and some tintinides of the Colombian Pacific – Undergraduate Thesis) Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 84 pp.
- [28] Castillo F. 1984. Fitoplancton del Pacífico colombiano como indicador de masas de agua (Phytoplankton of the Colombian Pacific as an indicator of water masses) (ERFEN IV). *Biología Pesquera* 13: 67-70.
- [29] Castillo, F. y Z. Vizcaino. 1992. Los indicadores biológicos del fitoplancton y su relación con el fenómeno de El Niño 1991-92 en el Pacífico Colombiano (Biological indicators of phytoplankton and their relationship with the 1991-92 El Niño phenomenon). *Boletín Científico CIOH.*, 12: 13-22.
- [30] Castillo, F. y Z. Vizcaíno. 1993. Observación del Fitoplancton del Pacífico Colombiano Durante 1991-1992 en Condiciones El Niño. (Observation of Colombian Pacific phytoplankton during 1991-1992 under El Niño conditions) *Bull. Inst. Frances de Études andines.*, 22: 179-190.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Barber, R. T y F. P. Chavéz. 1983. Biological consequences of El Niño. *Science*, 222: 1203 – 1210.
- [2] Fiedler, P. C. y L. D. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: a review. *Progress. Oceanogr.*, 69: 143-160.
- [3] Chavez, F.P. y R. T. Barber. 1987. An estimate of new production in the equatorial Pacific. *Deep-Sea Research.*, 34, 1229-1243.
- [4] Chavez, F.P. 1995. A comparison of ship and satellite chlorophyll from California and Peru. *J. Geophys. Res.*, 100: 24855-24862.
- [5] Chavez, F.P., K. R. Buck, S. K. Service, J. Newton y R. T. Barber. 1996. Phytoplankton variability in the central and eastern tropical Pacific. *Deep-Sea Res II.*, 43: 835-870.
- [6] Fiedler, P.C., 2002. The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep-Sea Res. I.*, 49: 321-338.
- [7] Pennington, J.T., K.L. Mahoney, V. S. Kuwahara, D. D. Kolber, R. Calienes, F. P. Chavez, F.P., 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: a review. *Progr. Oceanogr.*, 69: 285-317.
- [8] Restrepo, J. D. y B. Kjerfve. 2000. Water and sediment load from the western slopes of the Colombia Andes with focus on Río San Juan. *J. Geol.* 108: 17-33.
- [9] Poveda, G. y O. J. Mesa. 2000. On the existence of Lloró (the rainiest locality on the Herat): enhanced Ocean-Land-Atmosphere interaction by a low-level jet. *Geophys. Res. Letters*. 27 (11): 1675-1678.
- [10] Mann, K, H. 2000. Ecology of coastal waters: with implication for management. 2nd ed. Blackwell Sciences. USA. 406 pp.
- [11] Jones, A. B., M. J. O'Donohue, J. Udy, y W. C. Denison. 2001. Assessing ecological impacts of shrimp and sewage effluent: biological indicators with standard water quality analyses. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 52: 91-109.
- [12] Roelke, D., D. Augustine, y Y. Buyukates. 2003. Fundamental predictability in multispecies competition: the influence of large disturbance. *Amer. Nat.*, 162: 615-623.
- [13] Tilman, D., S. S. Kilham, y P. Kilham. 1982. Phytoplankton community ecology: The role of limiting nutrients. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 13: 349-372.
- [14] Underwood, G.J.C., J. Phillips y K. Saunders. 1998. Distribution of estuarine benthic diatom species along salinity and nutrient gradients. *Eur. J. Phycol.*, 33: 173-183.
- [15] Huisman, J., P. van Oostveen, y F. J. Weissing. 2001. Critical depth and critical turbulence: two different mechanisms for the development of phytoplankton blooms. *Limnol. Oceanogr.*, 44: 1781-1787.
- [16] Irigoien, X., J. Huisman, y R. P. Harris. 2004. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton. *Nature.*, 429: 863-867.
- [17] Alvarez-Góngora, C. y J. A. Herrera-Silveira. 2006. Variations of phytoplankton community structure related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone. *Mar. Pollution Bull.*, 52: 48-60.
- [18] Spatharis, S., D. Mouillot, D. B. Danielidis, M. Karydis, T. Do Chi y G. Tsirtsis. 2008. Influence of terrestrial runoff on phytoplankton species richness-biomass relationships: A double stress hypothesis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 362: 55-62.
- [19] Parsons, T. R., M. Takahashi y B. Margrave. 1984. Biological Oceanographic processes. 3th ed. Pergamon Press, UK. 330 pp.
- [20] Platt, T., P. Jauhari y S. Sathyebdranath. 1992. The importance and measurement of new production. En: P. Falkowski y A. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. *Environ. Sci. Res.*, 43: 273-284.
- [21] Mann, K. H. y J. R. N. Lazier. 1996. Dynamics of marine eco-systems: biological-physical interactions in the oceans, Blackwell Science, Boston, 394 pp.
- [22] Beisner, B. E. 2001. Plankton community structure in fluctuating environments and the role of productivity. *OLKOS.*, 95:496-510.
- [23] Troccoli, G.L., J. A. Herrera-Silveira, y F. A. Comín. 2004. Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatan, Mexico. *Hydrobiologia.*, 519: 85-102.
- [24] Herrera, L. y R. Escribano. 2006. Factors structuring the phytoplankton community in the upwelling site off El Loa river in the northern Chile. *J. Mar. Syst.*, 61: 13-38.
- [25] Peña, V. y G. Pinilla. 2006. Composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la Ensenada de Utría, Pacífico colombiano. *Rev. Biol. Mar. Ocenogr.*, 37: 67-81.
- [26] Vargas-Fauchaux, C., E. Cajiao, R. Steer, P. Monsalve y R. Combariza. 1969. Estudio preliminar descriptivo de algunas variables oceanográficas del Pacífico colombiano (Programa ACENTO 1965-1966). Departamento Oceanográfico Escuela Naval Almirante Padilla, Cartagena, Colombia, 51 pp.
- [27] Corchuelo, C. y G. Moreno. 1983. Contribución al Conocimiento del Fitoplancton y algunos tintinidos del Pacífico Colombiano. Tesis de grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 84 pp.
- [28] Castillo F. 1984. Fitoplancton del Pacífico colombiano como indicador de masas de agua (ERFEN IV). *Biología Pesquera* 13: 67-70.
- [29] Castillo, F. y Z. Vizcaino. 1992. Los indicadores biológicos del fitoplancton y su relación con el fenómeno de El Niño 1991-92 en el Pacífico colombiano. *Boletín Científico CIOH.*, 12: 13-22.
- [30] Castillo, F. y Z. Vizcaino. 1993. Observación del Fitoplancton del Pacífico Colombiano Durante 1991-1992 en Condiciones El Niño. *Bull. Inst. Frances de Études andines.*, 22: 179-190.
- [31] Ramírez, D. G, A. Giraldo y J. Tovar. 2006. Producción primaria, biomasa y composición taxonómica del fitoplancton costero y oceánico en el Pacífico colombiano (septiembre-octubre 2004) *Invest. Mar.*, Valparaíso, 34: 211-216.
- [32] Calderón, E. 1979. Contribución al estudio del fitoplancton nerítico de Tumaco y sus alrededores. Tesis de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 88 pp.
- [33] Collazos, A. 1992. Contribución al estudio del fitoplancton en la ensenada de Tumaco (Pacífico colombiano). Tesis de

- [31] Ramírez, D. G, A. Giraldo y J. Tovar. 2006. Producción primaria, biomasa y composición taxonómica del fitoplancton costero y oceánico en el Pacífico colombiano (Primary Production, Biomass and taxonomical composition of coastal phytoplankton in the Colombian Pacific)(September - October 2004) *Invest. Mar., Valparaíso*, 34: 211-216.
- [32] Calderón, E. 1979. Contribución al estudio del fitoplancton nerítico de Tumaco y sus alrededores (Contribution to the study of neritic phytoplankton from Tumaco and its surroundings) *Marine Biology Thesis*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 88 pp.
- [33] Collazos, A. 1992. Contribución al estudio del fitoplancton en la ensenada de Tumaco (Contribution to the study of phytoplankton in the Tumaco swamp) (Colombian Pacific). Thesis on Biology with a minor in Marine Biology. Universidad del Valle, Cali, 80 pp.
- [34] Pineda, F. 1990. Contribución al estudio del fitoplancton en la bahía de Buenaventura. (Contribution to the study of phytoplankton in Bahía de Buenaventura) (Colombian Pacific). Thesis on Biology with a minor in Marine Biology. Universidad del Valle, Cali, 62 pp.
- [35] Mendoza, A. E. 1996. Fitoplancton del área comprendida entre La Caleta Caracas y La Muerte (Phytoplankton of the are comprised between La Caleta Caracas and La Muerte) (Bahía de Málaga) Colombian Pacific. Thesis on Biology with a minor in Marine Biology. Universidad del Valle, Cali. 47 pp.
- [36] Zapata, F.A. y 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, Elsevier Science, pp. 419-447.
- [37] Vieira C. 1994. Estructura y estado actual del bosque de mangle de Utría (Structure and state of the art of the Utria mangrove forest). FES, Fundación Natura. Bogotá, Colombia. 58 pp.
- [38] Prah, H. von., J. R. Cantera y R. Contreras. 1990. Manglares y hombres del pacífico colombiano. (Mangrove forest and men of the Colombian Pacific) Fondo FEN- Colciencias. Bogotá, 193 pp.
- [39] Tobón, A., E. A. Rubio y A. Giraldo. 2008. Composición y análisis taxonómico de la ictiofauna del golfo de Tribugá, Pacífico norte de Colombia (Composition and taxonomical analysis of ichthyic fauna in the Gulf of Tribuga, North Colombian Pacific). *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 36: 93-104.
- [40] Hernández, J., A. Hurtado, R. Ortiz y T. Walschburger. 1992. Centros de Endemismos en Colombia. (Endemic Centers in Colombia) In: *La Diversidad Biológica de Iberoamérica*. (G. Halfpeter, compilador). *Acta Zool. Mexicana*, volumen especial, pp.175-190.
- [41] Mittermeier, R. A., N. Myers, P. Robles-Gil y C. G. Mittermeier. 2000. Hotspots: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial Ecoregions. *Conservation International*, USA. 432 pp.
- [42] Jiménez, R. 1983. Diatomeas y Silicoflagelados del fitoplancton del Golfo de Guayaquil (Diatomeas y Silicoflagelados of the Golfo de Guayaquil phytoplankton). *Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR)*, Ecuador, 2(2): 193-282.
- [43] Pesantes, F. 1983. Dinoflagelados del Fitoplancton del Golfo de Guayaquil (Dinoflagelates of the Golfo de Guayaquil phytoplankton). *Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR)*, Ecuador, 2(2):283-399.
- [44] Tomas, C. R. 1993. *Marine Phytoplankton. A Guide to naked flagellates and coccolithophorids*. San Diego, USA. Academic Press, 263 pp.
- [45] Tomas, C. R. 1997. *Identifying Marine Phytoplankton*. San Diego, USA: Academic Press, 858 pp.
- [46] Rivera-Tanenbaum, D. 2006. *Dinoflagelados e Tintinídeos da regiao central da Zona Econômica Exclusiva brasileira. Guia de identificacao*. Museo Nacional, Rio de Janeiro. 287 pp.
- [47] Chao, A., W.-H. Hwang, Y.-C. Chen y C.-Y. Kuo. 2000. Estimating the number of shared species in two communities. *Stat. Sinica.*, 10: 227-246.
- [48] Chazdon, R. L., R. K. Colwell, J. S. Denslow, y M. R. Guariguata. 1998. Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forests of NE Costa Rica. In Dallmeier F., Comiskey J. A.(Eds). *Forest biodiversity research, monitoring and modeling: Conceptual background and Old World case studies*. Parthenon Publishing, Paris, pp. 285-309.
- [49] Chao, A. 1984. Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scand. J. Stat.* 11: 265-270.
- [50] Chao, A. 1987. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics*. 43: 783-791.
- [51] Smith, E.P. y van Belle, G. 1984. Nonparametric estimation of species richness. *Biometrics* 40, 119-129.
- [52] Burnham, K.P. y W.S. Overton. 1978. Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals. *Biometrika*. 65, 623-633.
- [53] Burnham, K.P. y W.S. Overton. 1979. Robust estimation of population size when capture probabilities vary among animals. *Ecology.*, 60, 927-936.
- [54] Heltshe, J. y N.E. Forrester. 1983. Estimating species richness using the jackknife procedure. *Biometrics.*, 39: 1-11.
- [55] Colwell, R. K. 2005. *Estimates: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 8.0. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- [56] Clarke, K. R. y R. M. Warwick. 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Primer-E, Plymouth, UK. 172 pp.
- [57] Digby, P.G.N. y R. A. Kempton. 1987. *Multivariate Analysis of Ecological Communities*. Chapman and Hall, London. 216 pp.
- [58] Shepard, R. N. 1962a. The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknown Distance Function. Part I. *Psychometrika.*, 27: 125-139.
- [59] Shepard, R. N. 1962b. The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknown Distance Function. Part II. *Psychometrika.*, 27: 219-246.
- [60] Kruskal, J. B. 1964. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika.*, 29:1-27.
- [61] Clarke, K. R., P. J. Somerfield y R. N. Gorley. 2008. Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 366: 56-69.

- Biología con Mención en Biología Marina. Universidad del Valle, Cali, 80 pp.
- [34] Pineda, F. 1990. Contribución al estudio del fitoplancton en la bahía de Buenaventura. Tesis de Biología con Mención en Biología Marina. Universidad del Valle, Cali, 62 pp.
- [35] Mendoza, A. E. 1996. Fitoplancton del área comprendida entre La Caleta Caracas y La Muerte (Bahía de Málaga) Pacífico colombiano. Tesis de Biología con Mención en Biología Marina. Universidad del Valle, Cali. 47 pp.
- [36] Zapata, F.A. y 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, Elsevier Science, pp. 419-447.
- [37] Vieira C. 1994. Estructura y estado actual del bosque de mangle de Utría. FES, Fundación Natura. Bogotá, Colombia. 58 pp.
- [38] Prah, H. von., J. R. Cantera y R. Contreras. 1990. Manglares y hombres del pacífico colombiano. Fondo FEN- Colciencias. Bogotá, 193 pp.
- [39] Tobón, A., E. A. Rubio y A. Giraldo. 2008. Composición y análisis taxonómico de la ictiofauna del golfo de Tribugá, Pacífico norte de Colombia. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 36: 93-104.
- [40] Hernández, J., A. Hurtado, R. Ortiz y T. Walschburger. 1992. Centros de Endemismos en Colombia. En: La Diversidad Biológica de Iberoamérica. (G. Halffter, compilador). *Acta Zool. Mexicana*, volumen especial, pp.175-190.
- [41] Mittermeier, R. A., N. Myers, P. Robles-Gil y C. G. Mittermeier. 2000. Hotspots: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial Ecoregions. Conservation International, USA. 432 pp.
- [42] Jiménez, R. 1983. Diatomeas y Silicoflagelados del fitoplancton del Golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR)*, Ecuador, 2(2): 193-282.
- [43] Pesantes, F. 1983. Dinoflagelados del Fitoplancton del Golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR)*, Ecuador, 2(2):283-399.
- [44] Tomas, C. R. 1993. Marine Phytoplankton. A Guide to naked flagellates and coccolitophorids. San Diego, USA. Academic Press, 263 pp.
- [45] Tomas, C. R. 1997. Identifying Marine Phytoplankton. San Diego, USA: Academic Press, 858 pp.
- [46] Rivera-Tanenbaum, D. 2006. Dinoflagelados e Tintinóides da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira. Guia de identificação. Museo Nacional, Rio de Janeiro. 287 pp.
- [47] Chao, A., W.-H. Hwang, Y.-C. Chen y C.-Y. Kuo. 2000. Estimating the number of shared species in two communities. *Stat. Sinica.*, 10: 227-246.
- [48] Chazdon, R. L., R. K. Colwell, J. S. Denslow, y M. R. Guariguata. 1998. Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forests of NE Costa Rica. In Dallmeier F., Comiskey J. A.(Eds). *Forest biodiversity research, monitoring and modeling: Conceptual background and Old World case studies*. Parthenon Publishing, Paris, pp. 285-309.
- [49] Chao, A. 1984. Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scand. J. Stat.* 11: 265-270.
- [50] Chao, A. 1987. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics.*, 43: 783-791.
- [51] Smith, E.P. y van Belle, G. 1984. Nonparametric estimation of species richness. *Biometrics* 40, 119-129.
- [52] Burnham, K.P. y W.S. Overton. 1978. Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals. *Biometrika.*, 65, 623-633.
- [53] Burnham, K.P. y W.S. Overton. 1979. Robust estimation of population size when capture probabilities vary among animals. *Ecology.*, 60, 927-936.
- [54] Heltsh, J. y N.E. Forrester. 1983. Estimating species richness using the jackknife procedure. *Biometrics.*, 39: 1-11.
- [55] Colwell, R. K. 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.0. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- [56] Clarke, K. R. y R. M. Warwick. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Primer-E, Plymouth, UK. 172 pp.
- [57] Digby, P.G.N. y R. A. Kempton. 1987. *Multivariate Analysis of Ecological Communities*. Chapman and Hall, London. 216 pp.
- [58] Shepard, R. N. 1962a. The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknown Distance Function. Part I. *Psychometrika.*, 27: 125-139.
- [59] Shepard, R. N. 1962b. The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknown Distance Function. Part II. *Psychometrika.*, 27: 219-246.
- [60] Kruskal, J. B. 1964. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika.*, 29:1-27.
- [61] Clarke, K. R., P. J. Somerfield y R. N. Gorley. 2008. Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 366: 56-69.
- [62] Haurly, L. R., J. A. McGowan y P. H. Wiebe. 1978. Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions. In: Steele, J.H. (Ed.), *Spatial Pattern in Planktonic Communities*. Lenum Press, New York, pp 277-327.
- [63] Denman, K.L. y T.M. Powell, 1984. Effects of physical processes on planktonic ecosystems in the coastal ocean. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 22: 125-168.
- [64] Mackas, D.L., K.L. Denman y M.R. Abbot. 1985. Plankton patchiness: biology in the physical vernacular. *Bull. Mar. Sci.*, 37: 652-674.
- [65] Pannard, A., P. Claquin, C. Klein, B. Le Roy y B. Véron. 2008. Short-term variability of the phytoplankton community in coastal ecosystem in response to physical and chemical conditions changes, *Est. Coast. Shelf Sci.*, 80: 212-224.
- [66] Cortes, A. 1993. Los Suelos. En: Leiva, P. (ed). *Colombia Pacífico*. Fondo para la protección del medio ambiente, FEN. Bogota, Colombia, pp 149 -155.
- [67] Eslava, J. 1993. Climatología. En. Leiva, P. (ed). *Colombia Pacífico*. Fondo para la protección del medio ambiente, FEN. Bogota, Colombia, pp 137-147.
- [68] Cantera, J. 1993. Oceanografía. En: Leyva, P (ed). *Colombia pacífico*. Tomo 1. Fondo para la protección del medio ambiente, FEN. Bogotá, Colombia, pp. 13-23.
- [69] Monbet, Y. 1992. Control of phytoplankton biomass in es-

- [62] Haury, L. R., J. A. McGowan y P. H. Wiebe. 1978. Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions. In: Steele, J.H. (Ed.), *Spatial Pattern in Planktonic Communities*. Lenum Press, New York, pp 277–327.
- [63] Denman, K.L. y T.M. Powell, 1984. Effects of physical processes on planktonic ecosystems in the coastal ocean. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 22: 125-168.
- [64] Mackas, D.L., K.L. Denman y M.R. Abbot. 1985. Plankton patchiness: biology in the physical vernacular. *Bull. Mar. Sci.*, 37: 652-674.
- [65] Pannard, A., P. Claquin, C. Klein, B. Le Roy y B. Véron. 2008. Short-term variability of the phytoplankton community in coastal ecosystem in response to physical and chemical conditions changes, *Est. Coast. Shelf Sci.*, 80: 212-224.
- [66] Cortes, A. 1993. Los Suelos (Soils). En: Leiva, P. (ed). *Colombia Pacífico. Fondo para la protección del medio ambiente*, FEN. Bogota, Colombia, pp 149 –155.
- [67] Eslava, J. 1993. Climatología. (Climatology)En. Leiva, P. (ed). *Colombia Pacífico. Fondo para la protección del medio ambiente*, FEN. Bogota, Colombia, pp 137-147.
- [68] Cantera, J. 1993. Oceanografía (Oceanography). En: Leyva, P. (ed). *Colombia pacífico. Tomo 1. Fondo para la protección del medio ambiente*, FEN. Bogotá , Colombia, pp. 13-23.
- [69] Monbet, Y. 1992. Control of phytoplankton biomass in estuaries: a comparative analysis of microtidal and macrotidal estuaries. *Estuaries*. 15: 563-571.
- [70] Lucas, L.V., Koseff, J.R., Monismith, S.G., Cloern, J.E., Thompson, J.K., 1999. Processes governing phytoplankton blooms in estuaries. II: The role of horizontal transport. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 187: 17-30.
- [71] Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 210: 223-253.
- [72] Cushing, D.H. 1989. A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. *J. Plankton Res.*, 11: 1–13.
- [73] Hutchings, L., G. Pitcher, T. Probyn y G. Bailey. 1995. The chemical and biological consequences of coastal upwelling. In: Summerhayes, C.P., K.C. Emers, M. V. Angel, R. L. Smith y B. Zeitzchel. (Eds.), *Upwelling in the Oceans: Modern Processes and Ancient Records*. John Wiley and Sons, pp 65–81.
- [74] Brink, K., F. Abrante, P. Bernal, M. Estrada, L. Hutchings, R., Jahnke, P. Müller, R. Smith. 1995. Group report: how do coastal upwelling systems operate as integrated physical, chemical, and biological systems and influence the geological record?. The role of physical processes in defining the spatial structures of biological and chemical variables. In: Summerhayes, C., K. Emeis, M. Angel, R. Smith y B. Zeitzschel. (Eds.). *Upwelling in the Oceans: Modern Processes and Ancient Records*. John Wiley & Sons, pp 103–125.
- [75] Chisholm, S.W. 1992. Phytoplankton size. In: Falkowski, P.G., Woodhead, A.D. (Eds.), *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea*. Plenum Press, New York, pp. 213–236.
- [76] Agawin, N.S.R., C. M. Duarte y S. Agustí. 2000. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production. *Limnol. Oceanogr.*, 45: 591–600.
- [77] Tundisi, J.G. 1971. Size distribution of the phytoplankton and its ecological significance in tropical waters. In: Costlow, J.D. (Ed.), *Fertility of the Sea*. Gordon & Breach, New York, pp 603–612.
- [78] Wilkerson, F.P., R. C. Dugdale, R. M. Kudela y F. P. Chavez. 2000. Biomass and productivity in Monterey Bay, CA: contribution of the large phytoplankton. *Deep-Sea Research II*, 47: 1003–1023.
- [79] Marañón, E., P. M. Holligan, R. Barciela, N. González, B. Mouriño, M.J. Pazó y M. Varela. 2001. Patterns of phytoplankton size structure and productivity in contrasting open-ocean environments. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 216: 43–56.
- [80] Arin, L., X. A. G. Morán y M. Estrada. 2002. Phytoplankton size distribution and growth rates in the Alboran Sea (SW Mediterranean): short-term variability related to mesoscale hydrodynamics. *J. Plankton Res.* 24: 1019–1033.
- [81] Mullin, M. 1993. Webs y Scales: physical and ecological processes in marine fish recruitment. Washington Sea Grant Program. University of Washington Press, Seattle. 135 pp.
- [82] Cunningham, A., D. Mckee, S. Craig, G. Tarran y C. Widdicombe. 2003. Fine-scale variability in phytoplankton community structure and inherent optical properties measured from an autonomous underwater vehicle. *J. Mar. Syst.*, 43: 51–59.
- [83] Bissett, W.P., R. A. Arnone, C. O. Davis, T. D. Dickey, D. Dye, D. D. R. Kohler, y R. W. Gould Jr. 2004. From meters to kilometers: a look at ocean-color scales of variability, spatial coherence, and the need for fine-scale remote sensing in coastal ocean optics. *Oceanography*, 17: 32–43.
- [84] Holligan, P.M. y W. A. Reiners. 1992. Predicting the responses of the coastal zone to global change. *Adv. Ecol. Res.*, 22: 211–255.
- [85] Giraldo, A. y B. Valencia (Eds). 2008. *Chocó paraíso por naturaleza: Punta Cruces y Cabo Marzo*. Programa Editorial Universidad del Valle. Cali, Colombia, 93 pp.
- [86] Araujo, M. B., C. J. Humphries, P. J. Densham, R. Lampinen, W. J. M. Hagemeijer, A. J. Mitchell-Jones y J. P. Gase. 2001. Would environmental diversity be a good surrogate for species diversity?. *Ecography*, 24: 103–110.
- [87] Skova, H., J. Durinckb, M. F. Leopoldc y M. L. Taskerd. 2007. A quantitative method for evaluating the importance of marine areas for conservation of birds. *Biol. Conserv.*, 136: 362-371.
- [88] Winberg, P. C., T. P. Lynch, A. Murray, A. R. Jones y A. R. Davis. 2007. The importance of spatial scale for the conservation of tidal flat macrobenthos: an example from New South Wales, Australia. *Biol. Conserv.*, 134: 310-320.

- tuaries: a comparative analysis of microtidal and macrotidal estuaries. *Estuaries*, 15: 563-571.
- [70] Lucas, L.V., Koseff, J.R., Monismith, S.G., Cloern, J.E., Thompson, J.K., 1999. Processes governing phytoplankton blooms in estuaries. II: The role of horizontal transport. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 187: 17-30.
- [71] Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 210: 223-253.
- [72] Cushing, D.H. 1989. A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. *J. Plankton Res.*, 11: 1-13.
- [73] Hutchings, L., G. Pitcher, T. Probyn y G. Bailey. 1995. The chemical and biological consequences of coastal upwelling. In: Summerhayes, C.P., K.C. Emers, M. V. Angel, R. L. Smith y B. Zeitzchel. (Eds.), *Upwelling in the Oceans: Modern Processes and Ancient Records*. John Wiley and Sons, pp 65-81.
- [74] Brink, K., F. Abrante, P. Bernal, M. Estrada, L. Hutchings, R., Jahnke, P. Müller, R. Smith. 1995. Group report: how do coastal upwelling systems operate as integrated physical, chemical, and biological systems and influence the geological record?. The role of physical processes in defining the spatial structures of biological and chemical variables. In: Summerhayes, C., K. Emeis, M. Angel, R. Smith y B. Zeitzchel. (Eds.). *Upwelling in the Oceans: Modern Processes and Ancient Records*. John Wiley & Sons, pp 103-125.
- [75] Chisholm, S.W. 1992. Phytoplankton size. In: Falkowski, P.G., Woodhead, A.D. (Eds.), *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea*. Plenum Press, New York, pp. 213-236.
- [76] Agawin, N.S.R., C. M. Duarte y S. Agustí. 2000. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production. *Limnol. Oceanogr.*, 45: 591-600.
- [77] Tundisi, J.G. 1971. Size distribution of the phytoplankton and its ecological significance in tropical waters. In: Costlow, J.D. (Ed.), *Fertility of the Sea*. Gordon & Breach, New York, pp 603-612.
- [78] Wilkerson, F.P., R. C. Dugdale, R. M. Kudela y F. P. Chavez. 2000. Biomass and productivity in Monterey Bay, CA: contribution of the large phytoplankton. *Deep-Sea Research II*, 47: 1003-1023.
- [79] Marañón, E., P. M. Holligan, R. Barciela, N. González, B. Mouriño, M.J. Pazó y M. Varela. 2001. Patterns of phytoplankton size structure and productivity in contrasting open-ocean environments. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 216: 43-56.
- [80] Arin, L., X. A. G. Morán y M. Estrada. 2002. Phytoplankton size distribution and growth rates in the Alboran Sea (SW Mediterranean): short-term variability related to mesoscale hydrodynamics. *J. Plankton Res.* 24: 1019-1033.
- [81] Mullin, M. 1993. *Webs y Scales: physical and ecological processes in marine fish recruitment*. Washington Sea Grant Program. University of Washington Press, Seattle. 135 pp.
- [82] Cunningham, A., D. Mckee, S. Craig, G. Tarran y C. Widdicombe. 2003. Fine-scale variability in phytoplankton community structure and inherent optical properties measured from an autonomous underwater vehicle. *J. Mar. Syst.*, 43: 51-59.
- [83] Bissett, W.P., R. A. Arnone, C. O. Davis, T. D. Dickey, D. Dye, D. D. R. Kohler, y R. W. Gould Jr. 2004. From meters to kilometers: a look at ocean-color scales of variability, spatial coherence, and the need for fine-scale remote sensing in coastal ocean optics. *Oceanography*, 17: 32-43.
- [84] Holligan, P.M. y W. A. Reiners. 1992. Predicting the responses of the coastal zone to global change. *Adv. Ecol. Res.*, 22: 211-255.
- [85] Giraldo, A. y B. Valencia (Eds). 2008. *Chocó paraíso por naturaleza: Punta Cruces y Cabo Marzo*. Programa Editorial Universidad del Valle. Cali, Colombia, 93 pp.
- [86] Araujo, M. B., C. J. Humphries, P. J. Densham, R. Lampinen, W. J. M. Hagemeijer, A. J. Mitchell-Jones y J. P. Gase. 2001. Would environmental diversity be a good surrogate for species diversity?. *Ecography*, 24: 103-110.
- [87] Skova, H., J. Durinckb, M. F. Leopoldc y M. L. Taskerd. 2007. A quantitative method for evaluating the importance of marine areas for conservation of birds. *Biol. Conserv.*, 136: 362-371.
- [88] Winberg, P. C., T. P. Lynch, A. Murray, A. R. Jones y A. R. Davis. 2007. The importance of spatial scale for the conservation of tidal flat macrobenthos: an example from New South Wales, Australia. *Biol. Conserv.*, 134: 310-320.