

ESTRUCTURA COMUNITARIA DEL MICROFITOPLANCTON DE LA ZONA COSTERA ENTRE CABO CODERA Y PAPARO, VENEZUELA

GONZÁLEZ-PEROZO CAROLINA¹, PEREIRA CARLOS², TROCCOLI-GHINAGLIA LUIS³, HERNÁNDEZ VANESSA²,
PEÑA CAROLINA⁴, CRUZ-MOTTA JUAN⁵ & CASTILLO ANYOELIS⁶

¹*Departamento de Biología, Universidad Simón Bolívar. Sartenejas – Venezuela.*

²*Postgrado de Ecología, Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela. Email: carlosjpereyra@gmail.com*

³*Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Estatal de la Península de Santa Elena. Santa Elena – Ecuador.*

⁴*Gerencia de Ambiente, PDVSA Intevep. Los Teques – Venezuela.*

⁵*Departamento de Ciencias Marinas, Universidad de Puerto Rico. Mayagüez – Puerto Rico.*

⁶*Oficina de Catastro del Municipio Simón Rodríguez. El Tigre – Venezuela.*

RESUMEN: El fitoplancton es una comunidad biótica que junto al fitobentos constituyen la base de las tramas tróficas acuáticas, siendo responsables de la mayor parte de la producción primaria oceánica. Conocer su composición permite complementar las evaluaciones de calidad del agua, ya que son indicadores excelentes de las condiciones ambientales. En este trabajo, se planteó analizar la estructura comunitaria del microfitoplancton y su asociación con variables físicas y químicas de la zona marina y costera entre Cabo Codera y Paparo, incluyendo dos ríos importantes, en el municipio Brión del estado Miranda. Muestras de fitoplancton fueron obtenidas con redes de arrastre y botellas en seis estaciones durante el período abril 2010 - abril 2011 para la estimación de la composición y abundancia de las microalgas. Variables físicas y químicas del agua fueron estimadas. Un total de 140 especies fueron identificadas, distribuidas en diatomeas (66 %), dinoflagelados (27 %), clorofitas (2 %), cianobacterias (2 %), euglenofitas (2 %) y flagelados (1 %). Se observó una distribución de los organismos definida por el patrón continente-oceano, en la que las estaciones fluviales estuvieron representadas en su mayoría por diatomeas, mientras que en las estaciones marinas, se observó un porcentaje alto de dinoflagelados en algunos meses del año. La riqueza y el índice de biodiversidad fueron más altos en las estaciones marinas que en las fluviales. Se pudo apreciar que la surgencia costera incide sobre la distribución del microfitoplancton marino durante los primeros meses del año, mientras que en la época de altas precipitaciones, el aporte de los ríos influye sobre su composición.

Palabras claves: comunidad, ecología marina, fitoplancton, mar Caribe, microalgas marinas.

ABSTRACT: Phytoplankton is a biotic community that together with phytobenthos, constitutes the base of aquatic trophic webs, being responsible for most of the primary oceanic production. Knowledge about its composition makes it possible to complement water quality evaluations as microalgae are excellent indicators of environmental conditions. In this study, it was proposed to analyze the community structure of microphytoplankton and its association with physical and chemical variables of the coastal zone between Cabo Codera and Paparo, including two important rivers, in Brión municipality of Miranda state. Phytoplankton samples were taken with trawls and bottles at six stations from April 2010 to April 2011 to estimate the composition and abundance of microalgae. Physical and chemical variables of the water were estimated. A total of 140 species were identified, distributed in diatoms (66%), dinoflagellates (27%), chlorophytes (2%), cyanobacteria (2%), euglenophytes (2%), and flagellates (1%). A distribution of organisms defined by the continent-ocean pattern was observed, in which the fluvial stations were mostly represented by diatoms, while a high percentage of dinoflagellates was observed in the marine stations in some months. The richness and biodiversity index were higher in the marine stations than in the fluvial ones. It was observed that the coastal upwelling influences the distribution of the marine microphytoplankton during the first months of the year, while in the high rainfall season, the contribution of the rivers influences its composition.

Keywords: Caribbean Sea, community, marine ecology, marine microalgae, phytoplankton.

INTRODUCCIÓN

El fitoplancton es una comunidad de productores primarios que incluye a microorganismos fotosintéticos, pertenecientes a diferentes taxa, con una variedad de formas y tamaños, que están en la columna de agua a merced de las corrientes (LEVINTON 2001;

SARAVANAKUMAR *et al.* 2008). Esta comunidad constituye la base de las tramas tróficas acuáticas, utilizan los nutrientes elementales del agua y los transforman en materia orgánica, responden a los cambios de su entorno por lo que son utilizados como indicadores biológicos de la calidad del agua y además, son alimento de crustáceos, moluscos y peces (ARIYADEJ *et al.* 2004; YUSUF 2020).

Conocer la variabilidad espacial y temporal de la estructura de esta comunidad y su relación con las condiciones ambientales permite establecer modelos predictivos para la evaluación de la calidad de agua y de los efectos posibles sobre el resto de los organismos que habitan en el mar, incluyendo los peces que son aprovechados por las poblaciones costeras (ROELKE *et al.* 2003; STOCK *et al.* 2017). Por otra parte, algunas especies de microalgas son capaces de producir floraciones algales nocivas, representando un problema de índole sanitario con afectación a la salud de las personas y actividades económicas que ahí se realizan (FAO 2005).

Entre las actividades económicas que se llevan a cabo en las comunidades costeras del estado Miranda están la pesca, turismo, agricultura, minería y transporte marítimo. Sin embargo, esta zona presenta una dinámica particular por la descarga de ríos y quebradas, incluyendo el río Tuy, el cual recibe las descargas de aguas residuales de la región capital y sus áreas aledañas, lo cual pudiera requerir la aplicación de planes ambientales basados en sus potenciales naturales, que justifica el conocimiento de su diversidad biológica y de las condiciones ambientales bajo las cuales éstas se encuentran (HERRERA & BONE 2011; LORENZINI *et al.* 2019).

En Venezuela se han realizado diversos estudios sobre la composición y distribución de la comunidad fitoplanctónica, destacándose los realizados en la zona oriental por MARGALEF (1965); HALIM (1967); BREWER (1977); MANDELLI & FERRAZ-REYES (1982); TROCCOLI (1989); LA BARBERA *et al.* (1999); GÓMEZ *et al.* (2000); VALERA *et al.* (2003); MÁRQUEZ (2015); MARTÍN *et al.* (2007); PIRELA-OCHOA *et al.* (2008); ROMERO *et al.* (2008) y CALVO-TRUJILLO *et al.* (2018), en el occidente por BRICEÑO *et al.* (2009) y en las Dependencias Federales por GAMBOA-MÁRQUEZ *et al.* (1994); SÁNCHEZ-SUÁREZ (1994); RODRÍGUEZ-CENTENO *et al.* (2010); PÉREZ-CASTRESANA *et al.* (2014) y PEREIRA

et al. (2018). Sin embargo, en la zona central del país, esta comunidad ha sido escasamente estudiada, destacando los estudios de FERRAZ-REYES (1983) en la cuenca Tuy-Cariaco, GARCÍA (2011) en las costas del estado Vargas y PEREIRA (2019) en el tramo Chirimena-Puerto Francés. Es por esto, que se plantea analizar la variabilidad espacial y temporal de la estructura comunitaria del microfitoplancton de la zona marina y costera influenciada por las descargas del río Tuy y sus relaciones con las condiciones ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La zona marina y costera bajo estudio se encuentra en la región centro-norte de Venezuela, en las estribaciones finales de la cordillera de la Costa, en el municipio Brión del estado Miranda. Presenta una línea de costa de 30 km aproximadamente, desde Cabo Codera hasta Paparo, incluyendo la comunidad de Higuerote (TABLA 1; Fig. 1). La zona se caracteriza por un clima tropical con verano seco (As), de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, con una precipitación anual de 1327 mm, siendo marzo el mes con menor precipitación (28 mm aproximadamente) y una temperatura media de 29,1 °C (SCHWARZ 2014). Los vientos predominantes son los Alisios (dirección NE-SO), lo cual influye sobre las corrientes marinas, aunque el área presenta un patrón diferencial debido al accidente topográfico de Cabo Codera (VIALE-RIGO *et al.* 1999).

Los recursos importantes de la vegetación en esta zona costera se limitan a unas concentraciones de mangle y praderas de hierbas marinas (*Thalassia testudinum*), localizadas primordialmente entre Cabo Codera e Higuerote. Esta región presenta una alta carga sedimentaria proveniente de los ríos Unare y Tuy, además de fondos fangosos, formaciones de manglar y playas arenosas (CAPOBIANCO *et al.* 2008; HERRERA & BONE

TABLA 1. Ubicación geográfica y nombre de las estaciones de muestreo .

Nro.	Estación de muestreo	Coordenadas en grados decimales
1	Río Tuy (Paparo)	Lat. 10,349775; Lon. -66,043875
2	Frente Tuy	Lat. 10,409497; Lon. -65,994310
3	Río Capaya	Lat. 10,429830; Lon. -66,063021
4	Frente Río Capaya	Lat. 10,463485; Lon. -66,045492
5	Playa Chocolate	Lat. 10,513265; Lon. -66,115605
6	Cabo Codera	Lat. 10,600205; Lon. -66,051802

2011). Adicionalmente, se ha documentado la influencia de la surgencia costera con mayor intensidad durante los primeros meses del año (CASTELLANOS *et al.* 2002).

Procedimiento

Las muestras fueron recolectadas mensualmente entre abril 2010 y abril 2011. Para la recolecta del microfitoplancton marino, se realizaron arrastres en el estrato superficial de la columna de agua usando una red cónica de plancton con una apertura de malla de 60 μm durante 10 minutos, con una embarcación tipo peñero a una velocidad media de 5 km/h. Estas muestras fueron utilizadas para realizar el inventario de especies marinas. En todas las estaciones, incluyendo las estaciones marinas y fluviales, se utilizaron botellas de 1 litro, las cuales fueron llenadas directamente a menos de 1 m de profundidad para estimar la abundancia del microfitoplancton. Las muestras fueron trasvasadas en envases de plástico y fijadas con una solución de lugol y formalina neutralizada al 5 % v/v. Los muestreos fueron realizados en horas de la mañana.

Las variables físicas y químicas del agua: temperatura, pH, oxígeno disuelto y sólidos en suspensión fueron estimadas usando una sonda

multiparamétrica; la salinidad con un salinómetro de inducción y los nutrientes: amonio, nitritos, nitratos y fosfatos en un espectrofotómetro UV-visible, empleando métodos estándares (STRICKLAND & PARSONS 1972). En el laboratorio, fue empleado el método de sedimentación de UTERMÖHL (1958) para la cuantificación e identificación de las microalgas, usando un microscopio invertido y los trabajos de CUPP (1943); PERAGALLO (1965); FERGUSON (1968); SAUNDERS & GLENN (1969); SOURNIA (1986); BALECH (1988); ROUND *et al.* (1990); CHRETIENNOT-DINET *et al.* (1993); TOMAS (1996); YAMAJI (1996); BERÁRD-THERRIault *et al.* (1999); AL-YAMANI & SABUROVA (2011); SIQUEIROS-BELTRONES *et al.* (2014). Los nombres científicos de las especies fueron verificados en la página web de algaebase.org. (GUIRY & GUIRY 2020). Adicionalmente, las concentraciones de clorofila *a* y feopigmentos fueron estimadas de acuerdo al método de STRICKLAND & PARSONS (1972).

Análisis de datos

Los análisis estadísticos fueron realizados usando el programa PAST 6.0 (HAMMER *et al.* 2001). Para identificar las variaciones estacionales y temporales de las variables físicas, químicas y biológicas, incluyendo

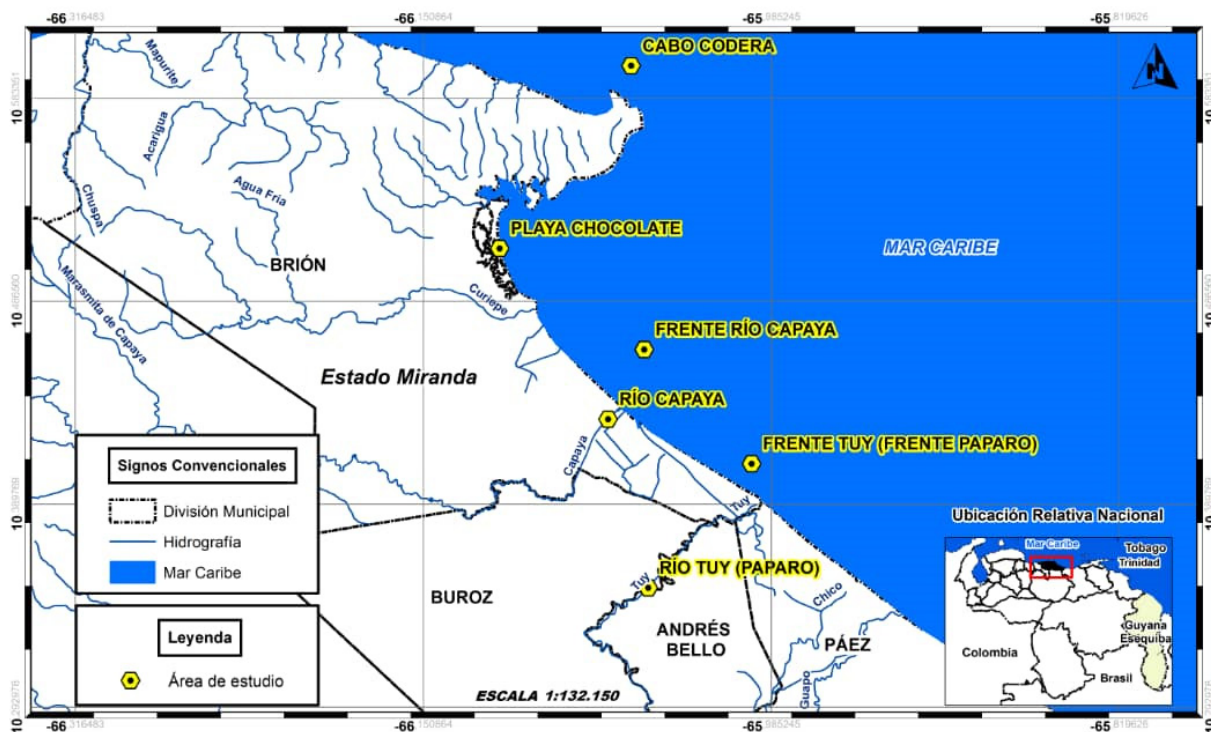


Fig. 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en el área costera entre Cabo Codera y Paparo, estado Miranda, Venezuela

el índice diversidad biológica de Shannon-Wiener, fueron elaborados gráficos de distribución temporal por estaciones. **Análisis de** componentes principales (ACP), usando distancias euclidianas sobre los datos normalizados y análisis de ordenación multidimensional no paramétrico (nMDS), usando la medida de similitud Bray Curtis fueron realizados para identificar posibles relaciones de asociación entre las variables ambientales y los pigmentos e ilustrar los patrones de distribución de las especies, respectivamente. Las pruebas ANOSIM y SIMPER fueron aplicadas para determinar diferencias espaciales y temporales de la comunidad microfitoplanctónica y cuantificar la contribución de cada especie a la disimilitud. Finalmente, la prueba de BioEnv fue realizada para correlacionar la distribución biológica de las especies con las variables ambientales estimadas (CLARKE *et al.* 2014).

RESULTADOS

Variables físicas y químicas del agua

La temperatura presentó una media de $28,5 \pm 2,2$ °C en las estaciones fluviales y $29,2 \pm 2,1$ °C en las marinas, con valores superiores en abril, junio, agosto y diciembre de 2010 ($29,6 \pm 1,5$ °C) y menores entre enero y abril de 2011 ($27,2 \pm 1,2$ °C; Fig. 2). La salinidad presentó un

intervalo entre 0,10 ups en las estaciones dulceacuícolas y 39,00 ups en las marinas, observándose un gradiente en sentido este-oeste por acción de las descargas de los ríos. Temporalmente, se observaron disminuciones de esta variable en septiembre y diciembre de 2010, llegando a 20,4 ups en las estaciones marinas (Fig. 2). La transparencia sólo fue medida en las estaciones: Río Tuy, Frente Tuy, Frente Capaya y Cabo Codera. Esta variable presentó valores entre 0,12 m en el río Tuy y 22 m en Cabo Codera. El pH presentó una media de $7,8 \pm 0,5$ con un intervalo entre 6,7 y 8,5 y valores inferiores en las estaciones de agua dulce ($7,4 \pm 0,6$). Temporalmente, se observaron valores de pH superiores en los meses de precipitaciones máximas en los ríos y durante los meses de sequía en las estaciones marinas ($8,1 \pm 0,2$; Fig. 2).

En el caso del oxígeno disuelto, se observó una media de $4,45 \pm 2,22$ mg/l en las estaciones fluviales y $7,65 \pm 2,16$ mg/l en las marinas, en un intervalo entre 0,93 y 16,43 mg/l. La estación Río Tuy presentó las concentraciones menores ($2,74 \pm 1,00$ mg/l) mientras que las estaciones marinas cercanas a las descargas de los ríos presentaron las mayores. Temporalmente, los valores máximos se obtuvieron en junio, agosto y diciembre de 2010 y marzo de 2011 ($7,5 \pm 3,5$ mg/l; Fig. 2). Por su parte, los sólidos en suspensión mostraron

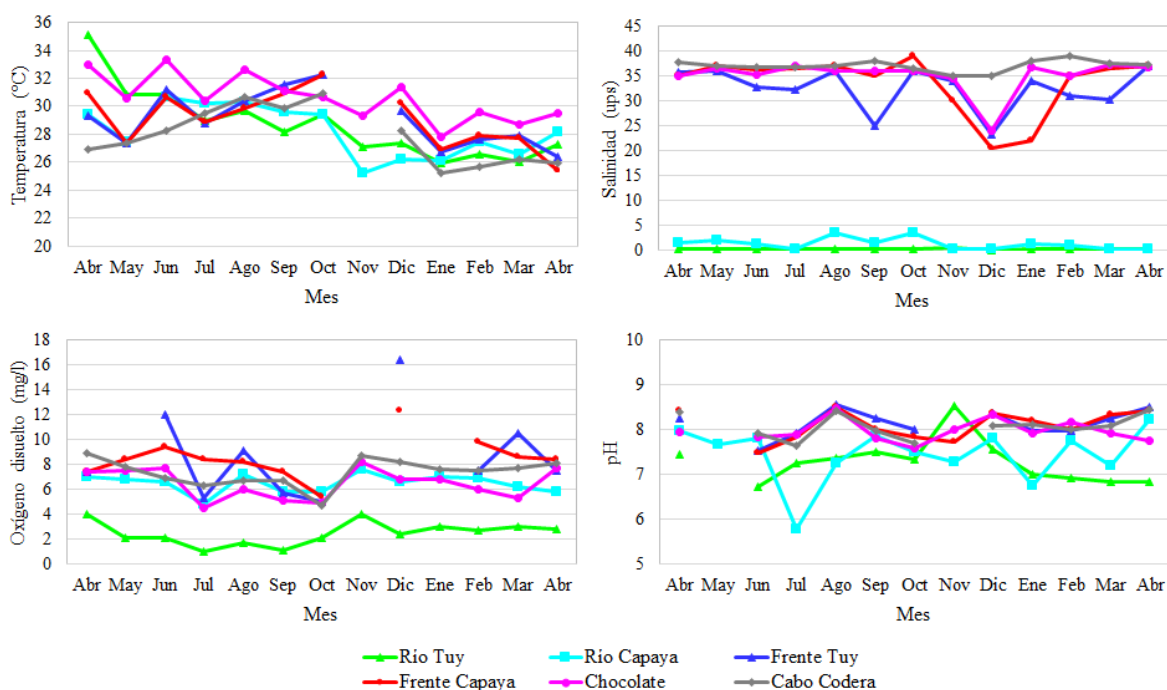


Fig. 2. Variación espacial y temporal de la temperatura, salinidad, pH y concentraciones de oxígeno disuelto de la zona costera entre Cabo Codera y Paparo en el período abril 2010-abril 2011

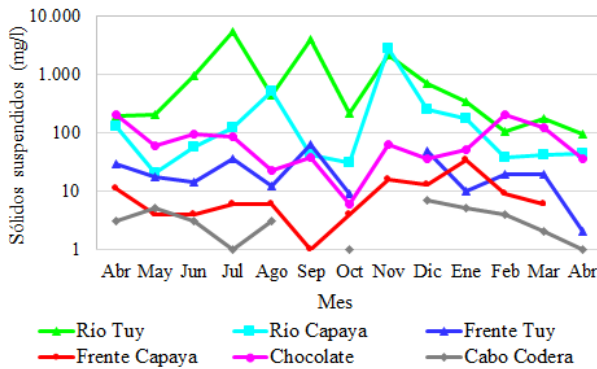


Fig. 3. Variación espacial y temporal de la concentración de sólidos suspendidos de la zona costera entre Cabo Codera y Paparo en el período abril 2010-abril 2011.

una media de $747,08 \pm 1372,07$ mg/l en las estaciones fluviales y $29,01 \pm 45,04$ mg/l en las marinas, con un intervalo entre 0 y 5.510,0 mg/l, siendo mayor en los ríos, específicamente en la estación Río Tuy, ya que los valores de las estaciones marinas no sobrepasaron los 210 mg/l mientras que en los ríos, los valores fueron superiores a los 1.000 mg/l en algunos meses (Fig. 3).

En cuanto a los nutrientes, la concentración media de los nitratos fue $1,3 \pm 1,1$ mg/l en las estaciones fluviales y

$1,1 \pm 1,1$ mg/l en las marinas, con un intervalo entre 0,10 y 6,50 mg/l y un patrón similar en todas las estaciones. Temporalmente, se observaron dos máximos, uno en agosto ($3,23 \pm 2,73$ mg/l) y otro en marzo ($1,67 \pm 0,9$ mg/l; Fig. 4). En el caso de los nitritos, se obtuvieron medias de $0,43 \pm 0,34$ µg/l en el río Tuy, $0,007 \pm 0,004$ µg/l en el río Capaya y $0,01 \pm 0,01$ µg/l en las estaciones marinas con dos máximos en agosto y febrero (Fig. 4). En el caso del amonio, se obtuvieron valores medios de $6,34 \pm 21,80$ mg/l en el río Tuy, $0,21 \pm 0,21$ mg/l en el río Capaya y $0,06 \pm 0,09$ mg/l en las estaciones marinas con máximos en agosto, noviembre y entre febrero y abril (Fig. 4). Por último, los fosfatos presentaron una media de $0,57 \pm 0,55$ mg/l en los ríos y $0,21 \pm 0,38$ mg/l en las estaciones marinas, con un intervalo entre 0,02 y 2,47 mg/l y un patrón de dilución en sentido este-oeste interrumpido por incrementos en la estación Playa Chocolate ($0,57 \pm 0,55$ mg/l). Temporalmente, se observaron los valores más bajos entre septiembre y diciembre y los más altos entre febrero y abril, a excepción del mes de agosto en Playa Chocolate, donde se obtuvo la concentración más alta de este nutriente (2,47 mg/l; Fig. 4).

En el ACP, los dos primeros componentes explicaron el 80,75 % de la variabilidad de los datos. En el

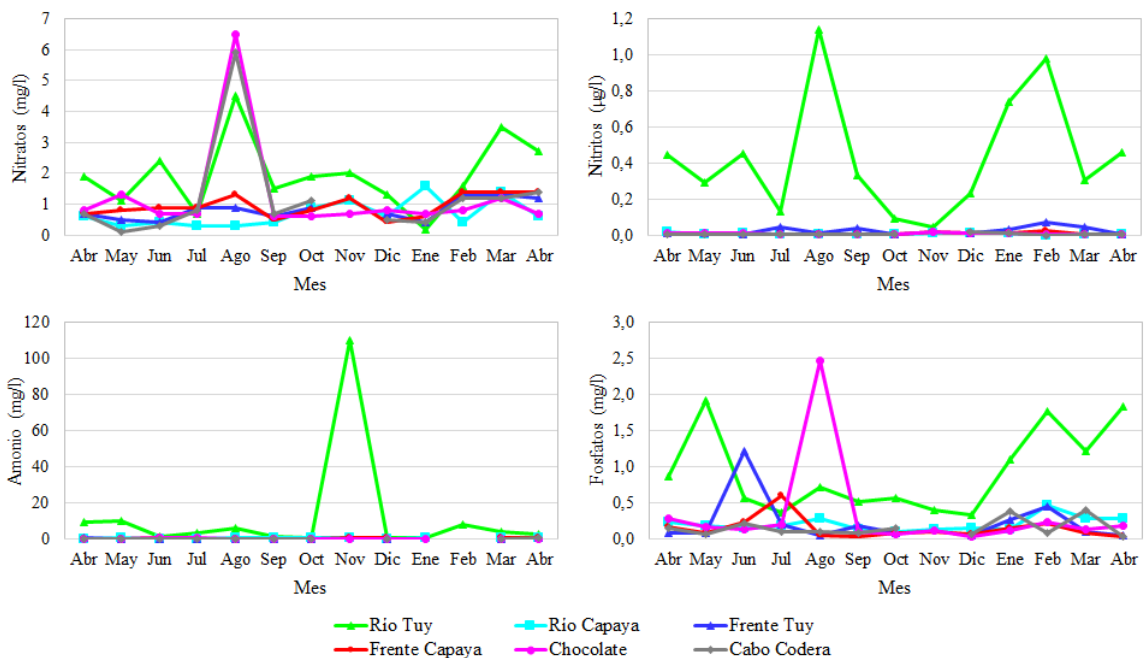


Fig. 4. Variación espacial y temporal de las concentraciones de nutrientes de la zona costera entre Cabo Codera y Paparo en el período abril 2010-abril 2011.

componente 1, las variables más importantes fueron la salinidad y los sólidos suspendidos, los cuales se correlacionaron negativamente, indicando el aporte de material en suspensión de los ríos. En el segundo componente, las variables de mayor importancia fueron la clorofila *a* y los feopigmentos, observándose mayor número de muestras relacionadas a estas variables en la estación Playa Chocolate. También se observó el aporte de nutrientes de los ríos Tuy y Capaya, las cuales disminuyen paulativamente en las estaciones marinas más alejadas (Fig. 5).

Distribución espacial y temporal del microfitoplancton

Un total de 140 especies fueron identificadas, distribuidas en 92 diatomeas (66 %), 38 dinoflagelados (27 %), 3 clorofitas (2 %), 3 cianobacterias (2 %), 3 euglenofitas (2 %) y 1 flagelado (1 %). Las especies más representativas, en términos de riqueza y abundancia, pertenecieron al grupo de las diatomeas, de las cuales, sólo las especies *Lyrella lyra*, *Nitzschia acicularis* y *Pleurosigma affine* se encontraron en las seis estaciones de muestreo. Sin embargo, las diatomeas: *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros* spp y *Pseudo-nitzschia* spp fueron las especies más abundantes. En cuanto a los dinoflagelados, se observó que su presencia en las estaciones dulceacuícolas fue ocasional y en densidades bajas. Sin embargo, las especies: *Protoperdinium pyriforme*, *Protoperdinium depressum*, *Diplopsalis*

lenticula y *Triplos furca* estuvieron presentes en las cuatro estaciones marinas. En el ANEXO 1, se presenta la lista de las especies o taxa identificados.

En las estaciones fluviales, se registró una riqueza media de 8 ± 4 especies con mayor representación en julio, septiembre y febrero con una media de 15 ± 2 especies en el río Capaya y entre 7 y 10 en el Tuy, mientras que la riqueza menor se obtuvo en abril, mayo y septiembre con 2 especies en el río Tuy (Fig.6). Porcentualmente, la mayor cantidad de especies pertenecían al grupo de las diatomeas, representando cerca del 60 %, mientras que el resto de los grupos compartieron una riqueza proporcional que osciló entre el 7 y 11 %. En cuanto a la abundancia total, en el río Tuy se observó un patrón temporal con abundancias mayores desde los primeros meses del año hasta julio y los más bajos entre agosto y diciembre con una media de 18.286 ± 15.091 células/l, mientras que en el río Capaya, la media fue de 9.884 ± 7.535 células/l con máximos en febrero y abril 2011, representados principalmente por especies de los géneros *Nitzschia* y *Navicula* (Fig. 7). La proporción mensual de microalgas estuvo representada en la mayoría de los meses con más del 90 % de diatomeas, a excepción de los meses de máximas precipitaciones, en los cuales hubo un ligero aumento de la abundancia de cianobacterias.

En cuanto a las estaciones marinas, se observó que los dos frentes tuvieron mayor número de especies que

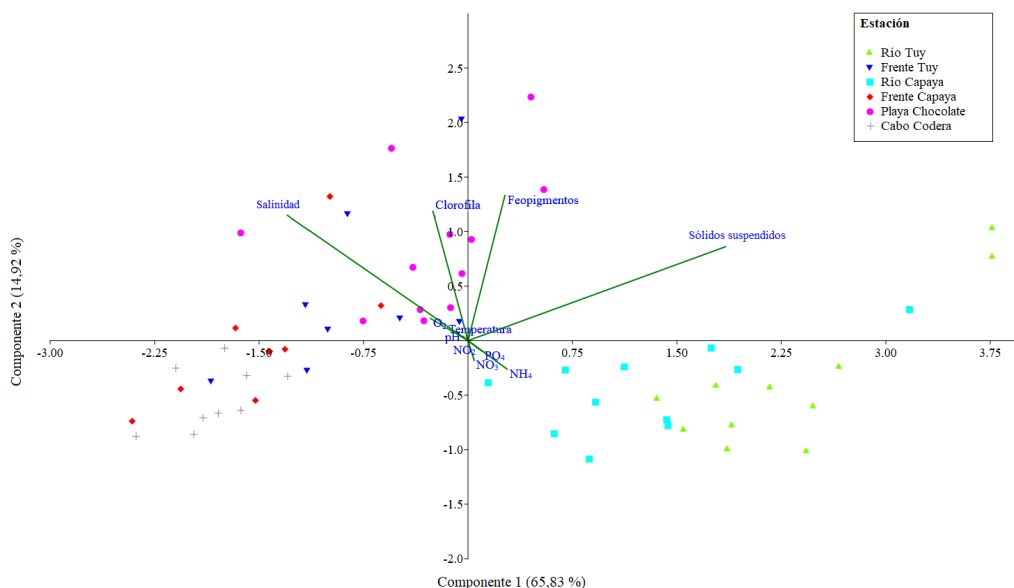


Fig. 5. Análisis de los Componentes Principales (ACP) con las variables fisicoquímicas y los pigmentos estimados entre Cabo Codera y Paparo en el período abril 2010-abril 2011

el resto de las estaciones, con una media de 25 ± 10 especies, mayor cantidad entre junio y agosto y valores más bajos durante los primeros meses del año (Fig. 6). De esta riqueza, más del 60% de las especies fueron diatomeas, mientras que el 30% eran dinoflagelados y el resto, cianobacterias, siendo las diatomeas: *Chaetoceros lorenzianus*, *Coscinodiscus perforatus*, *Nitzschia acicularis*, *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*, *Rhizosolenia setigera* y los dinoflagelados: *Triplos furca* y *Prorocentrum micans* las especies más frecuentes.

En la estación Frente Tuy, se presentó una densidad media de $881.530 \pm 2.212.498$ células/l y dos máximos en agosto ($7.244.582$ células/l) y diciembre ($2.236.970$ células/l) representados en casi la totalidad por diatomeas, siendo *Chaetoceros affinis*, *Pseudo-nitzschia* spp, *Asteroplanus karianus* y otras del género *Chaetoceros*, las especies más representativas de esta estación, mientras que en Frente Capaya, se observó una media inferior con 19.217 ± 14.921 células/l, valores superiores entre enero y marzo de 2011, alcanzando una densidad de 33.300 células/l y las más bajas en abril y de agosto a octubre, con un valor mínimo de 1.230 células/l (Fig. 7). La abundancia de esta estación tuvo una representación similar a la del Frente Tuy, aunque los dinoflagelados dominaron la estructura comunitaria durante los meses de máximas precipitaciones y la cianobacteria *Trichodesmium thiebautii*, más de la mitad de la abundancia total en julio. Las especies más representativas fueron: *Pseudo-nitzschia* spp, *Scripsiella acuminata*, *Asterionellopsis glacialis*, *Triplos furca* y *Trichodesmium thiebautii*.

En Playa Chocolate, la riqueza media fue de 14 ± 6 especies con los valores superiores en julio, septiembre,

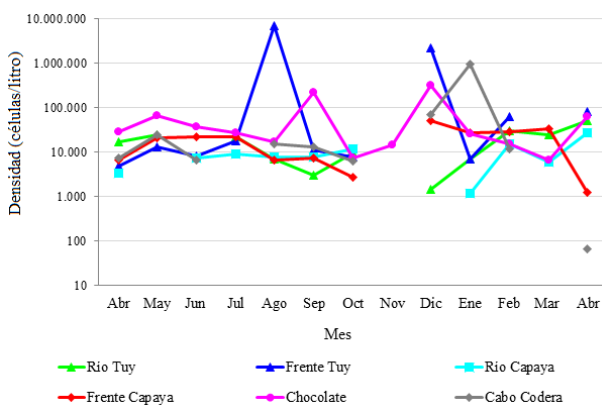


Fig. 6. Variación espacial y temporal de la riqueza de especies del microfitoplancton de la zona costera entre Cabo Codera y Paparo en el período abril 2010-abril 2011.

diciembre y abril 2011 (Fig. 6), siendo *Asterionellopsis glacialis*, *Coscinodiscus wailesii*, *Nitzschia acicularis*, *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*, *Catantombas gaillonii* y *Prorocentrum micans* las especies más frecuentes. Se observó mayor riqueza de diatomeas, a excepción de abril 2011, en el cual hubo mayor riqueza de dinoflagelados. La abundancia total presentó una media de 65.967 ± 95.478 células/l, siendo en la mayoría de los muestreos, inferiores a 70.000 células/l, a excepción de septiembre y diciembre, cuando se obtuvo una densidad superior (Fig. 7), representada en un 90% por la especie *Guinardia delicatula*.

En la estación Cabo Codera, la riqueza media fue de 19 ± 4 especies, con una representación similar a la de los frentes, en cuanto a grupos taxonómicos. Las especies más frecuentes fueron *Chaetoceros pseudocurvisetus*, *Coscinodiscus perforatus*, *Helicotheca tamensis*, *Lyrella lyra*, *Nitzschia acicularis*, *Pseudosolenia calcar-avis*, *Triplos furca*, *Triplos massiliensis*, *Triplos triplos*, *Noctiluca scintillans* y *Prorocentrum micans*, observándose la presencia de especies más oceánicas. La abundancia media fue de 114.830 ± 308.672 células/l, mostrando un máximo en enero con 991.500 células/l, en el que la especie más representativa fue *Pseudonitzschia seriata* con una densidad de 601.200 células/l. El valor de abundancia más bajo se obtuvo en abril de 2011 con 7.458 células/l. En general, se obtuvo una proporción de diatomeas superior al 60% en la mayoría de los meses, a excepción de junio, octubre y abril de 2011, donde los dinoflagelados dominaron la comunidad.

A pesar de las diferencias en la abundancia de organismos entre las estaciones de muestreo ($R = 0,5953$;

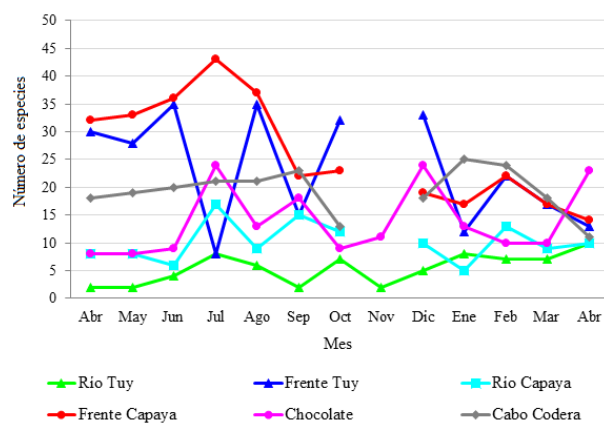


Fig. 7. Variación espacial y temporal de la abundancia del microfitoplancton de la zona costera entre Cabo Codera y Paparo en el período abril 2010-abril 2011

$p < 0,05$), donde sólo resultaron similares los dos frentes, se observó un patrón temporal similar entre ellas, debido a que hubo una estabilidad de la abundancia durante los primeros meses de muestreo hasta julio, en el cual se iniciaron oscilaciones relacionadas a la intensidad de las lluvias (Fig. 7). Sin embargo, en la prueba ANOSIM, no se detectaron diferencias significativas entre los meses ($R = -0,0502$; $p > 0,05$).

En cuanto al índice de diversidad de Shannon-Wiener, los valores fluctuaron entre 0,29 y 3,90 bits/célula, siendo menor en la estación Río Tuy con una media de $1,49 \pm 0,79$ bits/célula y mayor en el Río Capaya con $2,86 \pm 0,36$ bits/célula, aunque en las estaciones marinas se obtuvo una media de $2,44 \pm 0,75$ bits/célula. Estas diferencias entre las estaciones dulceacuícolas y marinas se evidencian en el nMDS (Fig. 8) y en la prueba SIMPER, la cual arrojó valores de disimilitud superiores al 68 % con una contribución a estas diferencias de más de 40 especies. Las muestras dentro de la misma estación presentaron mayor similitud en Río Tuy, Frente Tuy y

Frente Capaya con similitud alrededor del 60%, mientras que el resto fluctuaron cerca del 50%.

Al comparar las estaciones, se obtuvo una similitud entre los ríos del 28% de las cuales, las especies *Navicula* spp, *Amphora* sp y *Pleurosigma affine* contribuyeron con el 30% de esta similitud. Al comparar todas las estaciones, incluyendo las fluviales y marinas, se obtuvo una similitud inferior al 10% mientras que al considerar solo las estaciones marinas, se obtuvo una similitud del 31% entre las estaciones más cercanas a los ríos en la que *Nitzschia acicularis*, *Pseudo-nitzschia* spp, *Dinophysis caudata*, *Protoperidinium oblongum* y *Triplos dens* contribuyeron en mayor proporción a esta similitud; mientras que, los frentes con Playa Chocolate y Cabo Codera presentaron similitud cercana al 25% y del 15%, respectivamente, siendo *Catantopas gaillonii*, *Chaetoceros lorenzianus*, *Chaetoceros pseudocurvicetus*, *Coscinodiscus wailessi*, *Nitzschia acicularis*, *Pseudo-nitzschia* spp, *Dinophysis caudata*, *Prorocentrum micans*, *Triplos furca* y *Triplos massiliensis* las especies que contribuyeron más a estas diferencias.

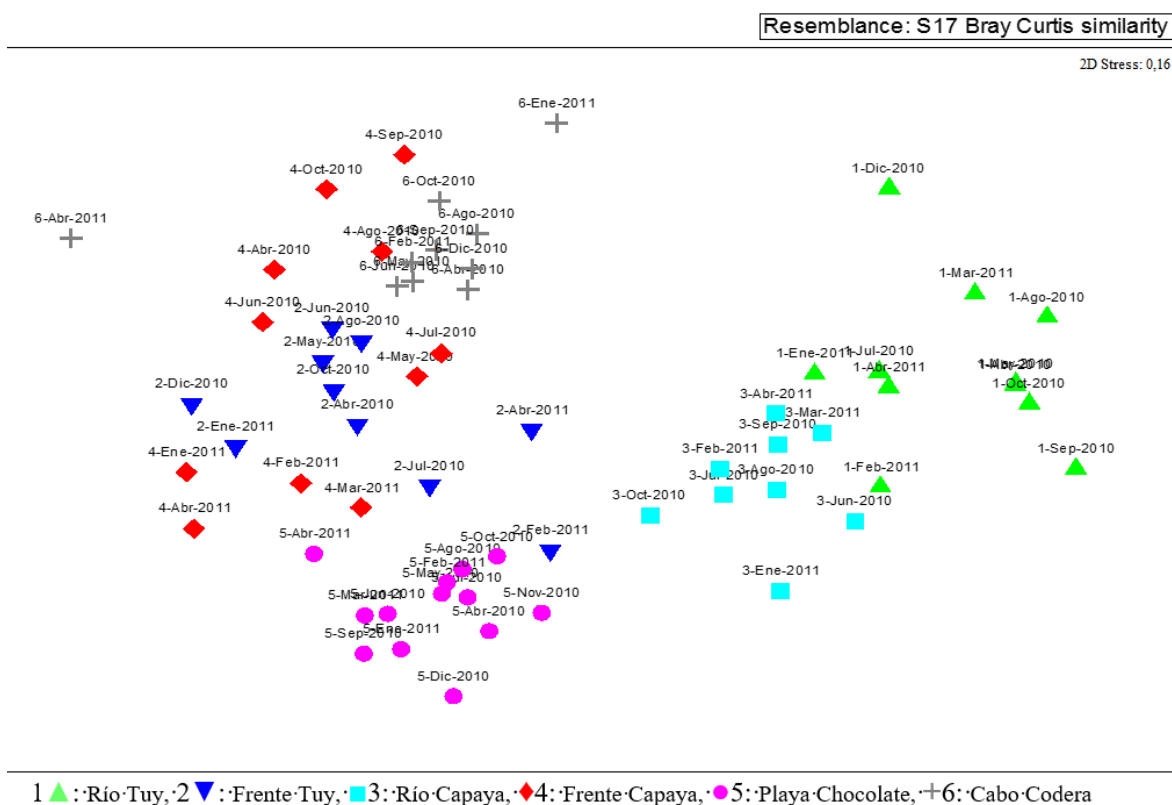


Fig. 8. Análisis de ordenación de escala multidimensional no métrica del microfitoplancton de la zona costera entre Cabo Codera y Paparo en el periodo abril de 2010 - abril de 2011.

La clorofila *a*, como indicador de la abundancia fitoplanctónica, presentó valores medios de $2,94 \pm 4,55$ $\mu\text{g/l}$ en las estaciones fluviales y $5,11 \pm 6,45$ $\mu\text{g/l}$ en las marinas en un intervalo entre 0 y 112,82 $\mu\text{g/l}$ y un patrón de dilución en sentido este-oeste interrumpido por un aumento en la estación Playa Chocolate. Temporalmente, los valores más altos se encontraron de abril a junio de 2010 y de febrero a abril de 2011 (Fig. 8). Por su parte, los feopigmentos presentaron un patrón distinto al de la clorofila *a* con una media de $2,27 \pm 7,81$ $\mu\text{g/l}$ en las estaciones fluviales, $2,54 \pm 8,71$ $\mu\text{g/l}$ en las marinas y un máximo de 56,52 $\mu\text{g/l}$ en la estación Frente Tuy. Entre enero y abril, se observaron aumentos de estas variables, sobre todo en las estaciones marinas, mientras que entre mayo y diciembre los valores se mantuvieron más bajos (Fig. 9).

Finalmente, la correlación entre las variables ambientales y la estructura comunitaria del microfitoplancton, estimada a partir del análisis BioEnv, arrojó que la salinidad fue la variable que más incidió en la distribución de las especies con 54,3% de correlación, indicando la influencia de los ríos sobre la distribución del microfitoplancton de la zona estudiada.

DISCUSIÓN

En este estudio se evidenció la influencia de los ríos en la variabilidad espacial de las variables físicas y químicas del agua de las estaciones marinas, en la que aguas de menor salinidad y mayor carga de nutrientes y sólidos suspendidos son descargadas al mar y dispersadas en sentido este-oeste, de acuerdo al patrón de corrientes prevalente (VIALE-RIGO *et al.* 1999, HERRERA & BONE 2011). Esta zona constituye un área de productividad

biológica importante, la cual además de recibir las aguas residuales provenientes de Caracas y otras localidades del área metropolitana mediante la descarga del río Tuy, tiene influencia de otros cuerpos de agua durante la época de precipitaciones y el enriquecimiento de nutrientes durante el periodo de surgencia costera que ocurre en los primeros meses del año (CASTELLANOS *et al.* 2002; HERRERA & BONE 2011). Esto se demuestra con los aumentos de la concentración de los nutrientes y de la clorofila *a* en el año, los cuales coinciden con los resultados obtenidos por FERRAZ-REYES (1983) para la cuenca Tuy-Cariaco, quien incluyó al Cabo Codera y Playa Higuerote entre sus estaciones de muestreos.

De acuerdo a lo indicado por HERRERA & BONE (2011), el río Tuy influye sobre más de 750 km² de la zona costera con aportes de $659,61 \pm 503,27$ g/s de nitrógeno total, $52 \pm 53,09$ g/s de fósforo total y $9.320,84 \pm 9.728,15$ g/s de material sedimentario, además de un caudal de agua dulce de 246,39 m³/s que genera un gradiente de salinidad en la zona que se incrementa en época de lluvias. Esta carga mantiene fertilizadas las aguas, influyendo sobre la productividad fitoplanctónica, a tal punto que se consiguieron concentraciones de oxígeno disuelto bajo condiciones de sobresaturación, sobre todo cuando las lluvias fueron más intensas. Sin embargo, esta variable presentó sus valores más bajos en la estación río Tuy, la cual posee condiciones reductoras, posiblemente por la presencia de altas concentraciones de materia orgánica que requieren oxígeno para la oxidación de los estos compuestos (LIVINGSTON 2001).

Por otro lado, se pone en evidencia el incremento de las concentraciones de los nutrientes y de la salinidad, acompañado de una disminución de la temperatura

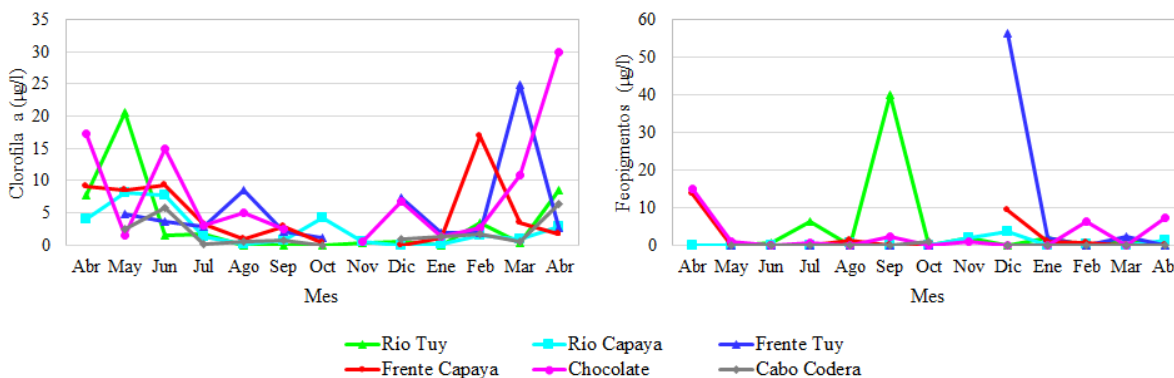


Fig. 9. Variación espacial y temporal de las concentraciones de clorofila *a* y feopigmentos de la zona costera entre Cabo Codera y Paparo en el período abril 2010-abril 2011

superficial del agua durante los primeros meses del año, los cuales son indicadores del ascenso de aguas subsuperficiales, que traen como consecuencia el aumento de la abundancia planctónica (FERRAZ-REYES 1983; TROCCOLI 1989; PIRELA-OCHOA *et al.* 2008). Este fenómeno fue demostrado en la zona mediante la observación de un foco de surgencia en el Cabo Codera en febrero y marzo con una extensión de 10.000 km², en el que la deriva de la pluma se extendía hacia el noroeste y hacia el norte (CASTELLANOS *et al.* 2002).

Con relación a la variabilidad espacial de los nutrientes, las estaciones con concentraciones mayores de fósforo fueron Playa Chocolate y Río Tuy, las cuales reciben una descarga constante de aguas negras y fertilizantes, producto de las actividades agrícolas que se practican en la zona. Estos aportes de nutrientes suelen ser importantes en muchas zonas costeras y por lo general, son subestimados (DUBRAVKO *et al.* 1995). En cuanto a los nutrientes nitrogenados, se observó la prevalencia del nitrato en las estaciones marinas, que es la forma química oxidada del nitrógeno inorgánico, lo cual se explica con la condición oxidativa de la zona. Esta condición favorece el crecimiento de las diatomeas, las cuales son especies oportunistas con capacidad de captación rápida de nutrientes (WHELLER *et al.* 1982; ZEHR *et al.* 1989). De hecho, se pudo notar que cuando las concentraciones de amonio resultaron más bajas, la abundancia de diatomeas manifestó incrementos.

Con relación a la comunidad fitoplanctónica, el número de especies observadas y el grado de heterogeneidad es un aspecto relevante de este estudio, debido a que el área estudiada está en la transición entre la zona costera central de Venezuela, caracterizada por presentar condiciones oligotróficas debido a una plataforma continental estrecha y el inicio de la zona oriental con la influencia de la surgencia costera estacional y el aporte fluvial de algunos ríos (HERRERA *et al.* 1980; CASTELLANOS *et al.* 2002; HERRERA & BONE 2011). Esto se manifiesta con la presencia de especies oceánicas, tales como los dinoflagelados pertenecientes a los géneros *Ornithocercus*, *Tripes* y *Ceratocorys*, representantes bentónicos de los géneros: *Coolia*, *Diplopsalis*, *Gambierdiscus*, *Ostreopsis*, *Pleurosigma*, *Trieres*, *Auricula*, *Amphora* y *Surirella*, así como especies costeras de los géneros *Nitzschia* y *Navicula* (SPINIELLO 1996; VILA *et al.* 2001). Asimismo, la presencia de la cianobacteria planctónica *Trichodesmium thiebauthii*, adaptada a cuerpos de agua oligotróficas y de otras

cianobacterias y euglenofitas que más bien, son una evidencia de la influencia de aguas de origen continental, incrementan la diversidad de esta comunidad (HOFFMAN 1999; LIVINGSTON 2001; TRIEMER & ZAKRYS 2015).

Por otro lado, aunque no hubo evidencias de proliferaciones tóxicas durante los muestreos realizados, se observó la presencia de las especies: *Alexandrium tamarense*, *Scirpsiella acuminata*, *Dinophysis* spp, *Gymnodinium* sp, *Goniaulax digitalis*, *Diplopsalis lenticula*, *Coolia monotis* y *Ostreopsis siamensis*, que son potencialmente productoras de este fenómeno (FAO 2005).

En general, el fitoplancton estuvo principalmente representado por las diatomeas, tanto en número de especies como en abundancia, las cuales suelen ser el grupo más abundante de la comunidad fitoplanctónica de áreas costeras, debido a su capacidad de asimilación rápida de nutrientes y su tasa reproductiva (MARGALEF 1980; TRIANTAFYLLOU *et al.* 2001; SARTHOU *et al.* 2004). Las diatomeas más relevantes en el estudio en cuanto a su abundancia fueron *Nitzschia* spp, *Thalassiosira aestivales*, *Pseudonitzschia* spp, *Navicula* spp, *Chaetoceros* spp, *Coscinodiscus* spp, *Catacombas gaillonii* y *Asterionellopsis glacialis*, las cuales son especies costeras características de aguas turbulentas (MARGALEF 1965; MAIDANA *et al.* 2011).

Al respecto, SPINIELLO (1996) señala que el grupo de las diatomeas a nivel nacional, presenta una riqueza de 385 especies y 25 variedades agrupadas en 99 géneros, de los cuales *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, *Navicula* sp y *Nitzschia* sp reúnen a más del 35 % de las especies, incluyendo aquellas especies que se han reubicado en otros géneros pero en algún momento formaron parte de estos, tal como se observa en los resultados obtenidos en este estudio, que además presentan una amplia distribución a lo largo de las costas del país e incluso en otras regiones del mundo, tal como lo describe, LOZANO-DUQUE *et al.* (2010) para el Caribe colombiano, OKOLODKOV & BLANCO (2011) para el Golfo de México y AJANI *et al.* (2016) para las costas australianas.

Los dinoflagelados constituyeron el segundo grupo más representativo en las estaciones marinas tanto en riqueza como abundancia. Por ejemplo, la relación de la abundancia entre diatomeas y dinoflagelados en la estación Cabo Codera fue más equitativa en la mayoría de los meses, mientras que frente a los ríos, en unos pocos meses llegaron a abundar los dinoflagelados, lo cual se explica por el hecho de que los dinoflagelados

suelen estar más adaptados a la vida en alta mar y por ende, dominan sobre las diatomeas en aguas oceánicas (LINDENSCHMIDT & CHORUS 1998). Cuando existe una influencia de aguas continentales en el mar, en el cual ocurren procesos de mezcla, esta relación se revierte y disminuye la cantidad de estos organismos con respecto a las diatomeas (MARGALEF 1965).

Con relación a la abundancia del microfitoplancton, en este estudio se obtuvo una media por debajo de las abundancias obtenidas en el Golfo de Cariaco, en el cual se registraron valores entre 200.000 y 2.300.000 células/l (LA BARBERA *et al.* 1999; CALVO-TRUJILLO *et al.* 2018), en La bahía de Charagato, isla de Cubagua con valores entre 980 y 746.980 células/l (PIRELA-OCHOA *et al.* 2008), la bahía El Tablazo, ubicada en el sistema de Maracaibo con valores entre 4×10^7 y 55×10^7 células/l (BRICEÑO *et al.* 2009). Sin embargo, fue superior a la obtenida en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques con abundancias entre 14.925 y 64.561 células/l (PÉREZ-CASTRESANA *et al.* 2014), la plataforma nororiental de Venezuela con máximos de 300.000 células/l (VALERA *et al.* 2003), la zona oceánica de la Plataforma Deltana, la cual tuvo una media de 9.450 células/l (MARTÍN *et al.* 2007), la isla La Tortuga con valores entre 1.430 y 45.980 células/l (RODRÍGUEZ-CENTENO *et al.* 2010), Isla de Aves con abundancias de 1.999 células/l en 2011 y 1.546 células/l en 2012 (PEREIRA *et al.* 2018) y la zona oeste del estado Miranda con abundancias medias entre 839 y 156.333 células/l (PEREIRA 2019), lo cual posiblemente esté relacionado a la recarga continua de nutrientes por los ríos y quebradas que descargan en la zona.

Con relación al índice de diversidad, se estimaron valores altos de acuerdo a lo establecido por MARGALEF (1980), debido a la presencia de muchas especies y escasa dominancia, lo cual indica que la comunidad se encontraba en las primeras etapas de la sucesión, posiblemente por la ocurrencia de perturbaciones ambientales intermedias como la descarga de agua dulce, lo cual se considera un factor de estrés que no permite el establecimiento de una comunidad vieja (YAMAMOTO & HATTA 2004). Estos resultados coinciden con los valores reportados por LOZANO-DUQUE *et al.* (2010) para la desembocadura del río Magdalena, en Colombia.

En cuanto a la variabilidad temporal del microfitoplancton y su relación con los cambios de las condiciones ambientales, se observó una correlación de su abundancia y composición con la salinidad y la concentración de fosfatos, que explicaron los aumentos

de la abundancia del fitoplancton durante la época de precipitaciones máximas y la época de surgencia costera. A pesar que la época de lluvias no marcó un descenso significativo de la densidad fitoplanctónica, si disminuyó su biomasa, estimada a partir de la concentración de clorofila *a*, tal como lo observó FERRAZ-REYES (1983), lo cual posiblemente haya ocurrido debido a la dificultad de ingreso de la luz solar en la columna de agua por la cantidad de material particulado en el agua y la nubosidad. También, se observó una ligera disminución de la concentración de nutrientes en esta época y por ende de las diatomeas, demostrando la respuesta del fitoplancton ante las variaciones espaciales y temporales de las condiciones hidrográficas (MARGALEF 1980; FALKOWSKI *et al.* 1998; GREGG & CONKRIGHT 2002).

Estos resultados resaltan la importancia de la realización de estudios sistemáticos en las zonas costeras para determinar las variables que influyen sobre los cambios estructurales de la comunidad fitoplanctónica, los cuales constituyen la base para explicar aspectos dinámicos del ecosistema pelágico, establecer su capacidad de carga y la salud ambiental e implementar planes y programas de gestión ambiental que garanticen la preservación de los ecosistemas mediante el uso racional de los servicios ambientales que ofrecen en el tiempo (MILLÁN & LOYA 1993). Sin embargo, para conocer todas las variables que determinan la distribución del fitoplancton, no se debe obviar el efecto de los factores biológicos, en los que las interacciones con otros organismos, pudieran incidir de manera importante en su dinámica (TILSTONE *et al.* 2000; AUBRY *et al.* 2004).

CONCLUSIONES

Este estudio amplía el conocimiento sobre la diversidad biológica de una de las zonas marinas con influencia de agua dulce más importantes de la costa central del país, mostrando una comunidad fitoplanctónica diversa característica de aguas turbulentas, en la que se evidencia un gradiente continente – océano relacionado con el aporte de aguas continentales durante la época de precipitaciones máximas, un gradiente este-oeste relacionado a la dilución de los nutrientes descargados por los ríos y desplazados por las corrientes marinas y un ascenso de aguas profundas durante los primeros meses del año.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por Petróleos de Venezuela, S.A. Las muestras fueron analizadas en

los laboratorios de Ecotoxicología de la Gerencia de Ambiente de PDVSA Intevep y de Biología de la Universidad Simón Bolívar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJANI, P., G. HALLEGRAEFF, D. ALLEN, A. COUGHLAN, A. RICHARDSON, L. ARMAND, T. INGLETON & S. MURRAY. 2016. Establishing baselines: a review of eighty years of phytoplankton diversity and biomass in south-eastern Australia. *Oceanogr. Mar. Biol.* 54: 387-412.
- AL-YAMANI, F. & M. SABUROVA. 2011. *Illustrated guide on the benthic diatoms of Kuwait's Marine Environment*. Kuwait Institute for Scientific Research. Lucky Press. Kuwait. 352 pp.
- ARIYADEJ, C., R. TANSAKUL, P. TANSAKUL & S. ANGUPANICH. 2004. Phytoplankton diversity and its relationships to the physico-chemical environment in the Bangland Reservoir, Yala Province. Songklanakarin, *J. Sci. Technol.* 26(5): 595-607.
- AUBRY, F., A. BERTON, M. BASTIANINI, G. SOCAL & F. ACRI. 2004. Phytoplankton succession in a coastal area of the NW Adriatic, over a 10 year sampling period (1990 – 1999). *Cont. Shelf Res.* 24: 97-115.
- BALECH, E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Publicaciones del Instituto Español de Oceanografía. Madrid, España. 311 pp.
- BERÁRD-TERRIAULT, L., M. POULIN & L. BOSSÉ. 1999. *Guide d'identification du phytoplankton marin de l'estuaire et du Golfe de Saint-Laurent. Incluant également certains protozoaires*. Conseil National de Recherches du Canada. Ottawa, Canadá. 387 pp.
- BREWER, J. 1977. *Estudio taxonómico y distribución del fitoplancton del Golfo de Santa Fé y áreas adyacentes durante los años 1973-1974*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 112 pp.
- BRICEÑO, H., R. BUONOCORE, C. SANGRONIS, L. GARCÍA-PINTO, J. ROJAS, J. CHIRINOS, A. GONZÁLEZ & C. LÓPEZ. 2009. Composición y abundancia del plancton de la Costa Noreste de la Bahía El Tablazo, Sistema de Maracaibo, Venezuela. *Bol. Cent. Invest. Biol.* 43(4): 463-485.
- CALVO-TRUJILLO, A., K. RINCONES-REYES, J. DÍAZ-RAMOS, B. MÁRQUEZ-GARCÍA, S. SUBERO-PINO, E. ELISTA-RAMÍREZ & L. TROCCOLI-GHINAGLIA. 2018. Distribución espacial y temporal del fitoplancton en el golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, febrero 2014 – enero 2015. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 47 (2): 63-82.
- CAPOBIANCO, J., J. CARDENAS, J. CRUZ, E. DUBUC, D. ESCLASANS, L. GIL, J. GONZÁLEZ, E. KLEIN, E. LAYA, R. LAZO, L. MALAVE, R. MARTÍNEZ, P. MILOSLAVICH, J. PAPADAKIS, J. POSADA, A. RAMOS, D. SANCHEZ, C. VILLALBA, G. WALKER & E. YERENA. 2008. *Prioridades de PDVSA en la conservación de la biodiversidad en el Caribe Venezolano*. Petróleos de Venezuela, S.A., Universidad Simón Bolívar, The Nature Conservancy. Caracas, Venezuela. 72 pp.
- CASTELLANOS, P., R. VARELA & F. MULLER-KARGER. 2002. Descripción de las áreas de surgencia al sur del mar Caribe examinadas con el sensor infrarrojo AVHRR. *Mem. Soc. Cs. Nat. La Salle* 154: 55-76.
- CHRETIENNOT-DINET, M., A. SOURNIA, M. RICARD & C. BILLARD. 1993. A classification of the marine phytoplankton of the world from class to genus. *Phycol.* 32(3): 159-179.
- CLARKE, K., R. GORLEY, P. SOMERFIELD & R. WARWICK. 2014. *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation*. PRIMER-E: Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK. 255 pp.
- CUPP, E. 1943. Marine plankton diatoms of the West Coast of North America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Tech. Ser.* 15: 1-238.
- DUBRAVKO, J., N. RABALAIS, R. TURNER & Q. DORTCH. 1995. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 40: 339-356.
- FALKOWSKI, P., R. BARBER & V. SMETACEK. 1998. Biogeochemical controls and feedback on ocean primary production. *Science*, 281: 200-206.
- FERGUSON, J. 1968. *Dinoflagellates of the Caribbean Sea and adjacent areas*. University of Miami. Press Florida. EE.UU. 143 pp.
- FERRAZ-REYES, E. 1983. Estudio del fitoplancton en la Cuenca Tuy-Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 22(1&2): 111-124.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2005. *Biotoxinas marinas*. FAO Food and Nutrition. Paper Nro. 80. Roma. 278 pp.

- GAMBOA-MÁRQUEZ, J., I. SÁNCHEZ-SUÁREZ & A. LA BARBERA-SÁNCHEZ. 1994. Dinoflagelados (Pyrrhophyta) del Archipiélago Los Roques (Venezuela): Familias Prorocentraceae y Ostreopsidaceae. *Acta Cient. Venez.* 45: 140 – 152.
- GARCÍA, G. 2011. *Estructura comunitaria del fitoplancton y su relación con algunas condiciones hidrográficas en Chichiriviche, estado Vargas (enero-diciembre 2009)*. Trab. Grad. Lic. Biología Marina, Universidad de Oriente, Boca de Río, Venezuela, 83 pp.
- GÓMEZ, E., J. DÍAZ & I. SÁNCHEZ. 2000. Abundancia y biomasa del fitoplancton de la playa de San Luís, Cumaná, Venezuela (junio 1995 – mayo, 1996). *Ciencias* 8(1): 41-52.
- GREGG, W. & M. CONKRIGHT. 2002. Decadal changes in global ocean chlorophyll. *Geophys. Res. Lett.* 29: 17-30.
- GUIRY, M. & G. GUIRY. 2020. AlgaeBase. Disponible en: <http://www.algaebase.org> (revisada marzo 2020).
- HALIM, I. 1967. Dinoflagellates of the South-East Caribbean (East Venezuela). *Inst. Rev. Ges. Hydrobio.* 52: 701-755.
- HAMMER, O., D. HARPER & P. RYAN. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 pp. Disponible en http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (revisada mayo 2019).
- HERRERA, L., G. FEBRES & J. ANDRÉS. 1980. Distribución de las masas de agua y sus vinculaciones dinámicas en el sector centro-occidental venezolano, Mar Caribe. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela* 19 (1&2): 93-118.
- HERRERA, A. & D. BONE. 2011. Influence of riverine outputs on sandy beaches of Higuerote, central coast of Venezuela. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 39(1): 56-70.
- HOFFMANN, L. 1999. Marine cyanobacteria in tropical regions: diversity and ecology. *Eur. J. Phycol.* 34: 371-379.
- LA BARBERA, A., J. GAMBOA & W. SENIOR. 1999. Fitoplancton del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 47(1): 57-63.
- LEVINTON, J. 2001. *Marine biology: Function, biodiversity, ecology*. Oxford Press. Oxford, U.K. 515 pp.
- LINDENSCHMIDT, K. & I. CHORUS. 1998. The effects of water column mixing on phytoplankton succession, diversity and similarity. *J. Plankton Res.* 20(10): 1927-1951.
- LIVINGSTON, R. 2001. *Eutrophication processes in coastal systems: origin and succession of plankton blooms and effects on secondary production in gulf coast estuaries*. John Andreasen CRC Press. Florida, EE.UU. 327 pp.
- LORENZONI, L., R. THUNELL, C. BENITEZ-NELSON, E. MONTES, R. VARELA, Y. ASTOR & F. MULLER-KARGER. 2019. From land to the ocean: the interplay between allochthonous and autochthonous contribution to particles in nepheloid layers of the Cariaco Basin, Venezuela. *J. Geophys. Res. Biogeo.* 124(11): 3191-3207.
- LOZANO-DUQUE, Y., L. VIDAL & G. NAVAS. 2010. *La comunidad fitoplanctónica en el mar Caribe colombiano*. En: *Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano*. Ed. Invemar. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar No. 20 p. 4588.
- MAIDANA, N., C. SEELIGMANN & M. MORALES. 2011. El género *Navicula sensu stricto* (Bacillariophyceae) en humedales de altura de Jujuy, Argentina. *Bol. Soc. Arg. Bot.* 46 (1-2): 13-29.
- MANDELLI, E. & E. FERRAZ-REYES. 1982. Primary production and phytoplankton dynamics in a tropical inlet, Gulf of Cariaco, Venezuela. *Inter. Rev. Ges. Hydrobiol.* 67: 85-95.
- MARGALEF, R. 1965. Composición y distribución del fitoplancton. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle* 25 (70-72): 141-205.
- MARGALEF, R. 1980. *Ecología*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 951 pp.
- MÁRQUEZ, B. 2015. *Dinámica del mesozooplancton en el sector oriental (Saco) del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. Doctoral, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 137 pp.
- MARTÍN, A., L. MALAVÉ, D. SÁNCHEZ, R. APARICIO, F. AROCHA, D. BONE, J. BOLAÑOS, J. BOLAÑOS-JIMÉNEZ, J. CASTAÑEDA, J. CÁRDENAS, A. CARBONINI, Y. DÍAZ, H. GUADA, E. KLEIN, R. LAZO, A. LEMUS, M. LENTINO, C. LIRA, C. LODEIROS, R. LÓPEZ, B. MARÍN, G. MARTÍNEZ, B. MÁRQUEZ, A. MÁRQUEZ, R. MOLINET, F. MORALES,

- J. POSADA, A. PRIETO, A. RIERA, C. RODRÍGUEZ, A. RAMÍREZ, W. SENIOR, P. SOLANA, H. SEVEREYN, P. SPINIELLO, E. VALERA, C. YANES & E. ZOPPI. 2007. *Línea base ambiental Plataforma Deltana*. Eds. Martín, A. & D. Bone. Petróleos de Venezuela, S. A. - Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela. 176 p.
- MILLÁN, E. & D. LOYA. 1993. Variabilidad temporal del fitoplancton en una zona costera del noroeste de baja California. *Cienc. Mar.* 19(1): 61-74.
- OKOLODKOV, Y. & R. BLANCO. 2011. *Diversidad de microalgas marinas y de aguas salobres*. En: *La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado*. Ed. A. Cruz. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México. p. 55-69.
- PERAGALLO, M. 1965. *Diatomés marines du France*. A Asher Co. Amsterdam, Holanda. 365 pp.
- PEREIRA, C., R. QUIÑONES & V. HERNÁNDEZ. 2018. Fitoplancton del Refugio de Fauna Silvestre Isla de Aves: el territorio venezolano más septentrional. *Cienc. Amb. Clima* 1(1): 63-77.
- PEREIRA, C. 2019. *Dinámica del microfitobentos y su relación ecológica con el plancton de la zona costera central de Venezuela*. Trab. Grad. Doctoral, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 227 pp.
- PÉREZ-CASTRESANA, G., E. VILLAMIZAR, R. VARELA & Y. FUENTES. 2014. Descripción preliminar del fitoplancton en seis arrecifes coralinos del Parque Nacional Archipiélago de Los Roques. *Acta Biol. Venez.* 34(2): 293-309.
- PIRELA-OCHOA, E., L. TROCCOLI & I. HERNÁNDEZ. 2008. Hidrografía y cambios en la comunidad del microfitoplancton de la bahía de Charagato, isla de Cubagua, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela* 47(1): 3-15.
- REDFIELD, A., B. KETCHUM & F. RICHARDS. 1963. *The influence of organisms on the composition of sea-water*. En: *The sea*. Ed. M. Hill. Wiley Interscience. New York, EE.UU, p. 26-79.
- RODRÍGUEZ-CENTENO, M., J. DÍAZ-RAMOS, L. CHARZEDDINE, S. SUBERO-PINO & L. TROCCOLI-GHINAGLIA. 2010. Biomasa y abundancia del fitoplancton en la isla La Tortuga, Dependencia Federal, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela* 49(1): 77-86.
- ROELKE, D., S. AUGUSTINE & Y. BUYUKATES. 2003. Fundamental predictability in multispecies competition: the influence of large disturbance. *Am. Nat.* 162(5): 615-623.
- ROMERO, O., R. THUNELL, Y. ASTOR & R. VARELA. 2008. Seasonal and interannual dynamics in diatom production in the Cariaco Basin, Venezuela. *Deep Sea Res. Part I*, 56: 571 – 581.
- ROUND, F., R. CRAWFORD & D. MANN. 1990. *The diatoms, biology y morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 747pp.
- SÁNCHEZ-SUÁREZ, I. 1994. *Ecología y dinámica del fitoplancton en arrecifes coralinos: un estudio en los islotes Dos Mosquises, Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Venezuela*. Tesis de Doctorado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 200 pp.
- SARAVANAKUMAR, A., M. RAJKUMAR, G. THIVAKARAN & J. SESH SEREBIAH. 2008. Abundance and seasonal variations of phytoplankton in the creek waters of western mangrove of Kachchh-Gujarat. *J. Environ. Biol.* 29(2): 271-274.
- SARTHOU, G., K. TIMMERMANS, S. BLAIN & P. TRÉGUER. 2004. Growth physiology and fate of diatoms in the ocean: a review. *J. Sea Res.* 53: 25-42.
- SAUNDERS, R. & E. GLENN. 1969. *Diatoms. Memoirs of the Hourglass Cruises*. Vol X. Florida Department of Natural Resources Marine Research Laboratory. St. Petersburg. EE.UU. 38 pp.
- SCHWARZ, T. 2014. AmbiWeb GmbH. Clima Higuerote. Caracas, Venezuela. Disponible en <http://es.climate-data.org/location/27656/> (revisada noviembre 2015).
- SIQUEIROS-BELTRONES, D., U. ARGUMEDO-HERNÁNDEZ, J. MURILLO-JIMÉNEZ & A. MARMOLEJO-RODRÍGUEZ. 2014. Diversidad de diatomeas bentónicas marinas en un ambiente ligeramente enriquecido con elementos potencialmente tóxicos. *Rev. Mex. Biodivers.* 85: 1065-1085.
- SOURNIA, A. 1986. *Atlas du phytoplancton marin*. Vol 1. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris, Francia. 216 pp.
- SPINIELLO, P. 1996. Las diatomeas marino-costeras de Venezuela. *Caribb. J. Sci.* 32(4): 331-347.

- STOCK, C., J. JOHN, R. RYKACZEWSKI, R. ASCH, W. CHEUNG, J. DUNNE, K. FRIEDLAND, V. LAM, J. SARMIENTO & R. WATSON. 2017. Reconciling fisheries catch and ocean productivity. *PNAS* 23: 1441-1449.
- STRICKLAND, J. & T. PARSONS. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *J. Fish. Res. Board Can.* 167: 1-310.
- TILSTONE, G., B. MÍNGUEZ, F. FIGUEIRAS & E. FERMÍN. 2000. Diatom dynamics in a coastal affected by upwelling: coupling between species succession circulation and biogeochemical processes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 205: 23-41.
- TOMAS, C. 1996. *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press. New York, EE.UU. 598 pp.
- TRIANTAFYLLOU, G., G. PETIHAKIS, C. DOUNAS & T. ATHANASIOS. 2001. Assessing marine ecosystem response to nutrient inputs. *Mar. Poll. Bull.* 43 (7-12): 175-186.
- TRIEMER, R. & B. ZAKRYŚ. 2015. *Photosynthetic euglenoids*. En: *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. Eds. J. Wehr, R. Sheath & P. Kociolek. Academic Press. EE.UU. p. 459-483.
- TROCCOLI, L. 1989. *Análisis cualitativo y cuantitativo del fitoplancton de la Bahía de Charagato, Isla de Cubagua, Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 78 pp.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt. Verein. Theor. Argiew. Limnol.* 9: 1-38.
- VALERA, R., F. CARVAJAL & F. MULLER-KARGER. 2003. El fitoplancton en la plataforma nororiental de Venezuela. Estación de Investigaciones Marinas de Margarita. *Fund. La Salle Cienc. Nat.* Contribución 210: 263-292.
- VIALE-RIGO, M., P. MASCIANGIOLI & W. GUTTLER. 1999. *Simulación y trayectoria de derrames de gasolina, diesel, y Disolago en la Planta de Distribución Carenero*. Informe Técnico. PDVSA Intevep, Los Teques, Venezuela, 124 pp.
- VILA, M., E. GARCES & M. MASÓ. 2001. Potentially toxic epiphytic dinoflagellate assemblages on macroalgae in the NW Mediterranean. *Aquat. Microb. Ecol.* 26: 51-60.
- WHELLER, P., P. GILBERT & J. MCCARTHY. 1982. Ammonium uptake and incorporation by Chesapeake Bay phytoplankton: short terms uptake kinetics. *Limnol. Oceanogr.* 27 (6): 1113-1128.
- YAMAJI, I. 1996. *Illustration of the marine plankton of Japan*. Hoikusha Publishers. Osaka, Japan. 109 pp.
- YAMAMOTO, T. & G. HATTA. 2004. Pulsed nutrient supply as a factor inducing phytoplankton diversity. *Ecol. Model.* 171: 247-270.
- YUSUF, Z. 2020. Phytoplankton as bioindicators of water quality in Nasarawa reservoir, Katsina State Nigeria. *Acta Limnol. Bras.* 32(4): 1-11.
- ZEHR, J., D. CAPONE & M. FALKOWSKI. 1989. Rapid incorporation of 13 NO_3 by NH_4 – limited phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 51 (3): 237-241.

RECIBIDO: JUNIO 2020

ACEPTADO: AGOSTO 2020

ANEXO 1. Listado de especies de microalgas identificadas en la zona costera entre Cabo Codera y Paparo entre abril 2010 - abril 2011

Diatomeas			
<i>Amphora laevis</i>	RM	<i>Chaetoceros holcsalticus</i>	M
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	RM	<i>Chaetoceros laciniosus</i>	M
<i>Asteroplanus karianus</i>	RM	<i>Chaetoceros laevis</i>	M
<i>Auricula</i> sp.	RM	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	M
<i>Bacteriastrium hyalinum</i>	M	<i>Chaetoceros messanensis</i>	M
<i>Bellerochea malleus</i>	M	<i>Chaetoceros peruvianus</i>	M
<i>Catacombas gaillonii</i>	RM	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	M
<i>Chaetoceros affinis</i>	M	<i>Chaetoceros teres</i>	M
<i>Chaetoceros anastomosans</i>	M	<i>Cerataulina pelagica</i>	M
<i>Chaetoceros bacteriastrius</i>	M	<i>Climacodium frauenfeldianum</i>	M
<i>Chaetoceros coarctatus</i>	M	<i>Climacosphenia moniligera</i>	M
<i>Chaetoceros compressus</i>	M	<i>Coscinodiscus centralis</i>	M
<i>Chaetoceros constrictus</i>	M	<i>Coscinodiscus granii</i>	M
<i>Chaetoceros costatus</i>	M	<i>Coscinodiscus perforatus</i>	M
<i>Chaetoceros danicus</i>	M	<i>Coscinodiscus wailesii</i>	M
<i>Chaetoceros debilis</i>	M	<i>Cylindrotheca closterium</i>	M
<i>Chaetoceros decipiens</i>	M	<i>Cymbella</i> sp.	R
<i>Chaetoceros dichaeta</i>	M	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	M
<i>Chaetoceros didymus</i>	M	<i>Detonula pumila</i>	M
<i>Chaetoceros gracilis</i>	M	<i>Diploneis</i> sp.	R
Diatomeas			
<i>Ditylum brighwellii</i>	M	<i>Neocalyptrella robusta</i>	M
<i>Eucampia zodiacus</i>	M	<i>Nitzschia acicularis</i>	RM
<i>Guinardia delicatula</i>	M	<i>Nitzschia angularis</i>	RM
<i>Guinardia flaccida</i>	M	<i>Nitzschia fluminensis</i>	RM
<i>Guinardia striata</i>	M	<i>Nitzschia longissima</i>	M
<i>Gyrosigma</i> sp.	RM	<i>Nitzschia reversa</i>	M
<i>Haslea wawriake</i>	M	<i>Nitzschia rostrata</i>	RM
<i>Helicotheca tamesis</i>	M	<i>Nitzschia sigma</i>	R
<i>Hemiaulus hauckii</i>	M	<i>Pinnunavis yarrensensis</i>	M
<i>Hemiaulus membranaceus</i>	M	<i>Pleurosigma affine</i>	RM
<i>Hemiaulus sinensis</i>	M	<i>Psammodiscus nitidus</i>	RM
<i>Hobaniella longicruris</i>	M	<i>Pseudictyota reticulata</i>	M
<i>Lauderia annulata</i>	M	<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>	RM
<i>Leptocylindrus danicus</i>	M	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	M

<i>Leptocylindrus minimus</i>	<i>M</i>	<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	<i>RM</i>
<i>Licmophora abbreviata</i>	<i>M</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	<i>M</i>
<i>Lyrella lyra</i>	<i>RM</i>	<i>Rhizosolenia acuminata</i>	<i>M</i>
<i>Manguinea fusiformis</i>	<i>R</i>	<i>Rhizosolenia setigera</i>	<i>M</i>
<i>Melosira</i> sp.	<i>M</i>	<i>Rhizosolenia styliformis</i>	<i>M</i>
<i>Navicula</i> sp2.	<i>RM</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>M</i>
<i>Navicula</i> sp3.	<i>RM</i>	<i>Surirella</i> sp.	<i>RM</i>
<i>Navicula</i> sp4.	<i>RM</i>	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	<i>M</i>
Diatomeas			
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>M</i>	<i>Thalassiothrix mediterranea</i>	<i>RM</i>
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	<i>M</i>	<i>Trieres regia</i>	<i>M</i>
<i>Thalassiosira hyalina</i>	<i>M</i>		
Dinoflagelados			
<i>Alexandrium tamarense</i>	<i>M</i>	<i>Prorocentrum gracile</i>	<i>M</i>
<i>Amphidinium schroederi</i>	<i>R</i>	<i>Prorocentrum lima</i>	<i>M</i>
<i>Ceratocorys horrida</i>	<i>M</i>	<i>Prorocentrum micans</i>	<i>M</i>
<i>Coolia monotis</i>	<i>M</i>	<i>Protoperidinium acutum</i>	<i>M</i>
<i>Dinophysis acuminata</i>	<i>M</i>	<i>Protoperidinium conicum</i>	<i>M</i>
<i>Dinophysis caudata</i>	<i>M</i>	<i>Protoperidinium depressum</i>	<i>M</i>
<i>Diplopsalis lenticula</i>	<i>RM</i>	<i>Protoperidinium hirobis</i>	<i>M</i>
<i>Gonyaulax digitalis</i>	<i>M</i>	<i>Protoperidinium nudum</i>	<i>M</i>
<i>Gymnodinium</i> sp.	<i>M</i>	<i>Protoperidinium oblongum</i>	<i>M</i>
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	<i>M</i>	<i>Protoperidinium pentagonum</i>	<i>M</i>
<i>Gyrodinium</i> sp	<i>M</i>	<i>Protoperidinium pyriforme</i>	<i>M</i>
<i>Noctiluca scintillans</i>	<i>M</i>	<i>Pyrocystis robusta</i>	<i>M</i>
<i>Ornithocercus magnificus</i>	<i>M</i>	<i>Pyrophacus horologium</i>	<i>M</i>
<i>Ornithocercus quadratus</i>	<i>M</i>	<i>Scrippsiella acuminata</i>	<i>M</i>
<i>Ostreopsis siamensis</i>	<i>M</i>	<i>Triadinium polyedricum</i>	<i>M</i>
<i>Phalacroma</i> sp.	<i>M</i>	<i>Tripes concilians</i>	<i>M</i>
<i>Phalacroma favus</i>	<i>M</i>	<i>Tripes dens</i>	<i>M</i>
<i>Prorocentrum dentatum</i>	<i>M</i>	<i>Tripes furca</i>	<i>M</i>
Dinoflagelados			
<i>Tripes fusus</i>	<i>RM</i>	<i>Tripes massiliensis</i>	<i>M</i>
<i>Tripes horridus</i>	<i>M</i>	<i>Tripes pentagonus</i>	<i>M</i>
<i>Tripes karstenii</i>	<i>M</i>	<i>Tripes symmetricus</i>	<i>M</i>
<i>Tripes lineatus</i>	<i>M</i>	<i>Tripes tripes</i>	<i>M</i>

Clorofitas			
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	<i>R</i>	<i>Tetradesmus obliquus</i>	<i>R</i>
<i>Closterium kuetzingii</i>	<i>M</i>		
Euglenofitas			
<i>Euglena</i> spp.	<i>R</i>	<i>Mastigophora</i> sp.	<i>M</i>
<i>Eutreptiella gymnastica</i>	<i>RM</i>		
Cianobacterias			
<i>Anabaena</i> sp.	<i>R</i>	<i>Oscillatoria planctonica</i>	<i>R</i>
<i>Limnorphis birgei</i>	<i>RM</i>	<i>Trichodesmium thiebautii</i>	<i>RM</i>
<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>M</i>		
Flagelado			
<i>Chattonella marina</i>	<i>M</i>		

Ambiente: M = marino; R = río; RM = ambos ambientes.