

## VARIACIÓN A CORTO PLAZO DEL FITOPLANCTON EN LA BAHÍA DE TURPIALITO, GOLFO DE CARIACO, VENEZUELA, DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS

ASDRÚBAL CALVO-TRUJILLO<sup>1\*</sup>, JOSÉ RAFAEL DIAZ-RAMOS<sup>2</sup>, SONIA SUBERO-PINO<sup>1</sup>, LINA CHARZEDDINE-CHARZEDDINE<sup>2</sup>, KARLA RINCONES-REYES<sup>2</sup>, LUIS TROCCOLI-GHINAGLIA<sup>3</sup>, MIKEL ELGUEZABAL-MÉNDEZ<sup>1</sup>, BAUMAR MARÍN<sup>2</sup> & BRIGHTDOOM MÁRQUEZ<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>*Departamento de Biología, Esc. de Ciencias, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela. calvo\_a@hotmail.com.*

<sup>2</sup>*Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.*

<sup>3</sup>*Instituto de Investigaciones Científicas, Universidad de Oriente. Boca de Río, Isla de Margarita, Venezuela.*

**RESUMEN:** Se estudió la variación a corto plazo del fitoplancton en la Bahía de Turpialito. Se midió velocidad del viento, salinidad, temperatura del agua, concentración de nutrientes y clorofila *a* (clor. *a*), y abundancia del fitoplancton a 0 y 6 m cada seis horas del 24 al 31/07/2010. La velocidad del viento (0-13 m s<sup>-1</sup>), la salinidad (30-35,6) y la temperatura (22,8-29°C) sólo mostraron diferencias horarias significativas. Los nutrientes generalmente variaron diariamente (promedios de 0,89; 0,03; 0,84; 0,06; y 3,66 imol L<sup>-1</sup> para amonio, nitrito, nitrato, fosfato y silicato, respectivamente), lo que indica que su fuente no es constante. La concentración de clor *a* (0,11 – 0,96 mg m<sup>-3</sup>) y la abundancia microalgal (0,26 – 3,28 X 10<sup>3</sup> cel. ml<sup>-1</sup>) sólo variaron diariamente de manera significativa. Este resultado indicó que las fluctuaciones diarias de las variables ambientales afectaron al fitoplancton. Se identificaron un total de 80 especies. Los dinoflagelados (46 taxones) fue el grupo más diverso. Las especies que dominaron la comunidad fueron *Ceratium kofoidii* (Jorgensen), *Prorocentrum micans* (Ehrenberg), *Scropsiella* sp. (dinoflagelados), *Navicula* sp.1 (diatomea) y *Oscillatoria* sp. (cianobacteria). Por otra parte, el ACP mostró una correlación positiva entre las concentraciones de amonio, silicato y clorofila e inversa con las concentraciones de fosfato. Esto sugiere una entrada constante de amonio y silicato y un suministro puntual o irregular de fosfato. En el otro componente, la velocidad del viento, la temperatura, la concentración de nitrito y la diversidad mostraron una correlación positiva entre ellas. Un aumento de la intensidad del viento haría que la columna de agua sea uniforme térmicamente y que la diversidad se incremente. Los resultados sugieren que aún en la bahía de Turpialito en la época de lluvia, la comunidad fitoplanctonica fue dominada por formas flageladas y cambió en un periodo inferior a una semana.

Palabras clave: aguas neríticas tropicales, microalgas marinas, ecología del plancton, Mar Caribe.

**ABSTRACT:** Short term variations in phytoplankton in Turpialito Bay were studied. Wind velocity, salinity, temperature, nutrient concentration, and phytoplankton biomass were determined at 0 and 6 m every six hours from the 07/24<sup>th</sup> to the 07/31<sup>st</sup>/2010. Wind velocity (0-13 m s<sup>-1</sup>), salinity (30-35.6) and temperature (22.8-29°C) only showed significant differences with respect to sampling time. Nutrient concentrations varied daily (averages of 0.89, 0.03, 0.84, 0.06, and 3.66 imol L<sup>-1</sup> for ammonia, nitrite, nitrate, phosphate and silicate, respectively), which indicated that their source is not constant. Concentration of chlorophyll *a* (chlor *a*; 0.11 – 0.96 mg m<sup>-3</sup>), and microalgal abundance (0,26 – 3,28 X 10<sup>3</sup> cel. ml<sup>-1</sup>) varied significantly with respect sampling day. This result indicated that the daily fluctuations in environmental variables did affect the phytoplankton. A total of 80 species were identified. Dinoflagellates (46 taxa) were the most diverse group. The community was dominated by: *Ceratium kofoidii* (Jorgesen), *Prorocentrum micans* (Ehrenberg), *Scropsiella* sp. (dinoflagellates), *Navicula* sp.1 (diatom), *Oscillatoria* sp. (cyanobacteria). On the other hand, the PCA showed a positive correlation among the concentrations of ammonia, silicate and chlor *a*. These variables exhibited a negative correlation with phosphate concentration. This fact suggests a constant supply of ammonia and silicate and a puntual or irregular supply of phosphate. In the other component, wind velocity, temperature, nitrite concentration and diversity correlated positively among themselves. An increase of wind velocity in shallow waters would result in a thermally uniform water column and a higher diversity. The results suggest that in Turpialito Bay during the rainy season, the phytoplankton community changes in periods shorter than one week.

Key words: tropical neritic waters, plankton ecology, marine microalgae, Caribbean Sea.

## INTRODUCCIÓN

La abundancia, biomasa y distribución vertical del fitoplancton en la columna de agua es afectada por diversos factores físicos (turbulencia, iluminación, entre otros), químicos (concentración de nutrientes) y biológicos (pastoreo por parte del zooplancton, ataques virales, competencia intra e interespecífica) que ocurren a diferentes escalas de tiempo y promueven las sucesiones ecológicas (SALAZAR-GÓMEZ *et al.* 2011). Estos eventos son fundamentales en la dinámica de los ecosistemas y se manifiestan claramente en los cambios de dominancia de ciertas formas biológicas y tamaños celulares en el seno de la comunidad fitoplanctónica (RODRÍGUEZ, 2005).

Hasta el presente, la mayoría de los estudios realizados sobre el fitoplancton en aguas venezolanas comprenden frecuencias muestrales que varían de dos a cuatro semanas. A escalas de tiempo menores a una semana se conocen los trabajos de DÍAZ-RAMOS & FERRAZ-REYES (1988), GONZÁLEZ *et al.* (2006), RIVAS-ROJAS *et al.* (2007) y SALAZAR-GÓMEZ *et al.* (2011). Estos autores reportaron cambios diarios y mensuales en las variables físicas, químicas y biológicas. Además, los últimos autores señalaron que en la Bahía de Mochima, la concentración de nutrientes varió significativamente con respecto a los días, e indicaron que la marea influyó sobre estas variables en particular, así como también sobre las concentraciones de nitrito y fosfato. Por otro lado, la biomasa fitoplanctónica presentó variaciones diarias y verticales significativas, señalando que existen numerosos mecanismos que pueden causar variabilidad de la biomasa fitoplanctónica a corto plazo. Finalmente, PRIETO *et al.* (2005) en la bahía de Turpialito, reportaron que los máximos valores de clorofila medidos en julio y agosto correspondieron con las mayores abundancias fitoplanctónicas en ese estudio. El empleo de frecuencias de muestreo superiores a una semana puede enmascarar la variabilidad real de la composición y abundancia de organismos en un estudio; por tal motivo, en la presente investigación, se estudió la variación a corto plazo (< 24 hrs) del fitoplancton en la Estación Hidrobiológica de Turpialito, estado Sucre, durante el periodo de lluvias.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La Bahía de Turpialito se encuentra a 10° 27' 30'' Lat. N y 64° 02' 40'' Long. W en el sureste del golfo de Cariaco-Venezuela. La Bahía presenta una profundidad máxima de

8 m y está expuesta a los vientos del noreste (NE), los cuales ejercen su acción más importante durante los primeros meses del año, cuando se origina la surgencia de aguas subsuperficiales (NÚÑEZ *et al.* 2006).

Los muestreos se realizaron en la Estación Hidrobiológica de Turpialito, adscrita al Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, cada seis horas (04:00, 10:00, 16:00 y 22:00 hrs) entre el 24 y el 31 de julio de 2010. La amplitud mareal se midió con una vara mareal. Las muestras de agua fueron extraídas a 0 y 6 m de profundidad con mangueras conectadas a una bomba de diafragma (SHURflo 2088). La salinidad y temperatura del agua se determinaron con una sonda multiparamétrica (Jenway 4200) y la velocidad del viento con una estación meteorológica portátil (DAVIS PRO).

Las muestras utilizadas para las determinaciones de nutrientes y pigmentos (clorofila *a* y feopigmentos), se guardaron en botellas de polietileno y se mantuvieron en el congelador. Las concentraciones de amonio, nitrito y fosfato, se determinaron de acuerdo a lo señalado por SALAZAR-GÓMEZ *et al.* (2011). Las concentraciones de nitrato, silicato y pigmentos, se midieron según los métodos descritos en PARSONS *et al.* (1984).

Por otra parte, las muestras para establecer la abundancia microalgal se tomaron en botellas plásticas (250 ml) y se fijaron con formalina al 4% neutralizada con hexametilentetramina. La cuantificación se realizó según el método de sedimentación de UTHERMÖHL (1958), empleando columnas de 50 ml, posteriormente se les agregó gotas de lugol para facilitar la sedimentación de las células. Las microalgas fueron identificadas utilizando los trabajos de THOMAS (1996), BERARD-THERIAULT *et al.* (1999), entre otros. Mientras que la diversidad de las especies ( $H'$ ) se calculó con el Índice de SHANNON-WIENER (1949). Se establecieron tres categorías generales con las frecuencias totales muestrales para caracterizar los taxones: 1. Muy frecuentes (MF) del 50 al 100%; 2. Frecuentes (F) del 10 al 50% y 3. Raras (R) del 0 al 10%. A las especies presentes en los dos primeros grupos se consideraron como especies “residentes” mientras que a las especies raras se les considerará como “accidentales”. Debido a la dificultad para identificar las formas flageladas con un tamaño inferior a 20  $\mu\text{m}$ , estas fueron asignadas al grupo de los nanoflagelados. Las divisiones con menos de cinco representantes conformaron el grupo “Otros”.

Las diferencias temporales y verticales de las variables se estimaron con un análisis de variancia no paramétrico propuesto por Kruskal-Wallis (BOYER *et al.* 1997), luego de comprobar que los datos no presentaron una distribución normal. Las posibles relaciones entre las variables se determinaron con un Análisis de Componentes Principales (ACP) a partir de una matriz de correlación múltiple (JOHNSON & WICHERN 1992).

## RESULTADOS

Durante el estudio, la intensidad del viento fue variable y predominó la dirección noreste (NE). El cielo tendió a permanecer despejado y solo llovió el primer día de muestreo en la tarde (16:00 hrs). El oleaje fue débil a excepción de los días 2, 5 y 6 por la tarde cuando aumentó su intensidad. La Tabla 1 contiene los estadísticos básicos de las variables estudiadas.

La velocidad del viento varió entre 0 y 13 m s<sup>-1</sup>. Los valores más bajos se registraron los días 4, 5 y 7 (04:00 hrs) y los más altos los días 5 y 6 (16:00 hrs). No se observaron diferencias significativas de esta variable con respecto a los días (KW= 13,28; p>0,05), pero si con respecto a las horas (KW= 19,2; p<0,05; Fig. 1A). La amplitud mareal máxima fue de 40 cm.

TABLA 1. Estadísticos básicos de las variables físico-químicas y biológicas medidas en la Estación Hidrobiológica de Turpialito, Edo Sucre, durante el periodo de lluvias (24-31/07/2010).

VARIABLE	N	Promedio	S	Mínimo	Máximo
Ampl. Mareal (cm)	52	22,96	8,24	-24	16
Vel. Viento (m s <sup>-1</sup> )	48	3,54	4,01	0	13
Salinidad	51	32,85	0,95	30	35,6
T_agua (°C)	53	25,08	1,44	22,8	29
N-NH <sub>4</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	52	0,89	0,70	0	3,39
N-NO <sub>2</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	54	0,03	0,06	0	0,4
N-NO <sub>3</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	54	0,84	0,46	0	2,08
P-PO <sub>4</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	54	0,06	0,07	0	0,32
SiO <sub>4</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	54	3,66	2,07	2,4	12,28
Clorofila <i>a</i> (mg m <sup>-3</sup> )	54	0,35	0,20	0,11	0,96
Feopigmentos (mg m <sup>-3</sup> )	54	0,20	0,17	0	0,65
Abund. total (cel. ml <sup>-1</sup> )	54	1392	596,40	259	3276
H' (bits ind <sup>-1</sup> )	54	1,65	0,67	0,24	2,95
Equidad	54	0,78	0,23	0,15	1

N: tamaño de la muestra; S: desviación estándar; T agua: temperatura del agua; H': diversidad de Shannon-Wiener.

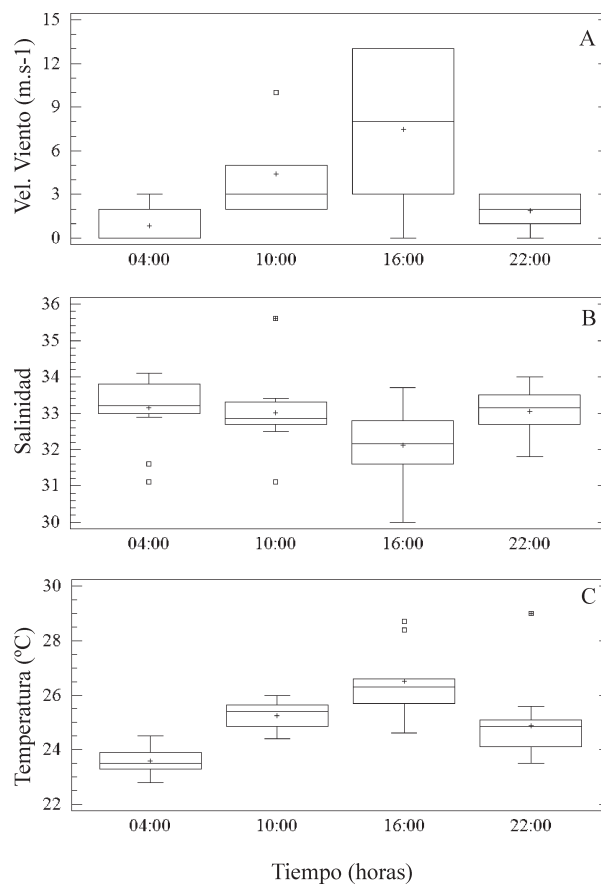


Fig. 1. Variación temporal de la velocidad del viento (m s<sup>-1</sup>; A), salinidad (B) y temperatura del agua (°C; C), en la Bahía de Turpialito, durante la época de lluvias (julio, 2010).

Al igual que la velocidad del viento, la salinidad (30-35,6) y la temperatura (22,8-29°C) sólo variaron significativamente de forma horaria (KW=10,43 y 35,47; respectivamente, p<0,05; Fig. 1B y C). La salinidad más baja (30) se detectó el día 5 (16:00 hrs) y la más alta (35,6) el día 2 (04:00 hrs), mientras que la temperatura más baja (22,8 °C) se registró el día 7 (04:00 hrs) y la más alta (29 °C) el primer día (16:00 hrs). Ambas variables no mostraron diferencias significativas con respecto a los días (KW=7,15 y 9,95; respectivamente, p>0,05) y las profundidades (KW=0,06 y 2,51; respectivamente, p>0,05).

Las concentraciones de amonio y nitrito oscilaron desde las no detectables (día 2, 10:00 hrs y día 1, 22:00 hrs, respectivamente) hasta valores máximos de 3,39 μmol l<sup>-1</sup>

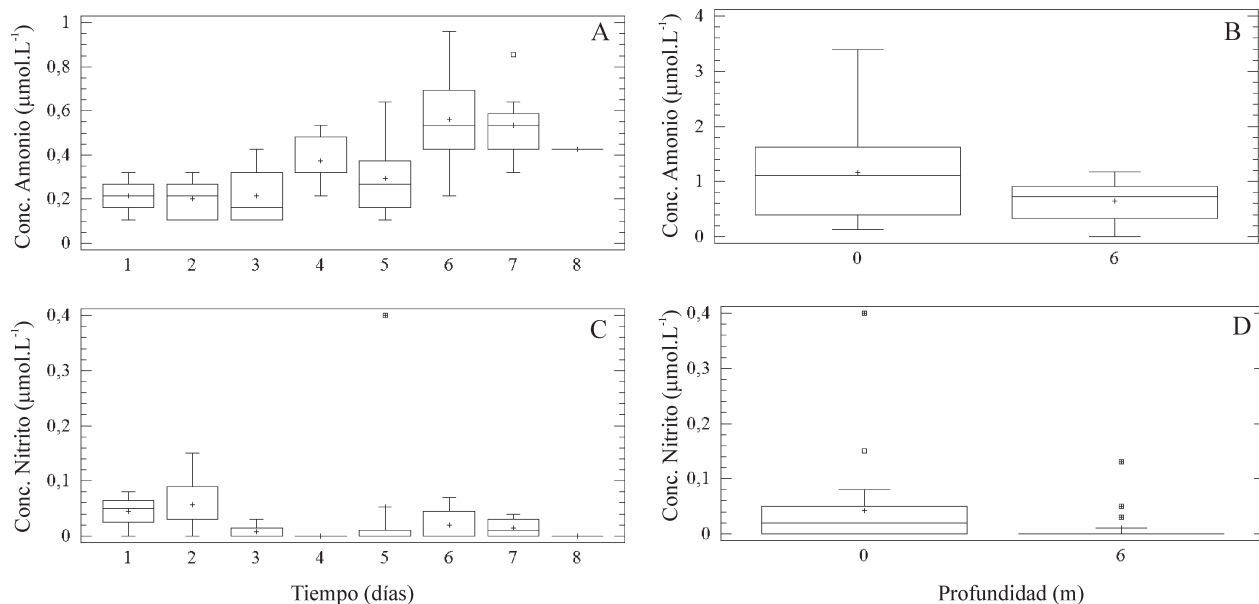


Fig. 2. Variación temporal y espacial de las concentraciones ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) de amonio (A y B) y de nitrito (C y D) en la Bahía de Turpialito, durante la época de lluvias (julio, 2010).

para el amonio (día 6, 16:00 hrs), y  $0,4 \mu\text{mol l}^{-1}$  para el nitrito (día 5, 10:00 hrs). Se observaron diferencias significativas con respecto a los días (KW=25,57 y 18,88; respectivamente,  $p < 0,05$ ; Fig. 2A y C) y a las profundidades muestreadas (KW= 4,03 y 8,51; respectivamente,  $p < 0,05$ ; Fig. 2B y D). Sin embargo, no se observaron diferencias horarias significativas (KW= 0,97 y 3,31; respectivamente  $p > 0,05$ ).

La concentración de nitrato varió desde valores no detectables (día 6, 10:00 hrs) hasta un valor máximo de  $2,08 \mu\text{mol l}^{-1}$  (día 1, 16:00 hrs). No se establecieron diferencias diarias u horarias significativas (KW= 7,22 y KW= 0,75; respectivamente,  $p > 0,05$ ) en la concentración de este nutriente, pero si se determinaron diferencias significativas con respecto a las profundidades estudiadas (KW= 8,23;  $p < 0,05$ ; Fig. 3A), obteniéndose la mayor concentración en superficie.

Las concentraciones de fosfato y silicato variaron desde valores no detectables (días 4, 5 y 6) para el fosfato y  $2,4 \mu\text{mol l}^{-1}$  (días 4 y 5, entre las 04:00 y 10:00 hrs) para el silicato, hasta valores máximos de  $0,32 \mu\text{mol l}^{-1}$  (día 3, 16:00 hrs) y  $12,28 \mu\text{mol l}^{-1}$  (día 6, 16:00 hrs), respectivamente. Las concentraciones de fosfato y silicato mostraron diferencias diarias significativas (KW= 35,29 y 33,71; respectivamente,

$p < 0,05$ . Fig. 3B y C), pero no se observaron diferencias significativas en cuanto a las horas (KW=0,27 y 2,01; respectivamente,  $p > 0,05$ ) y profundidades (KW=0,30 y 2,04;  $p > 0,05$ , respectivamente).

Por otra parte, la concentración de clorofila *a* osciló entre  $0,11$ - $0,96 \text{ mg m}^{-3}$  (Tabla 1). La concentración más baja ( $0,11 \text{ mg m}^{-3}$ ) se presentó el primer día y aumentó progresivamente hasta el día 6, cuando presentó la mayor concentración ( $0,96 \text{ mg m}^{-3}$ ), para posteriormente volver a disminuir hasta el final del estudio. Esta variable presentó diferencias significativas con respecto a los días (KW= 28,58;  $p < 0,05$ ; Fig.4A). Con relación a las horas y profundidades de muestreo, no se determinaron diferencias significativas (KW= 3,45 y 0,19; respectivamente;  $p > 0,05$ ). Los valores de la concentración de feopigmentos variaron desde no detectables (día 5, 16:00 hrs) hasta  $0,65 \text{ mg m}^{-3}$  (día 2, 16:00 hrs), ambos en la capa superficial. Esta variable no mostró diferencias significativas diarias, horarias ni espaciales (KW= 10,23; 0,69 y 0,07, respectivamente;  $p > 0,05$ ).

La abundancia total del fitoplancton presentó valores entre  $2,59$  y  $3,28 \times 10^3 \text{ cél ml}^{-1}$  (día 1, 16:00 hrs y día 6, 10:00 hrs, respectivamente), ambos valores medidos en la superficie. Se detectaron diferencias significativas diarias

Variación a corto plazo del fitoplancton en la bahía de Turpialito

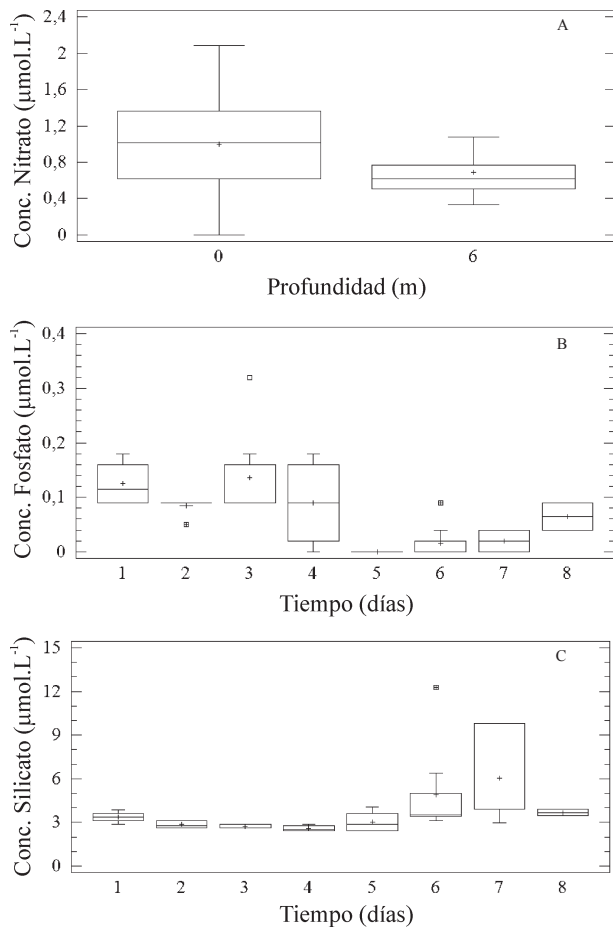


Fig.3. Variación espacial y temporal de las concentraciones ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) de nitrato (A), fosfato (B) y silicato (C) en la Bahía de Turpialito, durante la época de lluvias (julio, 2010).

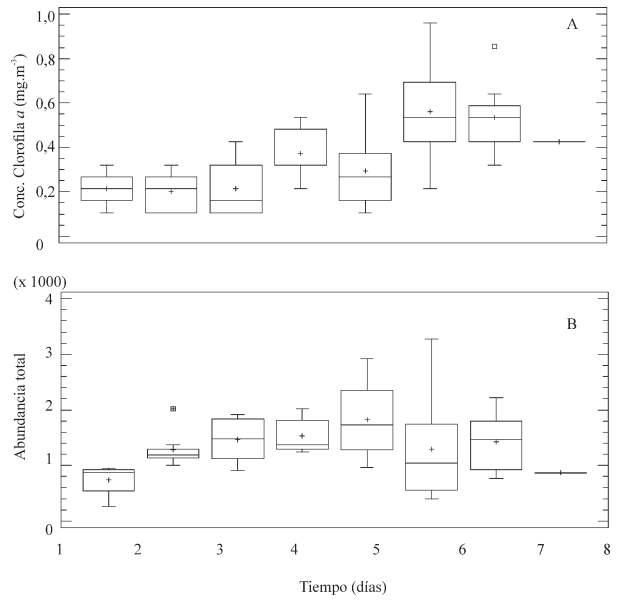


Fig. 4. Variación temporal de la concentración de clorofila *a* (A;  $\text{mg m}^{-3}$ ) y de la abundancia total (B;  $\text{cels ml}^{-1}$ ) en la Bahía de Turpialito, durante la época de lluvias

( $KW= 14,94$ ;  $p<0,05$ ; Fig. 4B), mientras que no se detectaron diferencias significativas con relación a las horas y a las profundidades de muestreo ( $KW= 1,39$  y  $0,58$ ;  $p>0,05$ ; respectivamente).

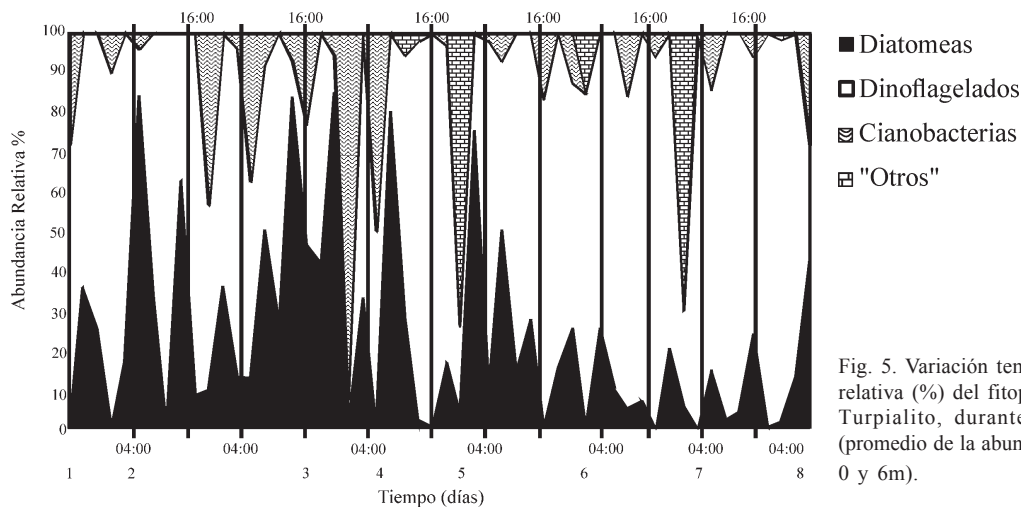


Fig. 5. Variación temporal de la abundancia relativa (%) del fitoplancton en la Bahía de Turpialito, durante la época de lluvias (promedio de la abundancia determinada para 0 y 6m).

Los nanoflagelados representaron más del 90% de los organismos cuantificados durante el muestreo. Por tal motivo, y para visualizar el comportamiento de los grupos restantes, no fueron incluidos en la Fig. 5. Al excluir los nanoflagelados, los dinoflagelados representaron más del 80% de los organismos el primer día de muestreo, luego fueron superados por las diatomeas (día 2, 04:00 hrs y día 3, 10:00 y 22:00 hrs); posteriormente, los dinoflagelados proliferaron desde el día 4 (10:00 hrs), hasta el final del muestreo. Los dinoflagelados y diatomeas fueron los organismos que dominaron durante el estudio (Fig. 5).

Se identificaron 80 especies: 24 diatomeas, 46 dinoflagelados, 6 cianobacterias y 4 “otros”. De los taxones identificados, 19 formaron parte de las especies residentes (Tabla 2). Las especies que dominaron la comunidad presentaron abundancia totales  $> 13$  céls  $\text{ml}^{-1}$  y una sumatoria de 175 céls  $\text{ml}^{-1}$  o 77% del total de individuos. Estos taxones fueron *Ceratium kofoidii* (Jørgensen) Gómez, Moreira et López-García, *Navicula* sp.1, *Oscillatoria* sp., *Prorocentrum micans* y *Scrippsiella* sp.

Por otro lado, la diversidad ( $H'$ ) presentó un valor mínimo de 0,24 bits.  $\text{ind}^{-1}$  (día 4, 04:00 hrs), mientras que el valor máximo fue de 2,95 bits.  $\text{ind}^{-1}$  (día 3, 04:00 hrs); por otra parte la equidad presentó un valor mínimo de 0,15 (día 4, 04:00 hrs) y valores máximos de 1 (días 6, 16:00 hrs y 8, 04:00 hrs). Ambas variables no presentaron diferencias significativas con respecto a los días (KW= 10,25 y 10,97; respectivamente,  $p > 0,05$ ), ni a las horas (KW= 3,26 y 1,54; respectivamente,  $p > 0,05$ ) ni a las profundidades de muestreo (KW= 0,01 y 1,38; respectivamente,  $p > 0,05$ ).

En relación al ACP, se demostró que los tres primeros componentes explicaron un 61% de la varianza total acumulada (Tabla 3). En el primer componente, la concentración de amonio, silicato y clorofila *a* mostraron una correlación positiva e inversa a la concentración de fosfato. En el segundo componente, se observó una correlación positiva entre la velocidad del viento, temperatura del agua, concentración de nitrito y diversidad. La abundancia total del microfitoplancton no se relacionó de forma significativa con ninguna de las variables estudiadas (Fig. 6).

Tabla 2. Lista de especies residentes representando una frecuencia mayor al 10% de las muestras identificadas en la Estación Hidrobiológica de Turpialito, durante la época de lluvias (24-31/07/2010).

Especies residentes	FA (%)	Abund. (cél $\text{ml}^{-1}$ )	Especies residentes	FA (%)	Abund. (cél $\text{ml}^{-1}$ )
<b>Diatomeas</b>			<i>Gonyaulax polygramma</i> Stein	13	2
<i>Diploneis</i> sp.	24	3	<i>Gonyaulax</i> sp.	11	2
<i>Navicula</i> sp.	11	2	<i>Gymnodinium</i> sp.	19	11
<i>Navicula</i> sp. 1	33	29	<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	81	43
<i>Navicula</i> sp. 4	11	2	<i>Prorocentrum scutellum</i> Schröder	15	2
<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Grunow	37	15	<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich		4
				19	
<i>Pseudonitzschia pseudodelicatissima</i> (Hasle) Hasle	15	2	<i>Scrippsiella</i> sp.	41	60
<i>Thalasionema nitzschiodes</i> (Grunow) Mereschkowsky			Dinoflagelado desnudo 1	17	1
	15	4			
<b>Dinoflagelados</b>			Dinoflagelado desnudo 2	13	1
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède & Lachman			<b>Cianobacterias</b>		
	17	3			
<i>Ceratium kofoidii</i> Jørgensen	56	15	<i>Oscillatoria</i> sp.	33	13

FA: frecuencia de aparición. Abund.: abundancia

Tabla 3. Porcentajes de varianza total explicada por los tres primeros componentes del Análisis de Componentes Principales (ACP) aplicados a las variables medidas en la estación Hidrobiológica de Turpialito, durante la época de lluvias (24-31/07/2010).

Nº de componente	Valor	% de varianza	% acumulado
1	2,30786	25,643	25,643
2	1,7134	19,038	44,681
3	1,46529	16,281	60,962

ser explicados por el hecho que la Estación Hidrobiológica esta ubicada en una zona poblada, la cual vierte el agua producto de la actividad humana directamente a la bahía, además de la escorrentía originada durante la época de lluvias. Esta condición ha sido reportada por RIVAS-ROJAS *et al.* (2007) en Playa San Luis y SALAZAR-GÓMEZ *et al.* (2011) en Mochima, ambos durante la época de calma. El aumento nocturno de la salinidad coincide con la disminución de la actividad antropogénica y posiblemente con la disminución de la descarga de aguas servidas, alcanzándose valores típicos del agua de mar a las 22:00

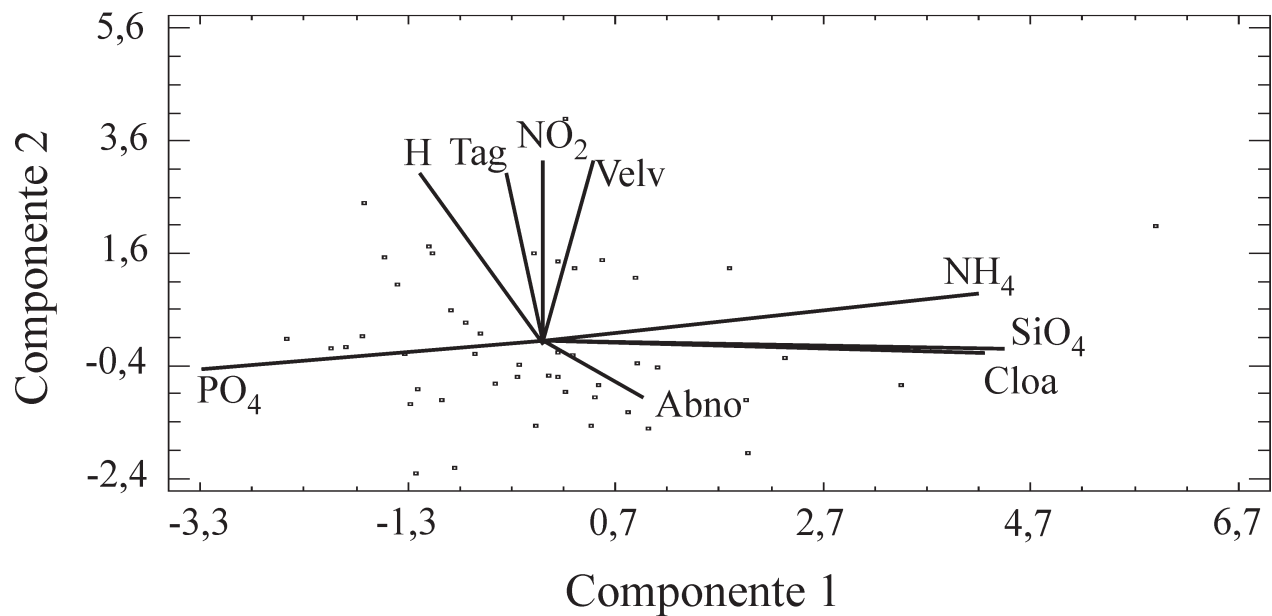


Fig.6. Proyección ortogonal de algunas variables fisicoquímicas y biológicas en el espacio definido por los dos primeros componentes del ACP en la Estación Hidrobiológica de Turpialito (24/31/07/2010). Velv., velocidad del viento; Tag: temperatura del agua; NH<sub>4</sub>: amonio; NO<sub>2</sub>, nitrito; PO<sub>4</sub>, fosfato; SiO<sub>4</sub>, silicato; Cloa, clorofila *a*; Abno, abundancia sin nanoflagelados; H, diversidad.

### DISCUSION

Las diferencias horarias para el nororiente del país fueron analizadas por TEREJOVA *et al.* (1998) quienes señalaron que las velocidades más bajas se registran en las primeras horas de la mañana y aumentan considerablemente en horas de la tarde para luego disminuir durante la noche, lo cual coincide con lo obtenido en este estudio. Estos cambios están relacionados con el calentamiento diario que experimenta el mar y las tierras aledañas (QUINTERO & TEREJOVA, 2010). Por otra parte, los bajos valores de salinidad medidos durante el día podrían

hrs. SALAZAR-GÓMEZ *et al.* (2011) detectaron un patrón diario similar en la bahía de Mochima y lo atribuyeron a los cambios diarios en las actividades de los pobladores que afectaban la descarga de agua de la laguna del lugar.

En cuanto a la temperatura, se detectó un comportamiento similar al del viento, los mayores registros de temperatura se midieron al final de la tarde, cuando la columna de agua comenzó a liberar el calor almacenado durante el día. En tal sentido QUINTERO *et al.* (2004), mencionaron que este es un comportamiento normal y se manifiesta tanto en la temporada de lluvias como de sequía.

La variación temporal de los nutrientes durante este estudio sugiere que la fuente de los mismos no es única o constante, es decir, la incorporación de estos elementos nutritivos a la columna de agua puede deberse a la escorrentía proveniente del continente (RIVAS-ROJAS *et al.* 2007), resuspensión de los sedimentos, a los procesos de pastoreo y excreción del zooplancton (BIDIGARE, 1983), entre otros. Sin embargo, la concentración de amonio y silicato estuvieron relacionados de manera significativa al primer componente del ACP, sugiriendo una fuente de ingreso similar, pudiendo ser esta el agua de escorrentía.

Las concentraciones de amonio mostraron valores mayores a  $3 \text{ } \mu\text{mol l}^{-1}$ , lo que indicó que las aguas de la bahía de Turpialito presentaron cierto grado de contaminación de acuerdo a lo establecido por SU *et al.* (2004). Por tanto, se puede inferir que la bahía recibió aguas enriquecidas con amonio proveniente de aguas de escorrentía o como aguas originadas de los pozos sépticos de las viviendas cercanas. RIVAS-ROJAS *et al.* (2007), quienes trabajaron en una zona cercana, aunque fuera del golfo de Cariaco, señalaron que en la época de lluvias, las aguas de escorrentía transportan gran cantidad de materia orgánica que se descompone y puede generar altas concentraciones de amonio. Adicionalmente, la liberación de amonio proveniente del pastoreo y excreción del zooplancton podría representar una fuente significativa de nitrógeno para la comunidad fitoplanctónica (BIDIGARE, 1983).

La concentración de nitrito presentó valores característicos para estas aguas (OKUDA *et al.* 1968; QUINTERO *et al.* 2004). El nitrito es un intermediario relativamente fugaz entre el nitrato y el amonio lo cual hace que su duración en el ambiente marino sea corta (SALAZAR-GÓMEZ *et al.* 2011).

En cuanto a la concentración de nitrato, se obtuvieron las mayores concentraciones en la superficie, siguiendo la tendencia antes expuesta en relación a la concentración de amonio y nitrito obtenidas a la misma profundidad. Ya que la parte superior de la columna de agua tiene una mayor interacción con la atmósfera que la hace más rica en oxígeno y por ende favorece la oxidación del amonio a nitrito y finalmente a nitrato (SALAZAR-GÓMEZ *et al.* 2011). También la escorrentía y las lluvias habrían aportado a las concentraciones de nitrato en superficie, dado que el agua dulce es menos densa que el agua de mar y permanece en esta zona hasta que se mezcle completamente.

La concentración de fosfato detectada en la Bahía de Turpialito fue más baja que la reportada por QUINTERO *et al.* (2004) y SALAZAR-GÓMEZ *et al.* (2011) en Mochima ( $1,86 \text{ } \mu\text{mol l}^{-1}$  y  $1,0 \text{ } \mu\text{mol l}^{-1}$ , respectivamente). A diferencia del resto de los nutrientes, la fuente de este nutriente pudo ser de naturaleza puntual, contenido en aguas servidas ricas en detergentes fosfatados (ESPINOSA-CARREÓN *et al.* 2001). Su concentración mostró una correlación negativa con la biomasa del fitoplancton, lo que sugiere la disminución en su concentración debido al consumo por parte del fitoplancton. Por otro lado, THOMAS (1969), sugiere que concentraciones de  $0,01 \text{ } \mu\text{mol l}^{-1}$  son suficientes para mantener el crecimiento fitoplanctónico; los valores de la concentración de este nutriente fueron superiores en este estudio, e indicaría que el fosfato no limitó el crecimiento fitoplanctónico.

Por otro lado, las diferencias diarias de silicato pudieron estar relacionadas con la variación en la cantidad de agua de escorrentía, más que por la asimilación de este nutriente por parte de los organismos fitoplanctónicos, debido a que las diatomeas fueron escasas. En los lugares donde este nutriente es abundante, este es el grupo fitoplanctónico dominante, ya que es capaz de asimilar los nutrientes más rápidamente que cualquier otro grupo de algas pelágicas (LIBES, 1992).

Las fluctuaciones diarias observadas en la biomasa fitoplanctónica pudieron ser consecuencia de la entrada irregular de nutrientes a la columna de agua; sin embargo, la concentración de *chl. a* estuvo relacionada con algunos nutrientes, pero fue inversa a la concentración de fosfato. En este aspecto, HARRISON *et al.* (1999), señalaron que la biomasa fitoplanctónica puede covariar en sentido inverso con los nutrientes. Esto sugiere que el fitoplancton durante su crecimiento, consumió el fosfato presente, coincidiendo con lo señalado por CALLIARI *et al.* (2005) y PIRELA-OCHOA *et al.* (2008).

RIVAS-ROJAS *et al.* (2007) en playa San Luís y PRIETO *et al.* (2005) en Turpialito, reportaron concentraciones de *chl. a* menores o iguales a  $4 \text{ mg m}^{-3}$  durante el período lluvioso, lo cual coincide con lo obtenido en este estudio. Existen numerosos mecanismos que pueden causar variabilidad a corto plazo de la biomasa fitoplanctónica y que pueden ser causantes de estos resultados, entre ellos se pueden mencionar la resuspensión inducida por el viento, el crecimiento diario, los ciclos de síntesis y destrucción, el pastoreo y las migraciones verticales

(CLOERN *et al.* 1989; SMAYDA 1998; BRUNET & LIZON 2003; TREBINI *et al.* 2005).

La ausencia de cambios significativos de las concentraciones de clorofila *a* con respecto a las horas, sugiere que la producción del pigmento no está sincronizada con el fotoperiodo. Además, la concentración de feopigmentos no varió temporal ni espacialmente, lo que indica que el fitoplancton se encontraba en fase de crecimiento activo y a que hubo una baja tasa de pastoreo del zooplancton. En tal sentido, MARGALEF (1980) y GONZÁLEZ *et al.* (2006), indicaron que los feopigmentos son el resultado de la destrucción de los pigmentos del fitoplancton por alta luminosidad, senescencia o depredación e indican el estado fisiológico de las algas.

Las variaciones diarias de la abundancia del fitoplancton podrían estar relacionadas con la acción ejercida por el viento, al cambio de la amplitud mareal o a las corrientes marinas en el área de estudio, factores que habrían causado la dispersión de los organismos fitoplanctónicos a áreas adyacentes. SOMMER (1998), señaló que los cambios temporales de la comunidad fitoplanctónica, bien sean diarios o semanales, serían el resultado de la dinámica de organismos predadores como zooplancton, peces entre otros; de igual forma a la influencia que tienen ciertas variables físicas sobre el desarrollo de estos individuos.

Los valores de abundancia fueron mayores que los señalados por PRIETO *et al.* (2005) en Turpialito y por RIVAS-ROJAS *et al.* (2007). Estos autores reportaron valores menores a 300 cél ml<sup>-1</sup> en Turpialito y entre 90 y 554 cél ml<sup>-1</sup> para playa San Luis, respectivamente. Además, los valores registrados en este estudio se encuentran en el intervalo notificado por SIMPSON & GRIFFITHS (1971) y FERRAZ-REYES *et al.* (1987) el Golfo de Cariaco durante la época de lluvias. Los cuales serían consecuencia de los pulsos de nutrientes ocasionados por las aguas de escorrentía que traen una variedad de materia desde las zonas adyacentes durante esta época.

La comunidad fitoplanctónica estuvo dominada por los flagelados (nanoflagelados y dinoflagelados) lo que indica que este grupo de organismos debe su capacidad de crecimiento a las características fisiológicas y morfológicas que poseen. Estas células presentan patrones de comportamiento migratorios que les permiten desplazarse de los lugares menos iluminados a lugares más iluminados

y viceversa, tanto vertical como horizontalmente (THOMAS, 1997). GÓMEZ-CARVAJAL *et al.* (2000) y RIVAS-ROJAS *et al.* (2007) encontraron resultados similares en playa San Luis y señalaron además, que este grupo tiene una mayor capacidad de asimilación de nutrientes y una baja tasa reproductiva en comparación con las diatomeas (MARGALEF, 1995). En este mismo sentido, es importante mencionar que los dinoflagelados tienden a encontrarse en aguas tranquilas o con procesos de mezcla de menor intensidad (THAMM *et al.* 2004).

Los dinoflagelados dominaron sobre las diatomeas como consecuencia de las condiciones hidrográficas y físicoquímicas imperantes en la zona (ESTRADA & BLASCO 1979). Dado que los dinoflagelados son de reproducción lenta, presentan diferencias metabólicas con las diatomeas, poseen en muchos casos nutrición heterótrofa, presentan un flagelo que les facilita la migración en la columna de agua y una estructura externa menos pesada que las diatomeas, lo que les permite sobrevivir y dominar en aguas estratificadas (FERRAZ-REYES *et al.* 1987; TAMJII, 2004).

En el caso de la diatomea *Navicula* sp., presentó su mayor abundancia cuando la velocidad del viento se incrementó. En tal sentido, FERRAZ-REYES (1983) en la Cuenca Tuy-Cariaco, FERRAZ-REYES *et al.* (1987) en Laguna Grande del Obispo y LA BARBERA-SÁNCHEZ *et al.* (1999) en el Golfo de Cariaco, señalaron que las diatomeas exhiben su mayor abundancia cuando la velocidad del viento es constante, generando turbulencia que permite a las diatomeas mantenerse suspendidas en la columna de agua.

La diversidad, equidad y velocidad del viento no variaron significativamente con respecto a los días, estas variables se relacionaron positivamente lo que indicó que la turbulencia generada por el viento reguló la permanencia en la columna de agua de un cierto número de especies. Los valores más bajos de diversidad y equidad se presentaron el mismo día y hora, lo que sugirió la dominancia de una o pocas especies. Durante el muestreo, el dinoflagelado *Scrippsiella* sp. (60 cél. ml<sup>-1</sup>) fue la especie que presentó la mayor abundancia. Además los cinco organismos más abundantes representaron 77% del total de individuos. Lo cual explica los bajos valores de diversidad presentados en este estudio. En tal sentido, SOURNIA (1978), señaló que la diversidad disminuye cuando los individuos de especies raras son sustituidos por individuos de especies que ya eran comunes.

La velocidad del viento, temperatura del agua, la concentración de nitrato y diversidad estuvieron estrechamente relacionadas; en este sentido, MARGALEF & GONZÁLEZ (1969), señalaron que la turbulencia puede aumentar la diversidad de las poblaciones fitoplanctónicas y una de sus manifestaciones sería una frecuente asociación de especies de un mismo género, que alcanzan su máxima tasa de multiplicación, asimismo homogeniza la temperatura del agua en zonas poco profundas y resuspende sedimentos debido a la turbidez que ocasiona.

Aun cuando RIVAS-ROJAS *et al.* (2007), QUINTERO & TEREJOVA (2010), y SALAZAR-GÓMEZ *et al.* (2011), han establecido que en la época de lluvias el viento cesa o es de baja intensidad, ocasionando la estabilidad de la columna de agua, se detectaron cambios diarios significativos en la concentración de clorofila *a* y en el fitoplancton en general. Así mismo, el crecimiento del fitoplancton estuvo relacionado con los cambios en las variables químicas, lo cual se deduce del hecho de que el fitoplancton variará de manera similar a las concentraciones de amonio, nitrato, fosfato y silicato. Esto demuestra que incluso durante esta época del año, los trabajos que implican frecuencias muestrales de una semana o más son insuficientes para explicar la dinámica de este grupo de organismos ya que la velocidad de crecimiento de las diatomeas, algunos dinoflagelados y cianobacterias puede resultar en cambios en la estructura de la comunidad en periodos menores a una semana.

#### AGRADECIMIENTOS

Al personal de la Estación Hidrobiológica de Turpialito - IOV - UDO, a Deudedith Hernández del Departamento de Oceanografía del IOV y a los estudiantes de Introducción a la Oceanografía Físico-química, II Semestre de 2009, por su colaboración en la realización de este trabajo.

#### REFERENCIAS

- BERARD-THERRIault, L., M. POULIN & L. BOSSE. 1999. *Guide d'identification du phytoplankton marin de l'estuarine et du golfe du saint-laurent*. CNRC. Ottawa, Canada. 387pp..
- BIDIGARE, R. 1983. Nitrogen excretion by marine zooplankton. En *Nitrogen in the marine environment*. Ed. E. Carpenter & D. Capone. Academic Press, New York. 385-409.
- BOYER, J., R. FOURQUREAN & R. JONES. 1997. Spatial characterization of the water quality in Florida Bay and White water Bay by multivariate analyses: Zones of similar influence. *Estuarine*. 20(4): 743-758.
- BRUNET, C. & F. LIZON. 2003. Tidal and diel periodicities of size-fractionated phytoplankton pigment signatures at an offshore station in the southeastern English Channel. *Est. Coast. Shelf. Sci.* 56: 833-843.
- CALLIARI, D, M. GÓMEZ & N. GÓMEZ. 2005. Biomass and composition of phytoplankton in the Río de la Plata: large-scale distribution and relationship with environmental variables during a spring cruise. *Cont. Shelf. Res.* 25: 197-210.
- CLOERN, J., T. POWELL & L. HUZZEY. 1989. Spatial and temporal variability in south San Francisco Bay (USA). II. Temporal changes in salinity, suspended sediments, and phytoplankton biomass and productivity over tidal time scales. *Est. Coast. Shelf. Sci.* 28: 599-613.
- DÍAZ-RAMOS, J. & E. FERRAZ-REYES. 1988. Dinámica de algunos parámetros hidrográficos y biológicos del canal de entrada de la Laguna de los Patos, Cumaná, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 28(1-2): 239-244.
- ESPINOSA-CARREÓN, T., G. GAXIOLA-CASTRO, J. ROBLES-PACHECO & S. NAJERA-MARTÍNEZ. 2001. Temperatura, salinidad, nutrientes y clorofila *a* en aguas costeras de la ensenada del sur de Baja California. *Cien. Mar.* 27(3):396-422.
- ESTRADA, M. & D. BLASCO. 1979. Two phases of the phytoplankton community in the Baja California upwelling. *Limnol. Oceanogr.* 24: 1065-1080.
- FERRAZ-REYES, E. 1983. Estudio del fitoplancton en la Cuenca Tuy-Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 22(1-2): 111-124.
- FERRAZ-REYES, E., E. MANDELLI & G. REYES. 1987. Fitoplancton de La Laguna Grande del Obispo, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 26(1-2): 111-124.

- GÓMEZ-CARVAJAL, E., J. DÍAZ & I. SÁNCHEZ. 2000. Abundancia y biomasa del fitoplancton de la playa San Luis, Cumaná, Venezuela (Junio 1995-Mayo 1996). *Ciencia*. 8(1):41-52.
- GONZÁLEZ, F, E. ZOPPI & E. MONTIEL. 2006. Productividad primaria del fitoplancton en la Bahía de Mochima, Venezuela. *Invest. Mar. Valparaíso*. 34 (2): 37-45.
- HARRISON, W, T. PLATT, B. PETRIE & S. SATHYENDRANATH, 1999. Variability in phytoplankton biomass on the Scotian Shelf as viewed from space: Imagery from the CZCS Ocean Color Sensor (1978-1986) and SeaWiKW (1997-present). *Rem. Sens. Microbiol. Ecol.* 22: 485-499.
- JOHNSON, R. & D. WICHERN. 1992. *Applied multivariate statistical analysis*. 3<sup>rd</sup> ed. Prentice-Hall Int. New York, USA. 642 pp.
- LA BARBERA-SÁNCHEZ, A., J. GAMBOA & W. SENIOR. 1999. Fitoplancton del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 47(1): 57-63.
- LIBES, S. 1992. *An introduction to marine biogeochemistry*, John Wiley & Sons, Inc. 289 pp.
- MARGALEF, R. & F. GONZÁLEZ. 1969. Grupos de Especies Asociadas en el Fitoplancton del Mar Caribe (NE de Venezuela). *Inv. Pesq.* 33(1): 287–312.
- MARGALEF, R. 1980. Ecología. Editorial Omega. Barcelona, España. 951 pp.
- \_\_\_\_\_. 1995. Fitoplancton del NW del Mediterráneo (Mar Catalan) en junio de 1993, y factores que condicionan su producción y distribución. *Mem. Real Acad. Cienc. Art. Barcelona*. 55: 1-56.
- NÚÑEZ, P., C. LODEIROS, V. ACOSTA & I. CASTILLO. 2006. Captación de semilla de moluscos bivalvos en diferentes sustratos artificiales en la Ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela. *Zool. Trop.* 24(4): 483-496.
- OKUDA, T., J. BENÍTEZ, J. GARCÍA & E. FERNÁNDEZ. 1968. Condiciones hidrográficas y químicas de la Bahía de Mochima y la Laguna Grande del Obispo desde 1964 a 1966. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 7: 7-37.
- PARSONS, T., Y. MAITA & C. LALLY. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods of Seawater Analysis*. Pergamon Press. Oxford. 173 pp.
- PIRELA-OCHOA, E., L. TROCCOLI & I. HERNÁNDEZ-AVILA. 2008. Hidrografía y cambios en la comunidad del fitoplancton en la Bahía de Charagato, Isla de Cubagua, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 47(1): 3-16.
- PRIETO, A., G. ESTRELLA, M. NUÑES, L. FREITES & N. NARVÁEZ. 2005. Producción secundaria de *Nodipectenus nodosus* (Linneo, 1758) cultivado en dos sitios con condiciones ambientales diferentes. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 44(2): 123-132.
- QUINTERO, A., J. BONILLA, L. SERRANO, M. AMARO, B. RODRÍGUEZ, G. TEREJOVA & Y. FIGUEROA. 2004. Características ambientales de la bahía de Mochima y adyacencias de la cuenca de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 43:(1-2): 49-64.
- \_\_\_\_\_. & G. TEREJOVA. 2010. Brisas de mar y tierra al norte de la península de Araya, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 49(1): 41-52.
- RIVAS-ROJAS, T., J. DÍAZ-RAMOS, L. TROCCOLI-GHINAGLIA, L. CHARZEDDINE, S. SUBERO-PINO & A. MÁRQUEZ. 2007. Variación diaria de algunas variables físico-químicas y de la biomasa del fitoplancton en una playa tropical, Cumaná, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 46:13-21.
- RODRÍGUEZ, J. 2005. La estructura de tamaños del plancton: un tópico interdisciplinar y Margalefiano. *Asociación Española de Ecología Terrestre. Ecosistemas* 14(1): 40-51.
- SALAZAR-GÓMEZ, Y., J. DÍAZ-RAMOS, K. RINCONES-REYES, L. CHARZEDDINE-CHARZEDDINE, S. SUBERO-PINO, L. TROCCOLI-GHINAGLIA, B. MÁRQUEZ, B. MARÍN, A. MÁRQUEZ & D. HERNÁNDEZ. 2011. Cambios diarios de la biomasa fitoplanctónica en la bahía de Mochima, Venezuela, durante la época de lluvias. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 50(1): 69-77.
- SHANNON, C. & W. WIENER. 1949. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana. 117pp.

- SIMPSON, J. & R. GRIFFITHS. 1971. Afloramiento y producción biológica en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Ser. Explot. Pesq.* 2: 3-16.
- SMAYDA, T. 1998. Patterns of variability characterizing marine phytoplankton, with examples from Narragansett Bay. *ICES J. Mar. Sci.* 55: 562-573.
- SOMMER, U. 1998. Silicate and the functional geometry of marine phytoplankton. *J. Plank. Res.* 20(9): 1853-1958.
- SOURNIA, A. (ed.) 1978. Phytoplankton Manual. SCOR-UNESCO. 337 pp.
- SU, H., H. LIN & J. HUN. 2004. Effects of tidal flushing on phytoplankton in a eutrophic tropical lagoon in Taiwan. *Est. Cost. Shelf. Sci.* 61:739-750.
- TAMIMI, G. 2004. Pulsed nutrient supply as a factor inducing phytoplankton diversity. *Ecol. Mod.* 171: 247-270.
- TEREJOVA, G., A. QUINTERO & A. PIÑERO. 1998. Descripción de las características climáticas de Carúpano, estado Sucre (Venezuela). *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 37(1 & 2):43-52.
- THAMM, R., G. SCHERNEWSKI, N. WASMUND, & T. NEUMANN, T. 2004. Spatial phytoplankton pattern in the Baltic Sea. *Coast. Rep.* 4: 85 – 109.
- THOMAS, W. 1969. Phytoplankton nutrients in enrichment of Baja California and in the Easter Equatorial Pacific Ocean. *J. Fish. Res. Canada* 26: 1113-1145.
- THOMAS, C. 1997. *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press. New York, USA. 808 pp.
- TREBINI, F., B. PADEDDA, G. CECCHERELLI, A. LUGLIÈ & N. SECHI. 2005. Changes of nutrient concentrations and phytoplankton communities after morphological modification in the S'Ena Arrubia Lagoon (Central-Western Sardinia). *Chem. Ecol.* 21(6): 491-502.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommung der quantitativen phytoplankton methodig. *Mitt. Verein. Theor. Argiew. Limnol.* 9: 1-38.

RECIBIDO: Agosto 2014

ACEPTADO: Mayo 2015