



REVISTA DERROTERO

Oceanografía

Comunidades Microplanctónicas en Inmediaciones de el Varadero, Bahía de Cartagena, Caribe Colombiano¹

Microplanktonic Communities Near el Varadero, Cartagena Bay, Caribbean Coast of Colombia

Recibido: 18/02/2022
Aprobado: 14/04/2022

Correspondencia: ivan.ruiz@armada.mil.co
juan.suarez.m@armada.mil.co
brayanospina12@hotmail.es
andres.moreno@armada.mil.co
mabel.mendoza@enap.edu.co

Iván Darío Ruíz Ordoñez²
Juan Camilo Suárez Montes³
Brayan Arley Ospina Becerra⁴
Andrés Santiago Moreno García⁵
Mabel Sofía Mendoza Rivera⁶

Resumen

Con el propósito de conocer la composición y variación de las comunidades microplanctónicas dentro la capa turbia que sigue el canal de El Dique en su paso hacia la isla de Tierrabomba, se evaluaron tanto fitoplancton como zooplancton en un ciclo diurno sobre el sector el Varadero, Bahía de Cartagena. Se realizaron arrastres horizontales en tres estaciones con red de 40 y 80 micras de ojo de malla, para fitoplancton y zooplancton respectivamente, entre las 10:00 y las 13:00. En paralelo, entre las 10:00 y las 11:00 se tomaron variables fisicoquímicas de transparencia, turbidez, salinidad, temperatura, radiación fotosintéticamente activa, y sólidos suspendidos totales, así como clorofila-a. En la comunidad fitoplanctónica, se identificaron un total de 31 géneros, siendo *Melosira*, *Skeletonema*, *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros* y *Thalassionema*, los más abundantes. Dentro de la comunidad zooplanctónica se distingue la presencia de *Tintinnopsis tocantinensis*, *Leptotrintinnus nordqvistii*, y

1 Esta investigación fue apoyada por la Armada de Colombia a través de MINCIENCIAS en el marco del proyecto 75916 - "Influencia de los factores abióticos en inmediaciones del arrecife de coral de El Varadero, bahía de Cartagena de Indias", liderado por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) y la Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla". Los autores expresan sus agradecimientos a los investigadores Luis de la Hoz, Camilo Platz, Daniela Rojas y Christian Bermúdez por sus valiosos aportes.

2 Oceanógrafo físico. Escuela de guardacostas. Cartagena. Colombia.

3 Oceanógrafo físico. Unidad de Guardacostas. Barranquilla. Colombia.

4 Oceanógrafo físico. Escuela de Guardacostas.

5 Oceanógrafo físico. Escuela de Guardacostas.

6 Magister en Oceanografía. Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla.



Eutintinnus sp. La comunidad microfitoplanctónica se encontró limitada en los 0.5 y 2 m de profundidad con valores de radiación fotosintéticamente activa inferiores a $30 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} / \text{mV}$ frente a la desembocadura y máximos de $2400 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} / \text{mV}$ en el sector más externo del sector El Varadero respectivamente.

Palabras Claves: El Varadero, microplancton, variables fisicoquímicas, Bahía de Cartagena.

Abstract

With the aim to know the composition and variation of the microplanktonic communities within the turbid layer that follows the El Dique channel on its way to Tierrabomba Island, both phytoplankton and zooplankton were estimated in a diurnal cycle over El Varadero sector, Cartagena Bay. Horizontal trawls were made at three stations with 40- and 80-micron mesh size nets for phytoplankton and zooplankton, respectively, between 10:00 and 13:00 hours. In parallel, physicochemical variables of transparency, turbidity, salinity, temperature, photosynthetically active radiation, and total suspended solids, as well as chlorophyll a, between 10:00 and 11:00 hours. A total of 31 genera were identified in the phytoplankton community, with *Melosira*, *Skeletonema*, *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros* and *Thalassionema* being the most abundant. Within the zooplankton community, the presence of *Tintinnopsis tocantinensis*, *Leptotrintinnus nordqvistii*, and *Eutintinnus* sp. Respect to the microphytoplankton community, it was distributed within 0.5 and 2 m depth, with PAR values below $30 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} / \text{mV}$ in front of the mouth and maximums of $2400 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} / \text{mV}$ in the outermost sector of El Varadero, respectively.

Keywords: El Varadero, microplancton, physicochemical variables, Cartagena Bay

Introducción

La bahía de Cartagena presentó un cambio general en sus condiciones bióticas y abióticas desde que se dio la reapertura del Canal del Dique en 1984, un canal realizado en la época colonial por los españoles para conectar la bahía con el río Magdalena, y que, desde entonces, como ahora, ha sido una ruta fluvial para el transporte de mercancías (Mogollón, 2019). En la actualidad este canal ha generado cambios sustanciales en la calidad del agua, transformando la bahía marino costero en un sistema estuarino y eutrófico (Ricaurte-Villota et al., 2015). Se ha estimado que el caudal del Canal del Dique fluctúa entre 55 m³/s en la época seca hasta 250 m³/s en la época de lluvias (Franco-Arias et al., 2013, Tuchkovenko & Lonin, 2003). Además, se han observado graves perturbaciones en los ecosistemas coralinos del área y otros lugares como las islas del Rosario, ubicados a 24 km de distancia de la ciudad, particularmente afectados por la baja salinidad y alta turbidez (Castro & Pereira, 2016). La pluma turbia ha afectado ampliamente la calidad del agua, causando una degradación de la fauna, producto de la reducción de la salinidad y el aumento de los sólidos suspendidos. Esa perturbación se ha visto reflejada en disminución de la diversidad, por la presencia de especies tolerantes y oportunistas (Lonin et al., 2004, Alvarado-Ortega, 2001, Sanjuan-Muñoz et al., 199). No obstante, frente al canal de acceso a la bahía por el sector de Bocachica se encuentra en buen estado de desarrollo el arrecife coralino de El Varadero (Pizarro et al., 2017), aún frente a las condiciones atípicas generadas por el Canal del Dique.

Lo anterior, constituye un paradigma por lo que surge la necesidad de conocer más a fondo el sector de El Varadero con el fin de comprender la alta adaptabilidad del arrecife coralino de esta zona. Entre las primeras características a considerar está evaluar la zona de radiación fotosintéticamente activa, (Photosynthetically Active Radiation - PAR) para estimar cómo es su variación, desde la desembocadura del Canal del Dique, hasta pasar frente a la isla de Tierrabomba donde se encuentra el ecosistema coralino. Teniendo en cuenta que los organismos planctónicos son indicadores de las condiciones ambientales (Raybaud et al., 2008) se realizó el muestreo de las comunidades del microplancton (fito y zoo) dentro de la pluma turbia del Canal del Dique en un día entre las 10:00 y las 15:00 horas, analizando su composición y abundancia dentro de esa capa que se desplaza en el sector sur de la bahía por influencia de este efluente.

Método

Se realizó una salida de campo el 06 de julio en tres estaciones denominadas E4, E8 y E9 establecidas frente a la desembocadura de la pluma turbia del Canal del Dique y en dirección hacia El Varadero (Figura 1). Se accedió a cada estación por medio de un GPS (Garmin Ltd.) (Tabla 1), y se realizaron tres tomas de muestra por estación entre las 10:00 y las 15:00 horas. En cada estación se realizó un arrastre horizontal manteniendo la red de fitoplancton (40 micras) y la red de zooplancton (80 micras), con ayuda de un lastre de 5 libras a una velocidad de 3 nudos y por espacio de un minuto dentro de la capa turbia. Después de lavar la red, se vertió el contenido del copo en frascos color ámbar y se fijaron con formalina al 4%. Para fitoplancton. Se realizó en laboratorio la homogeneización de las muestras antes de tomar alícuotas de 1 ml que se colocaron en placas Sedgewick Rafter.

Figura 1.

Estaciones de muestreo del sistema de monitoreo en el sector El Varadero, Bahía de Cartagena de Indias. Fuente: Google Earth (2021).



Nota: Los círculos rojos indican las estaciones donde se tomaron las muestras de las comunidades microplañctónicas.

Tabla 1.

Código y coordenadas de las estaciones de muestreo de las comunidades microplañctónicas.

Código Estación	GMS	
	Latitud	Longitud
E4	10°18'38.34" N	-75°32'9.36 W
E7	10°18'46.99" N	-75°34'7.39 W
E8	10°18'53.49" N	-75°35'6.29 W

La identificación se realizó a través de un microscopio óptico de luz, en aumento de 10x para el conteo y 40x para una clasificación mucho más detallada, identificando a nivel de género. La información se tabuló en una matriz para ser analizada en términos de presencia/ausencia y abundancia (cel ml⁻¹) (Tabla 2).

Tabla 2.

Matriz de abundancia (cel ml⁻¹) del microfitoplancton.

Clase	Código Estación	E4-10	E7-10	E8-10	E4-12	E7-12	E8-12	E4-14	E7-14	E8-14
	Género									
Cyanophyceae	Anabaena	6	7	11	16	3	3	1	2	
	Chroococcus						7	13	4	7
	Spirulina	2								

Clase	Código Estación	E4-10	E7-10	E8-10	E4-12	E7-12	E8-12	E4-14	E7-14	E8-14			
	Género												
Chlorophyceae	Desmodesmus	3											
	Dyctiocha	1											
	Pediastrum sp1.	2	7										
	Pediastrum sp2.	1											
	Staurostrum	2	1										
	Tetraedron	2											
Bacillariophyceae	Bacteriastrum	6											
	Chaetoceros	26	40	12	40	31	31	27	69	39			
	Coscinodiscus	12	27	7	20	3	22	8	17	8			
	Cylindrotheca	4											
	Grammatophora	2											
	Gyrosigma	1	1	5									
	Licmophora	5	7	6									
	Melosira	358	382	375	394	511	484	427	473	458			
	Navicula	2	1	2									
	Nitzschia	11	51	36	45	18	27	13	46	3			
	Odontella	1											
	Pleurosigma	2	4										
	Pseudo-nitzschia	156	216	184	207	237	189	126	98	102			
	Rhizosolenia	2	12	8	3								
	Skeletonema	352	371	387	382	409	428	401	343	376			
Thalassionema	16	11	31	39	47	40	33	49	20				
Dinophyceae	Ceratium	1	6	4									
	Dinophysis	2											
	Gonyaulax	21											
	Hermesinium	4											
	Protoperidinium	9	13	6	12	3	4	2	11	10			

Clase	Código Estación	E4-10	E7-10	E8-10	E4-12	E7-12	E8-12	E4-14	E7-14	E8-14
	Género									
Euglenophyceae	Euglena	1	4	4	5		8	6	9	3

Para la comunidad zooplanctónica se concentraron las muestras en tubos falcon de 50 ml, y después de 48 horas se extrajo el sobrenadante con una pipeta graduada, y se concentró de nuevo la muestra. Para observación en microscopio invertido (Olympus) se extrajo 1 ml de la muestra concentrada con pipeta Hensen-Stempel depositando en placa Sedgewick Rafter para conteo e identificación. La información se tabuló en una matriz expresando los resultados como total de organismos por volumen (org m-3) (Tabla 3).

Tabla 3.
Matriz de abundancia (org m-3) del microzooplancton.

Clase/ Subclase	Código Estación	E4-10	E7-10	E8-10	E4-12	E7-12	E8-12	E4-14	E7-14	E8-14
	Orden/ Morfofoto									
Maxillopoda / Copepoda	Calanoida	69	195	46	57	92	57	172	287	378
	Cyclopoida	57	115	183	11	183	69	138	115	160
	Harpacticoida					11	11	57		34
	Larva nauplio	2636	642	367	837	699	699	1948	1387	2177
Spirotrichea	Tintinnida	1593	2934	3954	2361	3346	3873	6188	4561	4091
Appendicularia	Copelata		11		11	11		46	11	149
Globothalamea	Rotaliida	11	23	80	11	23				
Rotatoria	Ploimida	11	69			23				11
Polychaeta	Larva poliqueta		23			11		23	57	46
Gastropoda	Pteropoda		11		11		23		46	80
Bivalvia	Larva veliger						11	115	92	46
Polycystina	Spumellaria		298			11			34	
Hydrozoa	Larva plánula					11				11
Sagittoida	Aphragmophora								11	

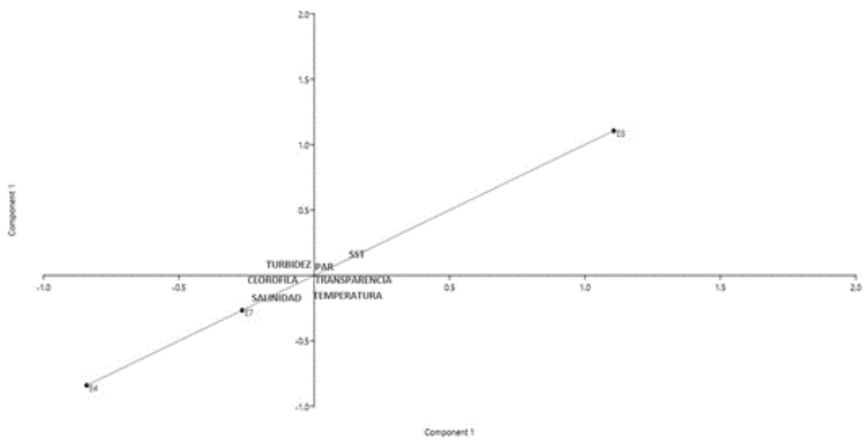
Para comunidad microplancónica, a partir de la respectiva matriz de abundancia, se aplicó un dendrograma de similaridad, con el Software PAST (PAleontological STatistics).

Respecto a las condiciones ambientales, en paralelo y durante el primer muestreo de las comunidades microplancónicas, se estimó la profundidad (m) del disco Secchi, turbidez (NTU) a partir de muestras de agua que se analizaron con un turbidímetro digital portátil (Lutron Electronics), y para determinar la radiación fotosintéticamente activa (PAR – por sus siglas en inglés), expresada en unidades de $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}/\text{mV}$, se realizó un montaje con irradiómetros (Li-Cor, Inc) y CTD Castaway. Adicionalmente, con la botella Niskin de 5 litros se tomaron muestras de agua a una profundidad aproximada de 1 a 3 metros para estimar en laboratorio sólidos suspendidos totales - SST (mg l⁻¹) por el método de desecación en horno a 105 °C, y clorofila a (mg l⁻¹) por el método de feofitina (Standard Methods, 2018) (Tabla 4). Por último, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) entre las variables fisicoquímicas con el software PAST. (figura 2)

Tabla 4.
Datos fisicoquímicos y clorofila a obtenidos entre las 10:00 y las 11:00 horas.

Hora	Código Estación	Profundidad Máxima (m)	Profundidad Disco Secchi (m)	Turbidez (NTU)	Salinidad (UPS)	Temperatura (°C)	Max PAR ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}/\text{mV}$)	SST (mg l ⁻¹)	Clorofila a (mg l ⁻¹)
10:22	E4	8.9	0.5	15.82	29.17	30.14	28.89	31.44	6.23
10:38	E7	11.1	0.6	8.58	30.53	30.17	1547.23	14.78	10.28
11:06	E8	9.1	1.0	0.25	31.00	30.27	2300.93	478.94	10.76

Figura 2.
Análisis de Componentes Principales (ACP) entre las variables fisicoquímicas.



Resultados

Comunidad microfitoplanctónica

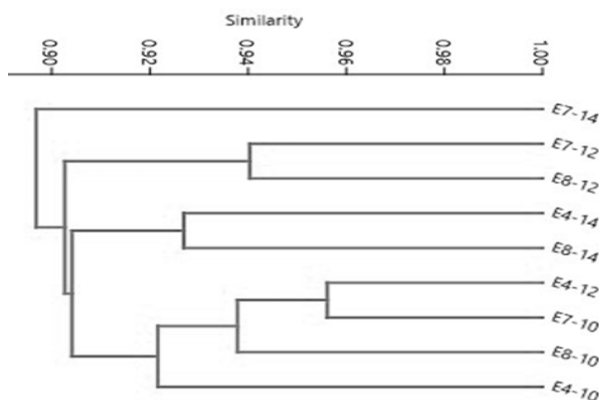
En la comunidad fitoplanctónica se logró la identificación de 31 géneros, distribuidos en cinco clases, (Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae) en donde se obtuvo una mayor abundancia de géneros en la clase Bacillariophyceae (~95%) y en una menor representación de la clase Euglenophyceae. La presencia de las Bacillariophyceae está muy relacionada con los contenidos de sílice asociados a los aportes de sedimentos que aporta el canal del Dique, elemento que es sintetizado por las algas para formar sus valvas características (Mayzel et al., 2021)

Los géneros más abundantes correspondieron a *Melosira*, *Skeletonema*, *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros* y *Thalassionema*, siendo los dos primeros géneros los que presentaron altas abundancias y mayor frecuencia en todas las estaciones y durante todo el ciclo de muestreo (Tabla 2). Además, estos géneros han sido indicadores de aguas eutróficas y con alto contenido de materia orgánica. La turbidez ha sido considerada durante mucho tiempo como el principal factor que controla la disponibilidad de luz y, por tanto, el desarrollo del fitoplancton se puede considerar independiente de las concentraciones de nutrientes (Lancelot & Muylaert, 2011), y lo expresado por estos autores, bien se cumple para lo descrito en este estudio.

Al comparar los datos de abundancia se encontró que a las 12:00 se obtuvo la mayor cantidad de individuos (3.811 cel/ml), lo que coincide con el momento de mayor radiación solar en el área, lo que favorece el proceso fotosintético.

El cluster de similaridad para la comunidad microfitoplanctónica muestra en un intervalo de 92% la formación de tres grupos principales (Figura 3), donde su distribución se da en relación con la hora en que se realizó el muestreo. Mención aparte tuvo la E7-14, que se aleja de los grupos ya que es la única estación en la que se evidenció la presencia de los géneros *Tetraedron* perteneciente a la clase Chlorophyceae y el género *Dinophysis* perteneciente a la clase Dinophyceae.

Figura 3.
Análisis de clasificación para la comunidad microfitoplanctónica



Comunidad Microzooplanctónica

Se identificaron en total de 11 clases agrupados en 10 phyla: Anelida, Arthropoda, Ciliophora, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Foraminifera, Mollusca, Radiolaria y Rotifera en donde tenemos una mayor abundancia de especies en el phyla Ciliophora con el 68%, seguido del dominio del phyla Arthropoda con el 29%.

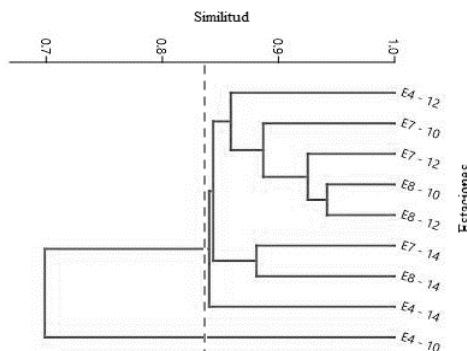
Los tintínidos (Phylum Ciliophora) representaron en totalidad a su phylum con el mayor número de individuos del estudio. Dentro del phyla Arthropoda sobresalió la clase Maxillopoda conformada por los órdenes; Calanoida, Cyclopoida, Harpacticoida y Larva de Nauplio, siendo este último el segundo orden con el mayor número de individuos del estudio representando a su phyla con el 82% de abundancia, seguido del orden Calanoida, el tercer orden con el mayor número de individuos del estudio con un 10% de abundancia en su phyla. Es de resaltar el orden Tintinnida presentó la más alta abundancia y frecuencia durante el muestreo realizado en todas las estaciones y se distingue la presencia de *Tintinnopsis tocantinensis*, *Leptotrintinnus nordqvistii*, y *Eutintinnus* sp.

Estudios anteriores sobre las comunidades zooplanctónicas en la bahía de Cartagena son concordantes con los resultados obtenidos en el presente estudio. Orozco, et al., (2008) encontraron que las clases más abundantes corresponden a los copépodos, dentro de esta el orden las Larvas de Nauplio como la más abundante y la clase Spirotrichea con el orden de los Tintinnidos del phylum Ciliophora. En el mismo sentido (Cañón-Páez, et al., 2007) encontraron que, al presentarse un aumento en los aportes del Canal del Dique, se presentó una alta dominancia de individuos tolerantes a la baja salinidad, mencionando a los Tintinnidos y los Nauplios de copépodo como las clases más abundantes.

El análisis de clasificación muestra la formación de dos grupos principales a un corte de 84%, observando que existe una relación directa de agrupación con la hora en que se efectuó el muestreo, a excepción de las estaciones E4-14 y E4-10 cuando la presencia de individuos del orden Apragmophora y Rotalida respectivamente. Llama la atención la presencia de larvas de poliquetos, veliger y plánula particularmente en las estaciones E7-14 y E8-14. Cabe anotar que el análisis de clasificación no es tan robusto dado que el nivel de identificación fue a nivel de orden taxonómico, lo que puede afectar un poco el resultado. (Figura 4).

Figura 4.

Análisis de clasificación para la comunidad microzooplanctónica.

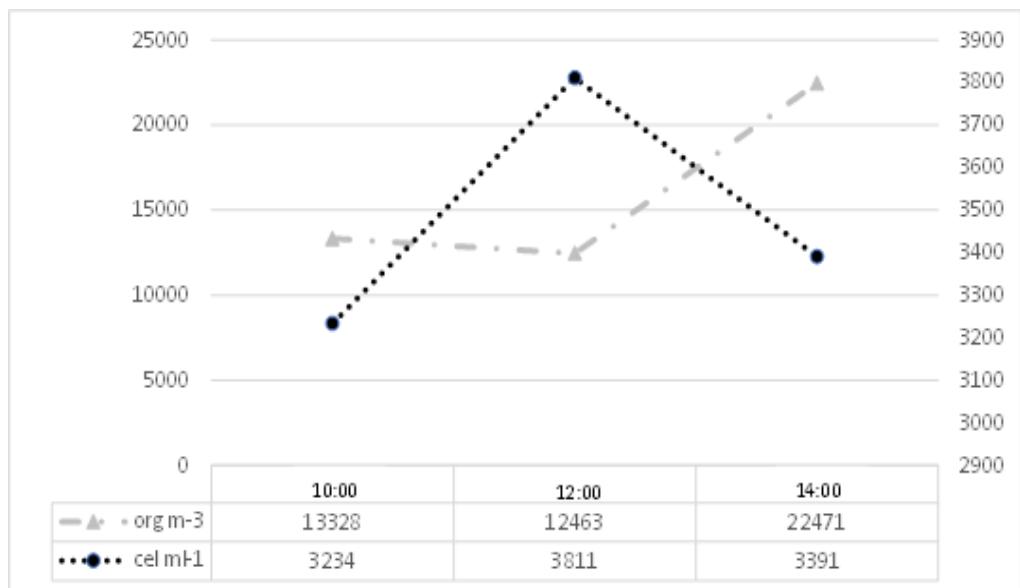


En términos de abundancia cabe señalar que en el tercer muestreo se dio la mayor abundancia con un total de 22471 org m⁻³, lo que puede responder a un comportamiento trófico en busca de organismos fitoplanctónicos, que como se mencionó, tuvieron su máxima abundancia en el segundo muestreo (Figura 5).

En inmediaciones del sector de El Varadero en un ciclo diario la variación de la comunidad zooplanctónica no presentó gran cambio en su composición debido a la influencia de la pluma turbia. No obstante, si hubo apariciones de ciertas larvas de organismos asociados al área de influencia del arrecife coralino en la medida que se tomaron muestras en las estaciones E7 y E8.

Figura 5.

Comparación en abundancia entre las comunidades del zooplancton (org m⁻³) y el fitoplancton (cel ml⁻¹).



Variables fisicoquímicas

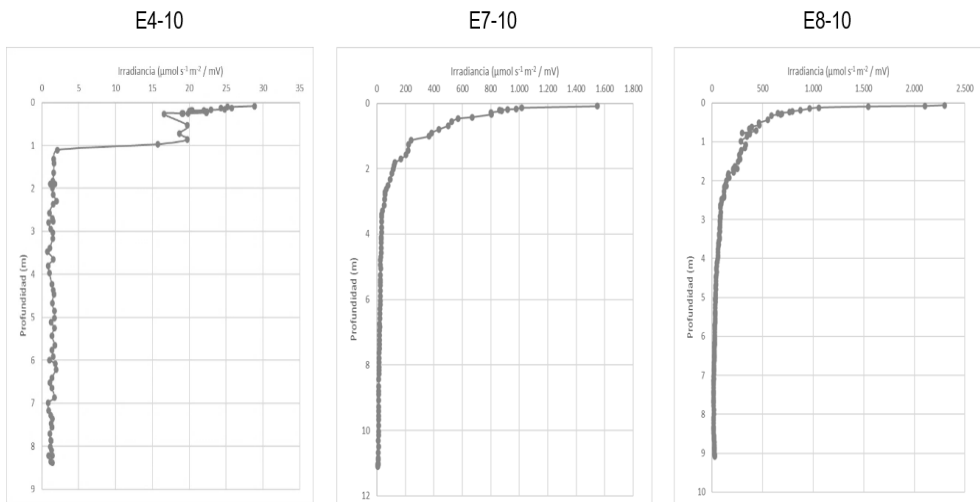
Analizando las variables fisicoquímicas (Tabla 4) durante el primer muestreo se encontró que los valores de transparencia varían entre 0.5 y 1 m de profundidad para las tres estaciones del primer muestreo con un aumento progresivo a medida que la estación se aleja de la desembocadura del Canal del Dique, variable que está en relación con los valores de turbidez, donde el mayor valor se dio en la estación E4 (15,82 NTU) por el alto aporte de sedimentos del Canal del Dique. A su vez la salinidad aumentó desde 29,17 UPS en la estación E4-10 hasta 31 UPS en la estación E8-10.

Al graficar los datos de PAR con la profundidad (Figura 6) se encontró que en la estación E4-10 es clara la afectación de la pluma turbia del canal del Dique, la cual también pudo afectar la sensibilidad del irradiómetro. Se observó que a partir del metro de profundidad los valores fluctúan entre 2,099 y 0,761 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}/\text{mV}$. Para la estación E7-10 se presentó una curva decreciente a

una profundidad de 2 metros. Se registran los valores más altos para los primeros metros (1547,23 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}/\text{mV}$) y a medida que disminuye la profundidad va disminuyendo el aporte de luz. En la estación E8-10 también se presentó una curva decreciente antes del primer metro de profundidad, aunque se registró un valor máximo de 2300,93 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}/\text{mV}$, mientras que El menor valor para esta estación es de 16,72 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}/\text{mV}$ a una profundidad de 8 metros. Se puede decir que la comunidad microfitoplanctónica se encontró limitada en los 0.5 y 2 m de profundidad con valores de radiación fotosintéticamente activa inferiores a 30 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2} / \text{mV}$ frente a la desembocadura y máximos de 2400 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2} / \text{mV}$ en el sector más externo del sector El Varadero respectivamente. Lo anterior, a su vez, se puede correlacionar con los valores de clorofila que variaron 6,23 mg l⁻¹ para E4-10 hasta 10,763 mg l⁻¹ en la estación E8-10. El análisis del espectro de radiación fotosintéticamente activa permite inferir que la productividad primaria se encuentra limitada por la capa turbia en los dos primeros metros de la columna para las estaciones E7 y E8 y a menos de un metro para la E4 más cercana a la desembocadura del Canal del Dique.

Figura 6.

Gráficos comparativos PAR vs. Profundidad en las tres estaciones durante el muestreo de 10:00



Respecto a los SST para E4-10 se obtuvo un valor de 31,44 mg l⁻¹ por estar ubicada frente a la desembocadura del Canal del Dique, seguido de la estación E7-10 con un valor de 14,78 mg l⁻¹, con una disminución cercana al 50% respecto a E4-10. Sin embargo, el dato de la estación E8-10 fue de 478,94 mg l⁻¹, el cual puede ser considerado como un dato atípico ya que se verificó bibliográficamente (Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia [RedCAM], 2020) confirmando una turbidez de 13 mg/L para el año 2018 y de 16 mg/L para el 2019 para este sitio. Otros estudios en el área reportan valores de 5,30 y 129,00 mg/L observándose la mayor concentración en las capas superficiales y del medio durante la temporada de lluvia (Osorio, 2010, Cañón, et al., 2007). De la Hoz (comm. pers.) indicó que “los valores de SST suelen ser altos sobre el sector de El Varadero, en sucesivos muestreos que ha realizado el CIOH

en esta área”. Considerando que se encuentra disparidad de valores comparado con otros autores por lo que es necesario ahondar con estudios posteriores los factores que puedan en un futuro explicar esta variabilidad.

Correlacionando los datos y graficando el ACP se encontró una línea de tendencia exponencial, la cual marca la trayectoria o la relación directa que tienen las tres estaciones, mientras que las estaciones E4 y E7 se encuentran en el mismo cuadrante. La estación E8 se encuentra alejada a lo que se le podría atribuir a la posición e interacción con las masas de agua que entran a la Bahía de Cartagena. Esto puede estar en relación con una marea que fue mínima para el día del muestreo, en el rango de 0.5 – 1.0 m, y ese valor atípico mencionado para SST puede indicar una entrada de masas de agua por el sector sur de la bahía. Sin duda, las variables fisicoquímicas se correlacionaron con la influencia de la pluma turbia del Canal del Dique.

Referencias

- Alvarado-Ortega, M. (Ed.) (2001). *Canal del Dique: Plan de restauración ambiental (primera etapa)*. Barranquilla, Colombia. Ediciones Uninorte ISBN: 9589105955 v. 1. 328 p.
- Cañón-Páez, M., Tous, G., López, K., López-Osorio, R., Orozco-Quintero, F. (2007). *Variación espaciotemporal de los componentes fisicoquímica, zooplanctónico y microbiológico en la Bahía de Cartagena*. Cartagena de Indias, Colombia: Boletín Científico CIOH N°25, 120-134 2007.
- Castro, L.A., Pereira, J.M. (2016). *Impacto de la actividad turística sobre los arrecifes coralinos del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Colombia*. *Cuadernos de Investigación UNED*, 8(1): 13-23. DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v8i1.1217>
- Mayzel, B., Aram, L., Varsano, N., Wolf, S., Gal, A. (2021) *Evidencia estructural de la formación de sílice extracelular por diatomeas*. *Nature Communications*, 12, 4639 <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24944-6>
- Franco-Arias, D. A., Restrepo López, J. C., Sanabria Ruiz, N. Y., Gutiérrez, J. C. (2013). *Caracterización y distribución de facies sedimentarias en la Bahía de Cartagena, Colombia*. *Boletín de Geología*, 35(1): 43-53
- Lancelot, C., & Muylaert, K. (2011). *Trends in Estuarine Phytoplankton Ecology. In Treatise on Estuarine and Coastal Science (Vol. 7) Prensa académica Waltham., 5-15*. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00703-8>
- Lonin, S., Parra, C., Andrade, C., Thomas, Y.-F. (2004). *Patrones de pluma turbia del canal del Dique en la bahía de Cartagena*. *Boletín Científico CIOH*, 22: 77-89. <https://doi.org/10.26640/22159045.130>
- Mogollón, J.V. (2019). El dique en el siglo XIX: *Del Canal de Totten al ferrocarril Cartagena-Calamar*. *Economía & Región*, 6(1), 171-196. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.co/index.php/economiaayregion/article/view/138>
- Orozco, F., López, R., Cañón, M. L., & Gutiérrez, L. C. (2008). *Determinación de la variación en la composición y estructura de la comunidad zooplanctónica en relación con las condiciones fisicoquímicas, en la Bahía de Cartagena (departamento de Bolívar) 2006*. *Boletín Científico CIOH*, (26), 117-142. doi:10.26640/22159045.189
- Pizarro, V., Rodríguez, S., López, M., Zapata, F., Zea, S., Galindo, C., . . . Medina, M. (2017). *Unraveling the structure and composition of Varadero Reef, an improbable and imperiled coral reef in the Colombian Caribbean*. *PeerJ*, 1-18.
- Raybaud, V., Nival, P., Mousseau, L., Gubanova, A., Althukhov, D., Khvoroy, S., Ibañez, F., Andersen, V. (2008). *Short term changes in zooplankton community during the summer-autumn transition in the open NW Mediterranean Sea: Species composition, abundance and diversity*.

Biogeosciences, 5(6); 1765-1782. <https://doi.org/10.5194/bg-5-1765-2008>

Ricaurte-Villota, C., D. Morales-Giraldo, J. Coca-Domínguez, O. Hernández Pinto, S. Bastidas-Salamanca, M. Ordoñez-Zúñiga, J. Velandia-Bohórquez, A. Vivas-Aguas, P. Obando-Madera y A. Navas-Camacho, R. Rodríguez Rodríguez. 2015. *Estado del ambiente y los ecosistemas marinos y costeros. p26-69. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2015*. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 180 p.

Sanjuan-Muñoz, A., Laverde-Castillo, J., Blanco-López, N., Agudelo-Ramírez, C. (1999). *Evaluación de la calidad de los sedimentos y la comunidad bentónica en la desembocadura del canal del Dique en la bahía de Cartagena*. Cartagena de Indias: Sea Gerencia Ambiental, Aguas de Cartagena y Fundación Universidad del Norte. Informe Técnico. 54 p.

Tuchkovenko, Y. S., Lonin, S. (2003). *Mathematical model of the oxygen regime of Cartagena Bay*. *Ecological Modelling*, 165(1): 91-106.