

# EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS AGUAS OCEÁNICAS ADYACENTES AL SUR DE CUBA A PARTIR DE INDICADORES MICROBIOLÓGICOS Y FITOPLANCTÓNICOS

Gladys Margarita Lugioyo <sup>1</sup> \*, María Elena Miravet <sup>1</sup>, Roberto Pérez <sup>1</sup>, Carlos Álvarez <sup>2,3</sup> \* y Georgina Espinosa <sup>2</sup>.

(1) Instituto de Oceanología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y medio Ambiente, Ave 1ra. No. 18406, Playa, Ciudad Habana, Cuba.

(2) Facultad de Biología, Universidad de La Habana. 25 y J, Vedado, Plaza, Ciudad Habana, Cuba.

(3) Instituto de Química, Universidad de Sao Paulo, Brasil.

(\*) Autor correspondiente: Email: [calvarez@infomed.sld.cu](mailto:calvarez@infomed.sld.cu)

## RESUMEN

Se presenta una valoración del estado trófico de las aguas de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) al sur de Cuba, a partir de indicadores microbiológicos y fitoplanctónicos. Los métodos utilizados permitieron evaluar el estado trófico y realizar una zonación, sobre la base de este criterio. En general, en la ZEE al sur, la concentración de bacterias heterótrofas fue más elevada en la época de invierno con relación al verano, destacándose 5 zonas de mayor riqueza: W y E de la Fosa de Jagua, al S de la bahía de Cienfuegos y al E y W del resto de la ZEE. Mediante los tres métodos empleados para determinar el estado trófico se comprobó que las aguas oceánicas al sur son oligotróficas con algunas zonas mesotróficas. Los resultados obtenidos posibilitan profundizar en el conocimiento de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas epipelágicos y su influencia sobre algunas especies de importancia pesquera.

Palabras claves: estado trófico; bacterias; fitoplancton; aguas oceánicas; ASW, Cuba.

## ABSTRACT

A trophic state characterization of the Economic Exclusive Zone (EEZ) oceanic waters at S of Cuba is presented from microbiological and phytoplanktonic indicators. The analysis carried out allowed the assessment of the trophic status and its zonation. In general, in the EEZ at S, the concentration of heterotrophic bacteria was higher in the rainy season than in the dry period emerging five areas with the largest richness: W and E of Fosa de Jagua, S of Bahía de Cienfuegos and E and W of the rest of the EEZ. Using the procedures here described, it was demonstrated that the oceanic waters at South of the Cuban EEZ are mainly oligotrophic with some mesotrophic areas. Taken together these results allow getting insights into the structure and functioning of epipelagic ecosystems and their possible influence on some species of relevance for fisheries.

Key words: trophic state; bacteria; phytoplankton; oceanic waters; ASW, Cuba

En los océanos la descomposición de la materia orgánica y la regeneración de nutrientes son procesos fundamentales que resultan, principalmente, de la actividad metabólica de los microorganismos. Estos procesos unidos a la producción de materia orgánica caracterizan el estado trófico de un determinado ecosistema (Kirchman, 2000). Existen diferentes indicadores que permiten evaluar el estado trófico del medio marino, tal es el caso de la relación ADN / ARN, (Hobbie y col., 1977; Vaqué y col. 1985), la relación entre la concentración de las bacterias heterótrofas y el conteo total de microorganismos (Romanenko, 1979), así como la concentración de clorofila *a* (Koblents-Mishke y Vedernikov, 1977).

Conocer la distribución y composición de las bacterias heterótrofas, así como algunas de sus características fisiológicas es de gran importancia

ya que estas comunidades degradan la materia orgánica, uno de los procesos que gobiernan el funcionamiento biogeoquímico de los ecosistemas acuáticos y permite su adecuado funcionamiento (Servais y Billen, 1993; Williams, 2000).

A partir de estos antecedentes, el objetivo del presente trabajo fue determinar el estado trófico de las aguas oceánicas de la ZEE al sur de Cuba, un área de importancia pesquera para el país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la Zona Exclusiva Económica (ZEE) al sur de Cuba se ubicaron 69 estaciones, de ellas, 29 en la Fosa de Jagua y 40 en el resto (Fig. 1). Los muestreos se realizaron desde agosto del 1988 hasta agosto 1989 con una frecuencia trimestral.

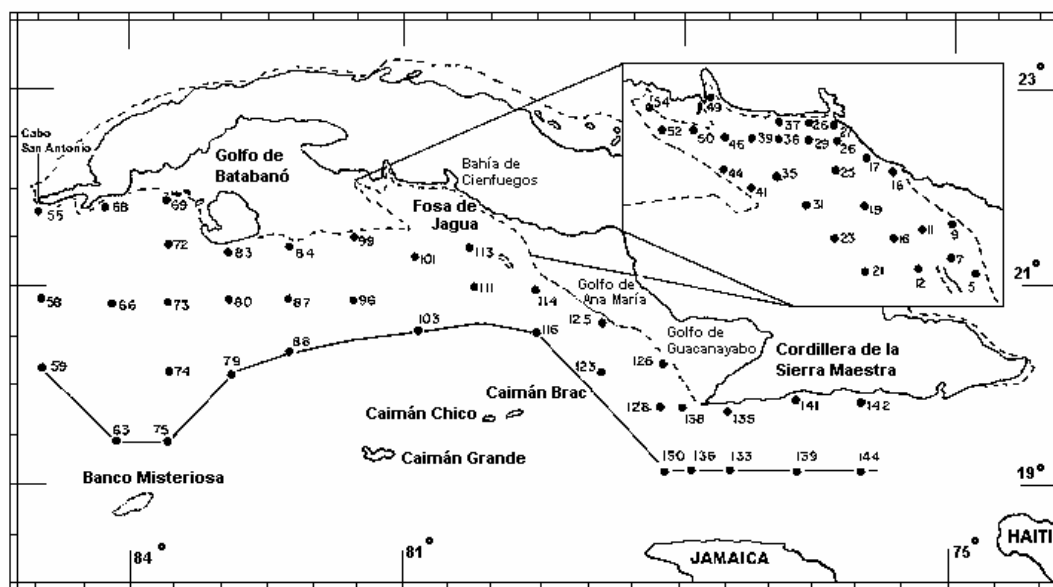


Fig. 1 Ubicación de las estaciones de muestreo de la Zona Exclusiva Económica al sur de Cuba.

Para la determinación del estado trófico de las aguas se utilizó la clasificación de Romanenko (1979), la cual se fundamenta en la relación entre el conteo de bacterias heterótrofas y el conteo total de microorganismos. También se empleó la propiedad que tienen las células de teñirse con el fluorocromo naranja de acridina, de forma tal que cuando predomina el ADN con relación al ARN, las células se tiñen de color verde; y si la relación ARN /ADN es mayor, la coloración predominante de las células es roja (Vaqué y col., 1985). La concentración de clorofila *a* se estimó mediante un procedimiento espectrofotométrico de acuerdo a las normas Scor-UNESCO (1966) y el empleo de la escala de Koblenz-Mishke y Vedernikov (1977).

La concentración de bacterias heterótrofas se determinó mediante la siembra en placas Petri usando medio marino 2216 E (Oppenheimer y ZoBell, 1952). Las placas fueron incubadas a 26°C, realizando el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC), durante 3 días consecutivos.

Para probar la igualdad entre los promedios de los datos en los diferentes grupos y posteriormente si existía diferencias entre ellos se realizó un análisis de varianza de clasificación simple aplicando la prueba de rangos múltiples de Duncan, mediante el programa STATISTICA para Windows, versión 4.2 (Stat Soft, Inc). Para la representación espacial y el análisis estadístico de los valores de la

concentración de bacterias heterótrofas se utilizó la escala propuesta por Frontier (1981).

## RESULTADOS

En la ZEE al S de Cuba, la concentración de bacterias heterótrofas en la capa fótica varió entre 13 y 29 430 UFC mL<sup>-1</sup> con un valor promedio ( $X_{media}$ ) de 2 203 UFC mL<sup>-1</sup>.

En el verano (época de lluvia), se distinguen 5 zonas con elevadas concentraciones de bacterias heterótrofas: tres ubicadas en la Fosa de Jagua: W de la cuenca ( $x_{media} = 4\ 249\ UFC.mL^{-1}$ ), al S de la Bahía de Cienfuegos ( $x_{media} = 4\ 318\ UFC.mL^{-1}$ ) y al E de la fosa ( $x_{media} = 1\ 788\ UFC.mL^{-1}$ ) y dos en el resto de las aguas oceánicas, una ubicada al W y otra al E, donde la concentración de bacterias heterótrofas osciló entre 13 y 29 430 UFC.mL<sup>-1</sup> con una media de 2 764 UFC.mL<sup>-1</sup>. En el invierno (época de seca), la concentración de bacterias heterótrofas fue significativamente inferior ( $X_{media} = 1\ 534\ UFC.mL^{-1}$ ) con relación a la lluvia ( $P < 0.05$ ), aunque el patrón de distribución, en general, fue similar que el encontrado en lluvia (Fig. 2).

De manera general, en las aguas oceánicas al sur, se encontró, independientemente de la concentración celular obtenida en cada una de las zonas, que la proporción de células teñidas de verde ( $0.42 \pm 0.12$ ) en todos los casos fue superior que la de

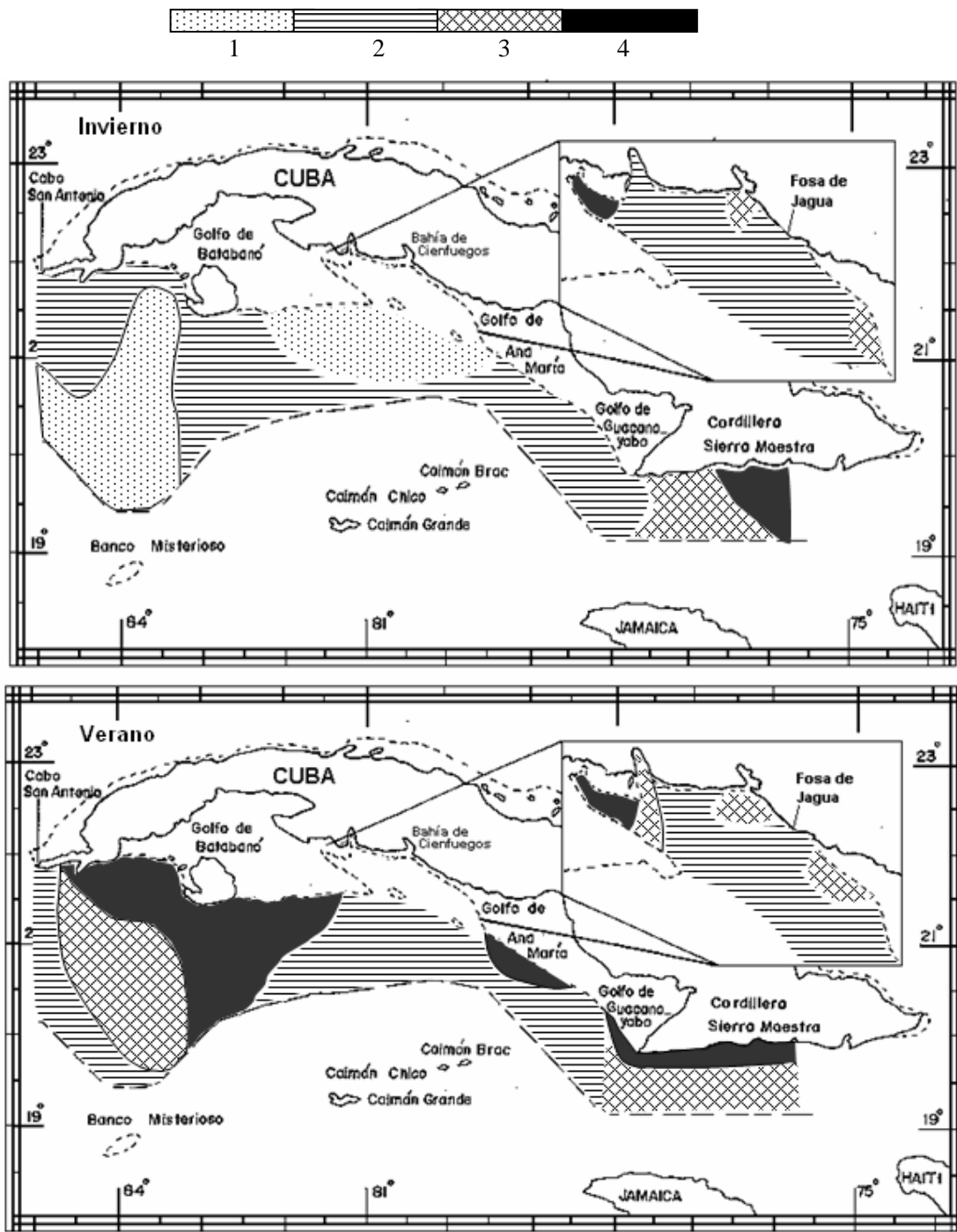


Fig. 2 Distribución espacio-temporal de las bacterias heterótrofas en las aguas oceánicas al sur de Cuba, en época de lluvia y seca. Los resultados obtenidos de las tres réplicas se promediaron y se clasificaron en cuatro clases atendiendo a la escala propuesta por Frontier (1981), como se muestra a continuación:

Clase	Intervalo de concentraciones de bacterias heterótrofas (UFC.mL <sup>-1</sup> )
1	350 a 1500
2	1500 a 3120
3	3120 a 6500
4	6500 a 27000

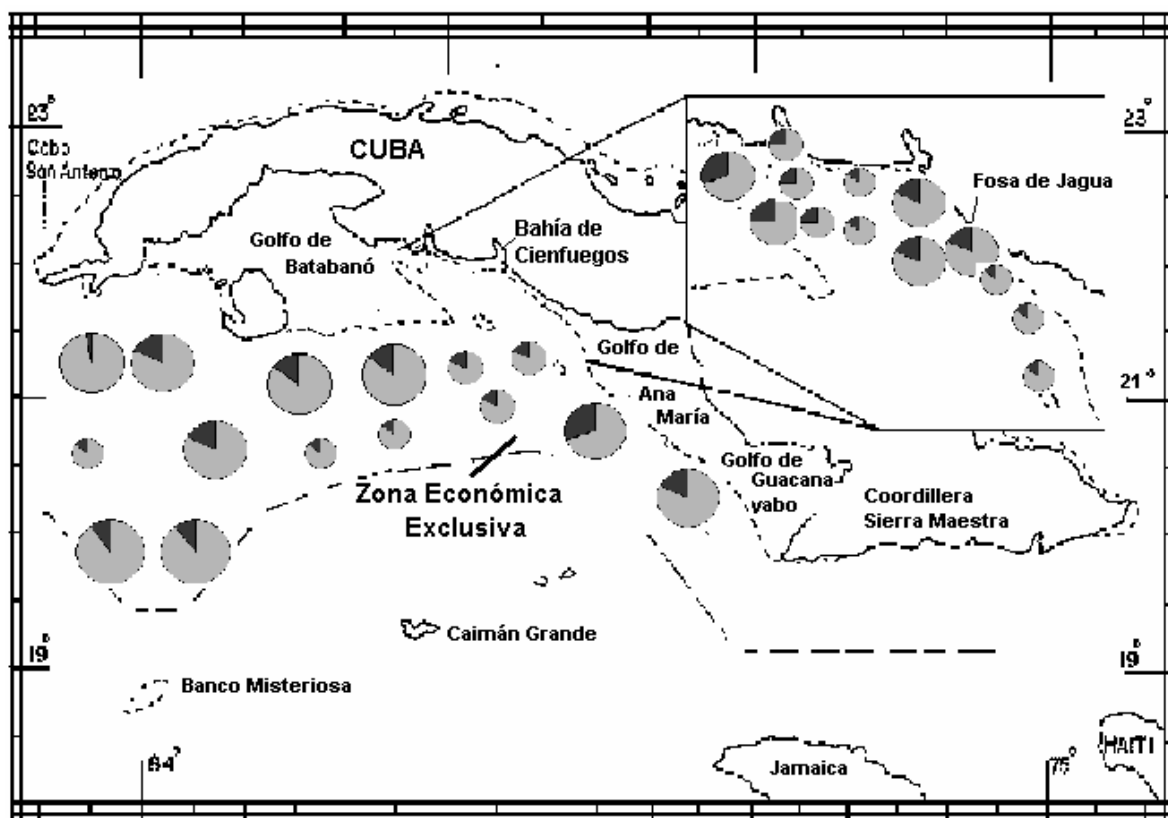


Fig. 3 Distribución del número total de microorganismos y proporción de células teñidas de rojo y verde al ser teñidas con el colorante naranja de acridina, en la ZEE al sur en época de lluvia. Células rojas: color negro; células verde: color gris.

las rojas ( $0.07 \pm 0.04$ ), es decir, hubo un predominio de DNA sobre el RNA (Fig. 3). En la Fosa de Jagua, los mayores porcentajes de células teñidas de rojo se encontraron hacia el oeste de la fosa ( $0.11 \pm 0.012$ ) y al sur de la Bahía de Cienfuegos ( $0.09 \pm 0.02$ ) (Fig. 3), coincidentes con elevadas concentraciones de microorganismos (Fig. 2). Es de destacar que en las estaciones cercanas al Golfo de Ana María, al sur del Golfo de Batabanó y hacia la región más occidental de la ZEE S se obtuvo una mayor proporción de células rojas, en relación con las del resto de la zona. (Fig. 3) y de la concentración de bacterias heterótrofas (Fig. 2).

Teniendo en cuenta la relación de Romanenko (1979) tanto las aguas de la Fosa de Jagua ( $0.027 \pm 0.02$ ), como del resto de la ZEE ( $0.016 \pm 0.01$ ) se clasifican como oligotróficas, aunque en algunas zonas de la Fosa se obtuvieron valores de la relación mayores de 0.03 (Tabla 1). En correspondencia, las concentraciones de clorofila *a* en las aguas oceánicas adyacentes a Cuba fueron

menores de  $0.1 \text{ mg.m}^{-3}$ , lo que las caracteriza, según la clasificación de Koblenst-Mishke y Vedernikov (1977), como aguas oligotróficas (Tabla 1).

## DISCUSIÓN

En las aguas oceánicas del sur, la Fosa de Jagua presentó características distintivas del resto de la ZEE, debido fundamentalmente a su posición entre las plataformas SW y SE. Esta ubicación se distingue por el intercambio permanente de aguas enriquecidas procedentes de ambas plataformas (Claro, 2000; Baisre, 2004), lo que favorece el desarrollo de los organismos planctónicos en general y del bacterioplancton en particular.

Los golfos de Batabanó y el de Ana María se caracterizan por una elevada productividad biológico-pesquero (Claro, 2000; Baisre, 2004), posiblemente resultante del proceso de intercambio de masas de agua con la Fosa de Jagua, lo que conduce a un enriquecimiento de nutrientes y

Tabla 1. Indicadores para la clasificación del estado trófico de las aguas oceánicas adyacentes a Cuba.

Indicadores de estado trófico		Fosa de Jagua	ZEE S
Bacteria Heterótrofas/Número Total de Microorganismos *		0.027 ± 0.02	0.016 ± 0.01
Proporción células teñidas de rojo/células teñidas de verde (%)		38	14
Clorofila <i>a</i> (mg.m <sup>-3</sup> ) **		0.096 ± 0.013	0.072 ± 0.04

* Escala para la clasificación del estado trófico (Romanenko, 1979)		** Escala para la clasificación del estado trófico (Koblents-Mishke y Vedernikov, 1977)	
Bact.het./No Total microorganismos	Clasificación	Clorofila <b>a</b> (mg.m <sup>-3</sup> )	Clasificación
0.03	Ultraoligotrófico	< 0.1	Oligotrófico
0.03 – 0.30	Oligo - mesotrófico	0.1 – 1.0	Mesotrófico
0.31 – 3.00	Eutrófico	> 1.0	Eutrófico
> 3.00	Altamente eutrófico		

materia orgánica, principalmente, en las regiones aledañas a las plataformas SE y SW, dada su proximidad. Otro ingreso importante de materia orgánica a esta fosa son las aguas provenientes de la Bahía de Cienfuegos (Areces, 1986) y probablemente el arrastre terrígeno del complejo montañoso del Escambray.

En la propia Fosa de Jagua se constató que en el Golfo de Cazonos, ubicado al W de esta cuenca, se obtuvieron altas concentraciones de bacterias heterótrofas y elevados valores de biomasa bacteriana ( $X_{media} = 15.3 \pm 1.75 \text{ mgC.m}^{-3}$ ) (Lugioyo, 2003), en todos los cruceros efectuados. Además, la tasa de crecimiento bacteriano fue la mayor de la ZEE S, lo que se pudo deducir del aumento de la proporción de células en las que existe una mayor relación ARN/ADN. Esta zona se caracteriza por elevadas concentraciones de nutrientes (fosfatos, nitratos + nitritos) (Fernández y col., 1990) y materia orgánica (lípidos y proteínas) (Bellota y col., 1990) lo cual puede sustentar el elevado crecimiento microbiano encontrado. En consonancia, las aguas del W de la Fosa de Jagua, atendiendo a la relación entre la concentración de bacterias heterótrofas y el número total de microorganismos (Romanenko, 1979), resultaron oligo-mesotróficas.

Otras investigaciones realizadas en la Fosa de Jagua, mostraron que al oeste de la cuenca, se encuentran elevadas concentraciones de larvas de peces (Gutiérrez y col., 1990); de larvas de langosta, en particular del estadio I (Alfonso y col.,

1991); de fitoplancton (Pérez y col., 1990; Loza, 1998) y de microzooplancton (Orozco, 1997). Estos resultados permiten afirmar que el Golfo de Cazonos es una zona de elevada riqueza biológica lo que es consistente con las elevadas concentraciones de bacterioplancton encontradas.

Al sur de la Bahía de Cienfuegos, se localizó la segunda zona de abundancia bacteriana en la Fosa de Jagua, independientemente de la época del año. Esta zona presenta elevados valores de nutrientes (Fernández y col., 1990) y de proteínas y lípidos suspendidos (Bellota y col., 1990), en comparación con el resto de las aguas oceánicas oligotróficas al sur de Cuba. La salida de aguas eutróficas hacia la fosa procedentes de la Bahía de Cienfuegos (Areces, 1986) puede favorecer el desarrollo de las bacterias heterótrofas que son las principales responsables de convertir los compuestos orgánicos disueltos en material particulado (Williams, 2000) y de esta forma ponerla a disposición de otros organismos de la trama alimentaria. El sur de la Bahía de Cienfuegos se caracteriza también por una elevada producción bacteriana (Jiménez y Pérez, 1990) y la presencia de altas concentraciones de otros organismos del plancton tales como fitoplancton (Pérez y col. 1990, Loza, 1998) y microzooplancton (Orozco, 1997).

El E de la Fosa de Jagua representa la tercera zona de riqueza microbiana en esta cuenca, su riqueza está sustentada en el aporte de aguas productivas procedentes del Golfo de Ana María (Claro, 2001).

En la Zona Exclusiva Económica S (incluyendo la Fosa de Jagua), el patrón de distribución de bacterias heterótrofas estuvo asociado a las características de las épocas del año; ya que se obtuvieron mayores concentraciones en los muestreos correspondientes a los meses de verano, donde las temperaturas fueron más elevadas ( $X_{media} = 29.4$  °C) y mayor el escurrimiento terrígeno debido a las precipitaciones, todo lo cual favorece el desarrollo y duplicación de estas bacterias. Por el contrario, las menores concentraciones de bacterias heterótrofas se encontraron en la época de seca (invierno).

En la ZEE al sur, excluyendo la Fosa de Jagua, las zonas de mayor riqueza desde el punto de vista del bacterioplancton se localizaron al W y al E. Al este de la ZEE sur, el aporte casi permanente de materia orgánica procedente de los arrastres terrígenos del complejo montañoso de la Sierra Maestra debe contribuir al enriquecimiento de las aguas de las estaciones más cercanas a la costa; en tanto el sistema de circulación de las masas de agua en la zona puede tener un impacto decisivo en la distribución de nutrientes y materia orgánica hacia las estaciones más alejadas de la plataforma. En su conjunto ambos fenómenos explicarían las elevadas concentraciones de bacterioplancton halladas en esta zona independientemente de la época del año.

Por su parte, al oeste de la ZEE S, las elevadas concentraciones de bacterias heterótrofas, así como la tendencia al incremento de las bacterias coloreadas de rojo, indicativas de una elevada relación ARN/ADN, pudieran interpretarse como una alta tasa de crecimiento (Vaqué y col., 1985). Este incremento en la tasa de crecimiento bacteriano puede asociarse con el régimen de las masas de agua en esta zona, el cual se caracteriza por presentar una dinámica compleja, con remolinos ciclónicos y anticiclónicos interrelacionados, que se mantienen en el tiempo llegando a conformar un giro casi cerrado (Victoria y Penié, 1998). La dinámica de las masas de agua en el área posibilita la incorporación y permanencia en las capas superficiales de los nutrientes procedentes de las aguas profundas; además de la existencia de una zona frontal de gran intensidad que se produce al interactuar las aguas de la contracorriente cubana con la circulación anticiclónica al sur de la península de Guanahacabibes (SW, Cuba), y con la ciclónica al sur de cayo Matías (Victoria y Penié, 1998). Estas condiciones favorecen en su conjunto el desarrollo del bacterioplancton a pesar de ser aguas oligotróficas lo cual puede deberse a su elevada

capacidad de duplicación frente a cambios ambientales (Madigan y col., 2000).

En las aguas oceánicas al sur de Cuba se encontró, en general, un predominio de DNA sobre el RNA lo que refleja una baja tasa de crecimiento celular hecho característico de lugares con condiciones oligotróficas donde el contenido de nutrientes es bajo (Vaqué y col., 1985).

A partir de los valores obtenidos de la relación ADN/ARN, así como de la relación conteo de viables/conteo total de microorganismos en las aguas (Romanenko, 1979) y la concentración de clorofila *a*, las aguas oceánicas adyacentes al sur de Cuba, se clasifican como oligotróficas con zonas puntuales mesotróficas.

La evaluación del estado trófico de las aguas oceánicas adyacentes al sur de Cuba, permitió incrementar el conocimiento de dicha zona donde se desarrollan larvas de crustáceos y peces de interés comercial.

## CONCLUSIONES

1. En la Zona Económica Exclusiva al sur se localizaron cinco zonas de elevada riqueza microbiana y fitoplanctónica, tres de ellas ubicadas en la Fosa de Jagua y dos en el resto de la Zona Exclusiva Económica.

2. A partir de los indicadores microbiológicos y fitoplanctónicos ensayados, las aguas oceánicas alrededor de Cuba se clasifican como oligotróficas, aunque se encontraron algunas zonas con tendencia mesotrófica.

## REFERENCIAS

- Alfonso, I., M.P. Frias, A. Campos y J.A. Baisre (1991): Distribución y abundancia de larvas de la langosta *Panulirus argus* en aguas alrededor de Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 12(1-3): 5-19.
- Areces, A. (1986): Bahía de Cienfuegos: eutrofización y planeamiento ambiental. Cuba, Instituto de Oceanología, *Rep. Inv.*, 51: 1-16.
- Baisre, J. (2004): Marco Ecológico. *En: La pesca marítima en Cuba*, Cap. 1, Ed. Científico-Técnica, La Habana, 372 p.
- Bellota, M., M. Lugioyo y M.E. Miravet (1990): Proteólisis, lipólisis y su relación con formas de la materia orgánica en aguas oceánicas al S de Cuba.

- Memorias del II Congreso de Ciencias del Mar, La Habana, Cuba.
- Claro, R. (2001): *Ecology of the Marine Fishes of Cuba*. Smithsonian Inst. Press., 215 pp.
- Fernández, M., R.M. Hidalgo, D. López, I. García y I. Penié (1990): Caracterización hidroquímica de la Fosa de Jagua y la ZEE al S de Cuba. Cuba, Instituto de Oceanología, Informe final, Archivo IdO, 27 pp.
- Frontier, S. (1981): Tratamientos de los datos. *En: Atlas de Zooplancton del Atlántico Suroccidental y métodos de trabajo con zooplancton marino*. Publ. Inst. Nac. Invest. y Desarr. Pesp. (INIDEP), Ministerio de Comercio e Interés Marítimos. Rep. Argentina, 936 pp.
- Gutiérrez, E., M. Montolio y M.P. Frías (1990): Composición de la comunidad ictioplanctónica de las aguas territoriales al sur de Cuba. *Memorias del II Congreso de Ciencias del Mar*, La Habana, Cuba.
- Hobbie, J.H., R.J. Daley and S. Jasper (1977): Use of nucleopore filters for counting bacteria by epifluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.* 33: 1225-1228.
- Jiménez, M.A. y R. Pérez (1990): Modificaciones a la técnica de determinación de la producción bacteriana en aguas cubanas. *Memorias del II Congreso de Ciencias del Mar*, La Habana, Cuba.
- Kirchman, D.L. (2000): Uptake and Regeneration of Inorganic Nutrients by Marine Heterotrophic Bacteria *En: Microbial Ecology of the Oceans* (D.L. Kirchman, ed.) Chapter 9), Wiley-Liss, New York, pp:262-288.
- Koblents-Mishke, O.I. y V.I. Vedernikov (1977): Producción primaria. *En: Oceanología. Biología del Oceano*, Ed. Nauka, Moscu, [en ruso], Tomo 2, 209 pp.
- Loza, S. (1998): El nanoplancton y el picoplancton en las aguas oceánicas al S de Cuba y al N-NE de la Península de Yucatán. Universidad de La Habana, *Tesis de Maestría*, 73 pp.
- Lugioyo, G.M. (2003): Distribución, relaciones tróficas y diversidad del bacterioplancton de las aguas oceánicas de Cuba. Universidad de La Habana, *Tesis doctoral*, 140 pp.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko y J. Parker, eds (2000): *Brock Biología de los Microorganismos*. 8va edición. Prentice Hall Iberia, Madrid, 1064 pp.
- Oppenheimer, C.H. y C.E. ZoBell (1952): Maintenance of marine bacteria. *J. Mar. Res.* 11: 10-18.
- Orozco, M.V. (1997): Comportamiento del microzooplancton en aguas oceánicas al sur de Cuba. Universidad de La Habana, *Tesis de Maestría*, 84 pp.
- Pérez, R., C. Gil y S. Loza (1990): Variaciones estacionales de fitoplancton en aguas oceánicas al sur de Cuba. Cuba, Instituto de Oceanología, Informe final, Archivo IdO, 21 pp.
- Romanenko, V.I. (1979): Bacterial growth at natural and low levels of organic matter. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 13: 77-84.
- Scor-UNESCO (1966): Determination of photosynthetic pigments in seawater. *Monographs on Oceanography methodology I*, Paris, 69 pp.
- Servais, P. y G. Billen (1993): Dynamics of heterotrophic bacteria in aquatic systems: The HSB model. *In: Trends in Microbial Ecology* (R. Guerrero y P. Pedrós-Alió, eds.), pp:397-400.
- Vaqué, D., J. Martínez, y I. Vives-Rego (1985): Variación de la actividad heterotrófica y la densidad bacteriana en aguas de Playa de Barcelona. *Microbiol. Esp.* (38):3-4, 115.
- Victoria, I. y I. Penie (1998): Hidrología. *En: Estudio Nacional sobre la Diversidad Biológica en la República de Cuba* (M. Vales, A. Álvarez, L. Montes y A. Ávila, eds.), UMA/CENBIO/ IES/ AMA /CITMA, pp:117-125.
- Williams, P.J. (2000): Heterotrophic Bacteria and the Dynamics of Dissolved Organic Material. *En: Microbial Ecology of the Oceans*, (D.L. Kirchman, ed.) Wiley-Liss, New York, Chapter 6, pp:153-200.

Acceptado: 23 de agosto de 2007