

VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA DENSIDAD DEL MICROFITOPLANCTON Y CLOROFILA **a** EN AGUAS OCEÁNICAS AL SUR DE CUBA

Roberto Pérez de los Reyes ¹, Caridad Gil de Varona ², Sandra Loza Álvarez ² y Margarita Lugioyo Gallardo ²

(1) Agencia de Medio Ambiente, Calle 20, esq. 18-A, Playa, CP 11300, Ciudad Habana, Cuba.

(2) Instituto de Oceanología, Ave. 1ra No. 18406, entre 184 y 186, Playa, Ciudad Habana, Cuba.

Autores correspondientes: Emails: rperez@ama.cu, sandra@oceano.inf.cu, margarita@oceano.inf.cu

RESUMEN

Se analiza la composición, abundancia y distribución del fitoplancton mayor de 20 μm y de la clorofila **a** obtenidos en las aguas oceánicas al sur de Cuba, durante los cruceros realizados en el 1989 y en el 2005. La concentración de clorofila **a** en invierno fue mayor con respecto al verano, debido a la dinámica vertical más intensa en esta época que eleva la disponibilidad de nutrientes en el medio. En el verano, al reforzarse la estratificación térmica, disminuye la disponibilidad de nutrientes, se produce un aumento de la densidad celular y de la biomasa por el desarrollo de los dinoflagelados y por la cianobacteria *Oscillatoria thiebautii* (Gomont) Geitler 1932. Dentro de las aguas oceánicas al sur de Cuba, se distinguió la Fosa de Jagua por una mayor concentración y biomasa del microfitoplancton con respecto al resto de la Zona Económica Exclusiva (ZEE). La concentración de clorofila **a** fue mayor en el periodo invernal ($0.111 \pm 0.006 \text{ mg m}^{-3}$) con relación a los cruceros de verano ($0.071 \pm 0.002 \text{ mg m}^{-3}$). En general, los incrementos de la riqueza fitoplanctónica mayor de 20 μm coinciden con zonas de desove o cría de especies de interés comercial, lo que permite inferir que esta abundancia es un soporte para el desarrollo de estas poblaciones larvales.

Palabras claves: microfitoplancton; clorofila **a**; distribución espacio-temporal; aguas oceánicas; ASW, Cuba.

ABSTRACT

The present paper analyzes the composition, abundance and distribution of phytoplankton greater than 20 μm and of chlorophyll **a** obtained in oceanic waters south of Cuba, during the cruises carried out in 1989 and in 2005. The concentration of chlorophyll **a** in winter was higher if compared to summer, due to the more intense vertical dynamic that increases the availability of nutrients in the environment. In summer, as the thermal stratification is strengthened, the availability of nutrients decreases, an increase in cellular concentration and in biomass occurs due to the development of dinoflagellates and the cyanobacteria *Oscillatoria thiebautii* (Gomont) Geitler 1932. Within the oceanic waters south of Cuba, Jagua Trench was distinguished by a higher concentration and biomass of microphytoplankton with respect to the rest of the Economic Exclusive Zone (EEZ). Chlorophyll **a** concentrations were greater in winter ($0.111 \pm 0.006 \text{ mg m}^{-3}$) than summer cruises ($0.071 \pm 0.002 \text{ mg m}^{-3}$). In general, the increase found in richness of phytoplankton greater than 20 μm coincide with spawning or breeding areas of species of commercial interest, allowing infer that this abundance is a support to development larval populations.

Key words: microphytoplankton; chlorophyll **a**; spatial-temporal distribution; oceanic waters; ASW, Cuba.

En Cuba las investigaciones sobre la comunidad fitoplanctónica se han centrado fundamentalmente, en las áreas de plataforma (Kondriateva, 1968, López-Baluja y Vinogradova, 1974, Borrero *et al.* 1981, Popowski *et al.* 1982, Kabanova, 1981, López-Baluja, 1983, Borrero *et al.* 1984, López-Baluja *et al.*, 1992). Asimismo existen otros estudios realizados en zonas costeras por Loza (1994), Loza *et al.* (1994), Regadera *et al.* (2000), Leal *et al.* (2001), Delgado *et al.* (2006), Loza *et al.* (2007).

Sin embargo, las investigaciones sobre el fitoplancton, en las aguas oceánicas de Cuba, en

general han sido escasas (Kabanova y López-Baluja, 1970; López-Baluja y Vinogradova, 1972; Vinogradova, 1974 y Popowski y Campos, 1987). En investigaciones más recientes realizadas en las aguas oceánicas al sur de Cuba, Melo *et al.* (2000) informan sobre patrones estacionales en el fitoplancton y la clorofila **a** en y su relación con factores hidroclimáticos.

El carácter no sistemático de las investigaciones realizadas hace que existan grandes vacíos en el conocimiento de la variabilidad del fitoplancton y su relación con las características oceanográficas de esta región.

El Mar Caribe, en sentido general, presenta una relativa homogeneidad en el régimen hidrológico, sin cambios estacionales pronunciados y con una alta estratificación térmica de sus aguas que dificulta la mezcla vertical y por tanto, la entrada de nutrientes a la capa fótica, lo cual es la causa fundamental de la baja productividad biológica de la región (Margalef, 1969; Corredor, 1977; Abascal *et al.*, 2003; Okolodkov, 2003). El Caribe occidental, en particular, se caracteriza por una mayor estabilidad de las condiciones oceanográficas a lo largo del año, con una comunidad planctónica pobre y con variaciones estacionales poco marcadas (Okolodkov, 2003).

Por lo anteriormente planteado, resulta de interés poder ampliar los conocimientos existentes sobre la temática del fitoplancton en las aguas oceánicas adyacentes a Cuba analizando la relación entre indicadores vitales del fitoplancton y la dinámica vertical de las aguas.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la distribución, abundancia y composición del microfitoplancton y la clorofila **a** en las aguas oceánicas al sur de Cuba durante los cruceros realizados en invierno y verano de 1989, y en el invierno de 2005 y su relación con las características oceanográficas de cada época.

MATERIALES Y METODOS

Las muestras fueron colectadas en las aguas oceánicas al sur de Cuba, durante los cruceros de investigación realizados en invierno (febrero – marzo 1989 y marzo 2005) y en verano (mayo – junio y julio – agosto de 1989) (Fig. 1).

Para el análisis cuantitativo del fitoplancton las muestras se colectaron con botellas Nansen de 10 L de capacidad, a nivel subsuperficial y se concentraron mediante filtración invertida (Sorokin, 1979), a través de una malla de 20 μm de diámetro de poro. El volumen de agua filtrado por estaciones osciló entre 5 y 10 L.

Las muestras concentradas por filtración invertida se fijaron con lugol ácido y se centrifugaron. El análisis del fitoplancton mayor de 20 μm se realizó a partir de tres réplicas de 0.02 mL cada una, de las que se escogieron 28 líneas al azar en una cámara Sedgewick-Rafter y un cubreobjetos de 22 x 22 mm. La concentración de fitoplancton se expresa en $\times 10^6 \text{ cel}\cdot\text{m}^{-3}$ y la biomasa en $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}$ según Strathmann (1967).

Simultáneamente, en cada estación se tomaron muestras para el análisis de la concentración de pigmentos en el nivel subsuperficial, con ayuda de una botella oceanográfica Nansen de 10 L. El volumen de agua filtrado fue entre 5-10 L, empleando un filtro de membrana Whatman GF/C de 0.45 μm de diámetro de poro.

La clorofila **a** se determinó según el método propuesto por el grupo de trabajo de la SCOR-UNESCO (1966), modificado por Koblents – Mishke (1983) y en el cálculo de la concentración se emplearon las ecuaciones de Jeffrey y Humphrey (1975).

La comparación de medias de las variables consideradas se realizó mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon para pares de datos empleando el programa Statistica 6.0 (© Statsoft, Inc., 1984-2001) con un nivel de confiabilidad de 0,05.

RESULTADOS

El fitoplancton mayor de 20 μm en las aguas oceánicas de la Zona Exclusiva Económica (ZEE) al sur de Cuba, en general, presentó una densidad celular que osciló entre 1.01 y 264. 21 $\times 10^6 \text{ cél m}^{-3}$ y una biomasa que varió entre 0.09 y 5.45 mgC m^{-3} , durante los muestreos realizados en 1989 y 2005. Al comparar el área de la Fosa de Jagua con el resto de la ZEE, se observó que ésta se distinguió por las mayores concentraciones (8.83; 18.85 y 264.21 $\times 10^6 \text{ cél m}^{-3}$), y biomásas (1.4; 4.66 y 5.45 mgC m^{-3}), tanto en el crucero de invierno (febrero – marzo de 1989) como en los de verano (mayo – junio y julio – agosto de 1989), respectivamente. Es de destacar que los valores observados en el verano en esta área resultaron superiores. Sin embargo, en el resto de la ZEE, se obtuvo un comportamiento inverso, con una tendencia al incremento de los valores de biomasa en el invierno (4.67 mgC m^{-3}).

En la Fosa de Jagua (FJ) se encontró que, tanto en invierno como en verano, los valores de concentración y biomasa resultaron significativamente superiores a los del resto de la zona exclusiva económica (ZEE) ($Z: 2.29$ y $Z: 2.12$, $n = 20$, $p < 0.05$) y las zonas más ricas se localizaron en las inmediaciones de los golfos de Ana María y Batabanó y en áreas aledañas a la bahía de Cienfuegos. En la FJ las mayores concentraciones se encontraron en el verano (mayo – junio, 1989 y julio – agosto, 1989) independientemente de que

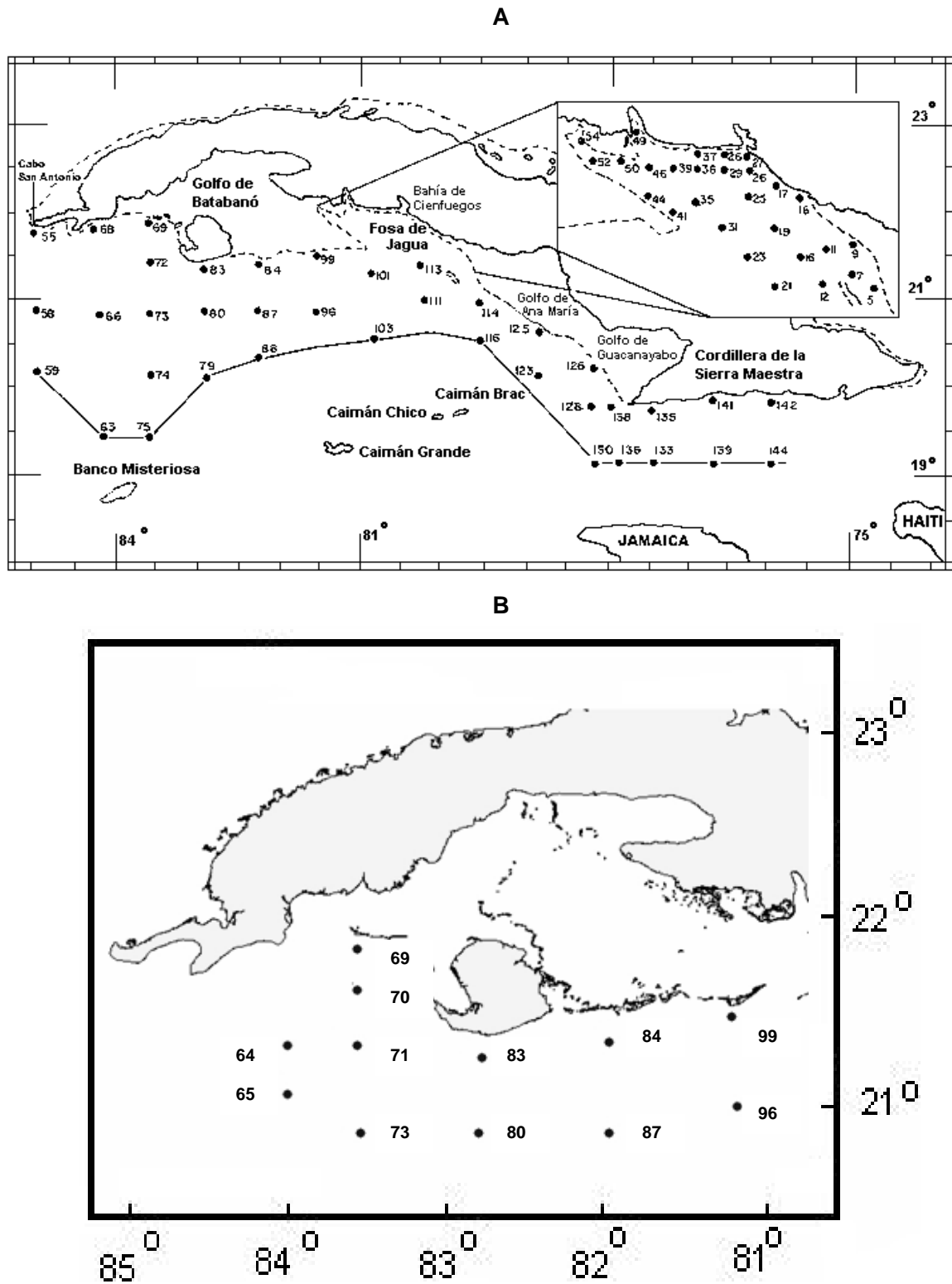


Fig. 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en la ZEE al sur durante 1989 (A) y 2005 (B). Las coordenadas de las estaciones muestreadas en el 2005 coinciden con las del año 1989.

no se obtuvieron diferencias significativas entre las épocas ($n=20$, $p < 0,05$). En el resto de la ZEE, existieron diferencias significativas entre la época de invierno y verano de 1989 ($Z: 2.73$, $n=28$, $p < 0.05$).

La distribución de la biomasa de los diferentes grupos del microfitoplancton, en la Fosa de Jagua, mostró que en la época de invierno, en general, los valores de biomasa resultaron mayores con relación al verano y éstos estuvieron determinados por los dinoflagelados y las diatomeas (Fig. 2). Sin embargo, en el verano el aporte de la biomasa de los otros grupos fue mayor con relación al invierno. Es de destacar, que en el verano, en la zona aledaña a la bahía de Cienfuegos, se encontró que las diatomeas fue el grupo que más aportó a la biomasa mayor de $20 \mu\text{m}$ (Fig. 2).

En el resto de la ZEE, tanto en el verano como en el invierno de 1989, los grupos predominantes fueron los dinoflagelados y otros grupos, mientras las biomásas de las diatomeas fueron bajas (Fig. 3). Es de destacar que la especie *Oscillatoria thiebautii* (Gomont) Geitler 1932 resultó dominante dentro de otros grupos. En el muestreo de invierno del 2005, realizado en la región suroccidental de la ZEE, se encontró un patrón similar al obtenido en el 1989, en cuanto al comportamiento de los grupos estudiados (Fig. 4).

Con relación a la contribución relativa de los grupos del microfitoplancton a la biomasa total, se encontró que en general, en las aguas oceánicas al sur de Cuba, los dinoflagelados fueron los que más aportaron a la biomasa mayor de $20 \mu\text{m}$ en las épocas analizadas, tanto en 1989 como en el 2005 (Fig. 5A, B y C). No obstante, se apreciaron diferencias entre la Fosa de Jagua y la ZEE, en cuanto a la contribución de los grupos, entre el invierno y el verano de 1989 (Fig. 5A). La Fosa de Jagua, en el verano, se caracterizó por presentar un mayor aporte de otros grupos (30%) y de diatomeas (19%) con relación al invierno (2% y 9%, respectivamente) (Fig. 5A). En la ZEE, no se observó una diferencia marcada entre épocas en cuanto a la contribución relativa de los tres grupos fitoplanctónicos, aunque en el invierno se observó un ligero incremento en la contribución de las diatomeas (5 %) (Fig. 5B). En la región SW de la ZEE en el muestreo del 2005, se encontró que los dinoflagelados fueron los que más contribuyeron a la biomasa fitoplanctónica mayor de $20 \mu\text{m}$ (71 %) y en menor medida otros grupos (23 %) y diatomeas (6 %) (Fig. 5C).

En las aguas oceánicas de la ZEE al sur de Cuba las concentraciones de la clorofila **a** en superficie oscilaron entre (0.660 y 0.008 mg. m^{-3}) y se registró un incremento de los valores en la época invernal ($X_{\text{media}} = 0.111 \pm 0.006 \text{ mg m}^{-3}$). Por el contrario, en la Fosa de Jagua, región con una elevada influencia de aporte terrígeno, los valores máximos se alcanzaron en el verano ($0.834 \pm 0.017 \text{ mg m}^{-3}$) que corresponde con la época lluviosa del año.

La distribución espacio-temporal de la clorofila **a**, en las aguas superficiales de la ZEE, mostró una marcada estacionalidad, con valores mayores en el invierno de hasta $0,66 \text{ mg m}^{-3}$, mientras en el verano el máximo valor fue de 0.34 mg m^{-3} . En el invierno se distinguió la región SW por presentar las mayores concentraciones de clorofila **a**, con un área de máximos valores en las aguas oceánicas donde se manifiesta la frontogénesis asociada a la contracorriente cubana y otra zona ubicada en las inmediaciones de los golfos de Ana María y Guacanayabo. En el verano, en general se observó una disminución de los valores de clorofila **a** en toda la ZEE, aunque es de señalar que la región SW mantuvo concentraciones ligeramente superiores (Fig. 6). En la Fosa de Jagua se registraron incrementos de la concentración de clorofila **a** en el verano, con los mayores valores en el golfo de Cazones y al S de la bahía de Cienfuegos (Fig. 6).

Al comparar los resultados de los cruceros de invierno con los de verano se encontraron diferencias significativas entre la biomasa de diatomeas en la FJ con respecto a la ZEE en el verano de 1989 ($Z: 2.52$, $n=29$, $p<0.05$) y entre el invierno y el verano en la FJ para la biomasa de otros grupos. Además, las concentraciones de clorofila **a** resultaron significativamente diferentes entre las zonas ($Z: 5.06$, $n=65$, $p<0.05$).

DISCUSION

Las variaciones de la composición, distribución y abundancia del microfitoplancton y de la concentración de sus pigmentos fotosintéticos en las aguas oceánicas, se encuentran relacionadas con las características oceanográficas, con los cambios en la disponibilidad de nutrientes en el medio y con los requerimientos fisiológicos de los grupos fundamentales de las microalgas (Lalli y Parsons, 1993).

En las aguas oceánicas los nutrientes pueden ingresar a la capa fótica por dos vías fundamenta-

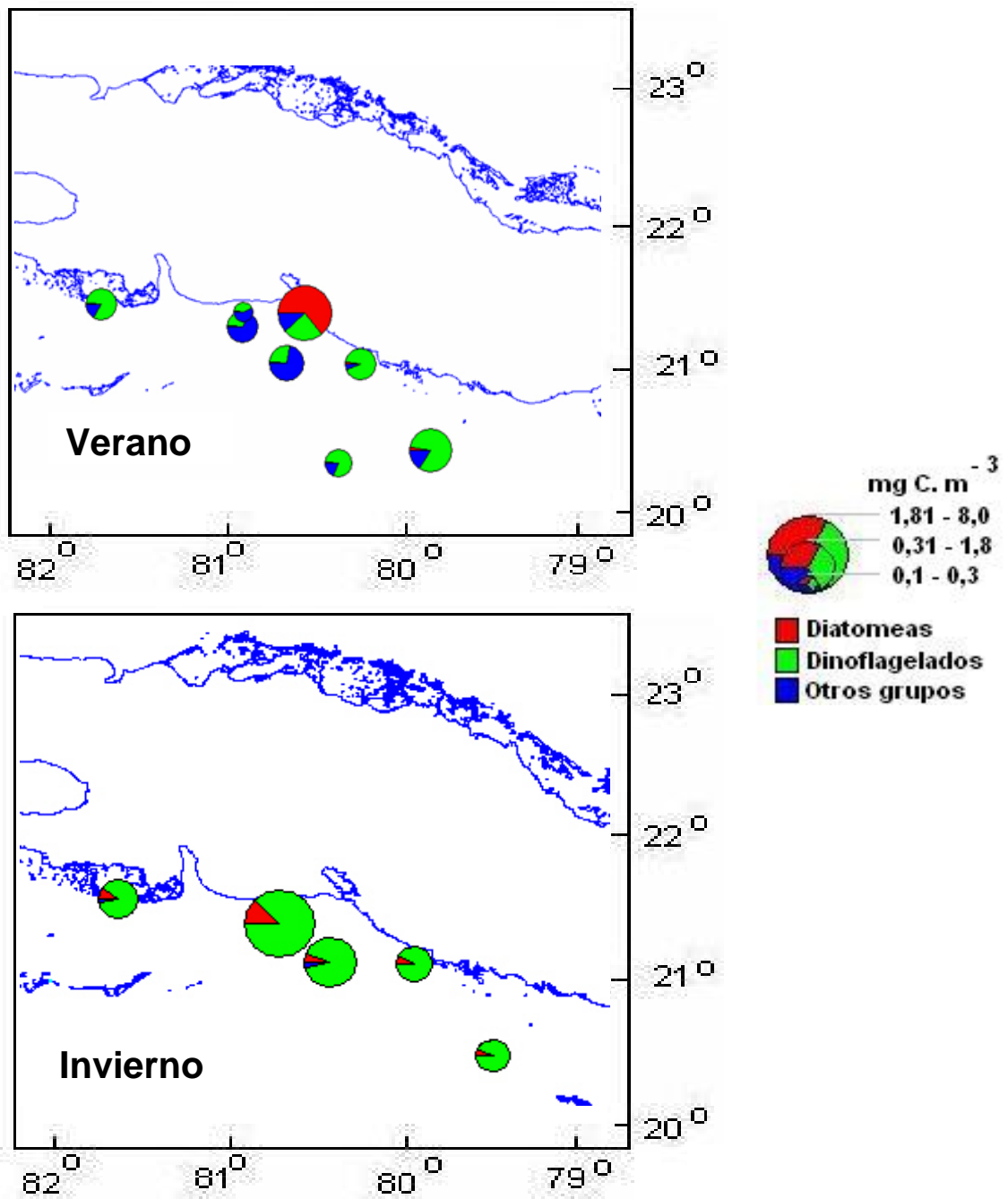


Fig. 2. Distribución de la biomasa de los diferentes grupos del microfitoplancton, en la Fosa de Jagua, en verano e invierno.

les (por aportes terrígenos en zonas cercanas a la costa y mezcla vertical desde las capas más profundas), o bien pueden ser reciclados dentro de la capa fótica, por la actividad bacteriana (Guershanovich y Muromtsev, 1982). En estos ecosistemas, el patrón estacional está íntimamente relacionado con las variaciones de la temperatura

de las aguas, así tenemos que en el verano las elevadas temperaturas favorecen la estratificación térmica de la columna de agua, mientras en el invierno se aprecia una mayor homogeneidad por la disminución de la temperatura. Esta condición existente en el invierno, sumada a la ocurrencia de frentes fríos, permite una mayor mezcla vertical de

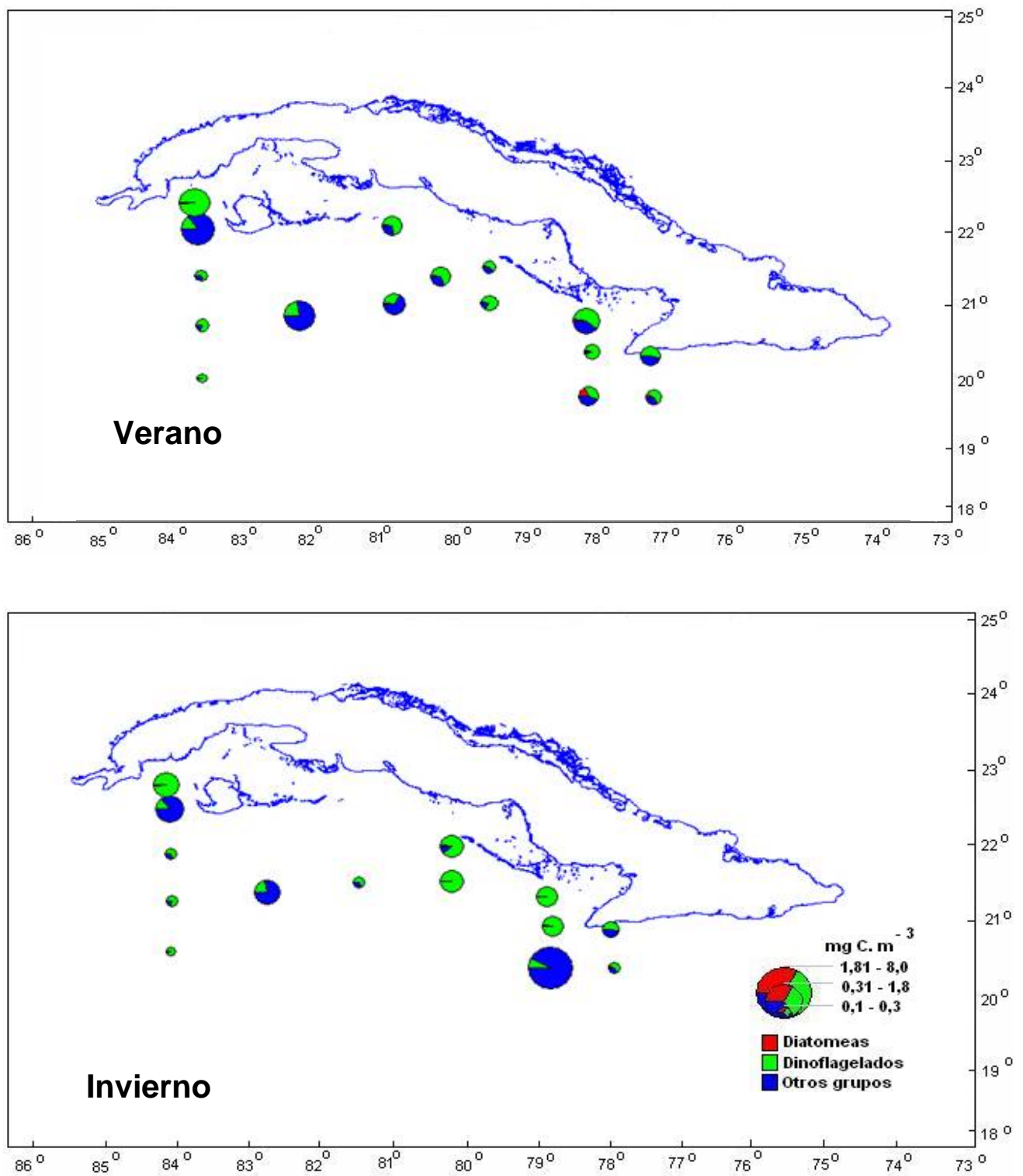


Fig. 3. Distribución de la biomasa de los diferentes grupos del microfitoplancton, en la ZEE al sur, en el verano e invierno

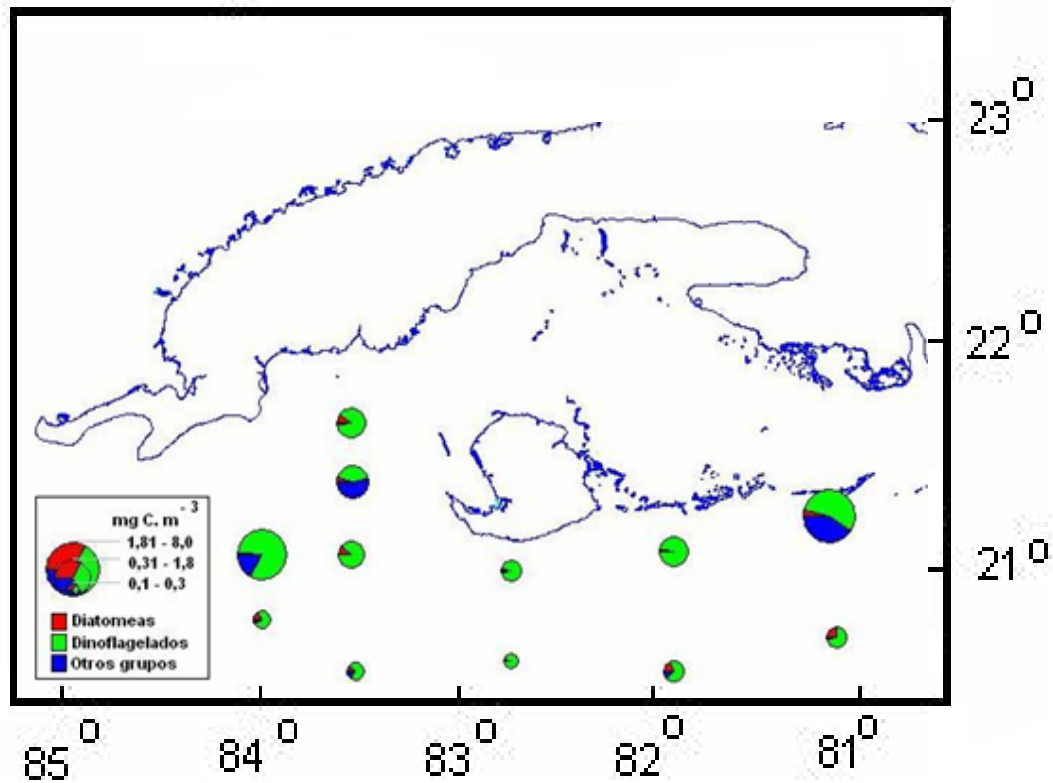


Fig. 4. Distribución de la biomasa de los diferentes grupos del microfitoplancton, en la región occidental de la ZEE al sur, en el invierno 2005.

la columna de agua, con el consiguiente aporte o entrada de nutrientes desde capas profundas (Guershanovich y Muromtsev, 1982; Lee y Williams, 2000).

Los estudios más recientes realizados en el área del Caribe, demuestran que al sur de Cuba la circulación de las aguas presenta una dirección hacia el W y NW en todas las épocas del año y está dominada por giros ciclónicos y anticiclónicos, corrientes y contracorrientes a lo largo de la costa y frentes oceánicos, que contribuyen a la mezcla vertical de la columna de agua (Andrade y Barton, 2000; Centurioni y Niiler, 2003; Hernández y Piñeiro, 2003; Richardson, 2005; Arriaza *et al.*, 2008).

En general, la Fosa de Jagua presentó características distintivas del resto de la Zona Exclusiva Económica (ZEE), lo que justifica las diferencias encontradas entre ambas zonas, con respecto a la concentración de clorofila **a** y la concentración y biomasa del microfitoplancton. Esta zona está sometida, además de a los cambios

estacionales del hidroclima, a un intercambio permanente con las aguas enriquecidas procedentes de las plataformas sur oriental y sur occidental: golfos de Batabanó y de Ana María, respectivamente, que poseen elevada productividad biológico-pesquera (Claro, 2001, Baisre, 2004). Otro ingreso importante de materia orgánica a esta fosa son las aguas provenientes de la bahía de Cienfuegos (Areces, 1986) y del escurrimiento superficial y subterráneo de las aguas de la Ciénaga de Zapata (Lluis-Riera, 1983).

Lo anterior pudiera explicar los cambios más acentuados encontrados en la Fosa de Jagua (FJ), tanto en el invierno como en el verano, con respecto al resto de la Zona Exclusiva Económica (ZEE), en cuanto a la concentración y biomasa de las diatomeas, en particular, y a los mayores valores de la concentración y la biomasa fitoplanctónica mayor de 20 μm , en general, los que resultaron 4 veces y 2 veces mayor, respectivamente, que en la ZEE.

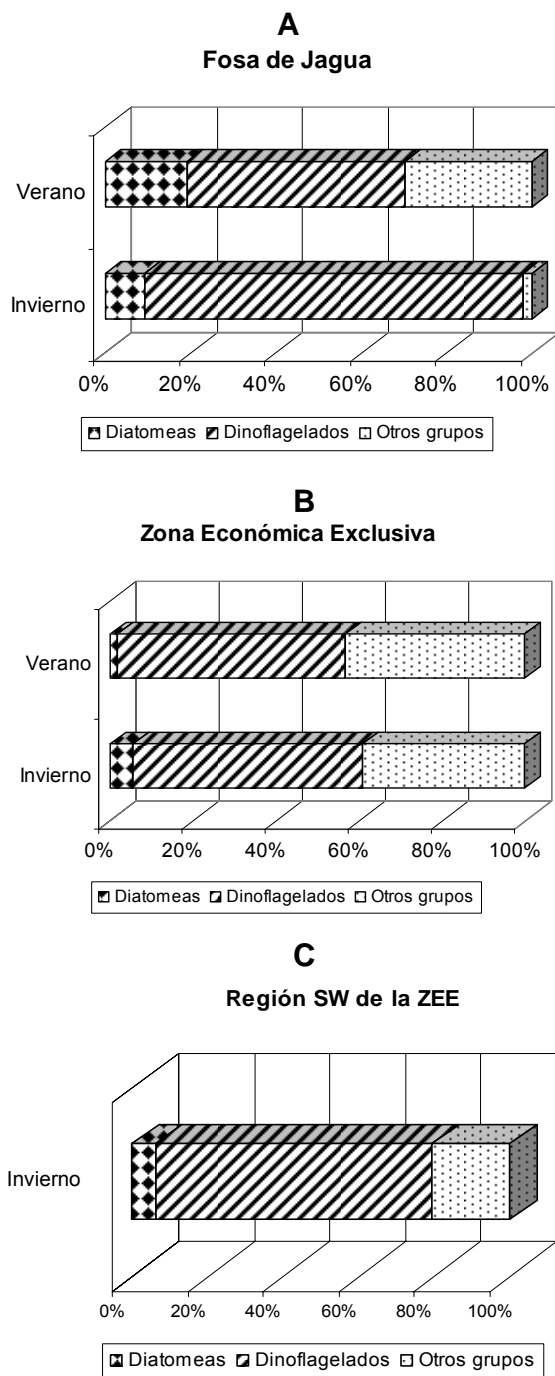


Fig. 5. Contribución relativa de la biomasa de los principales grupos del fitoplancton mayor de 20 µm, en la región occidental de las aguas oceánicas al sur de Cuba. A: invierno y verano de 1989 de la Fosa de Jagua, B: invierno y verano de 1989 de la ZEE y C: invierno del 2005 de la ZEE.

Por su parte en el resto de la ZEE, el desarrollo del microfitoplancton se encuentra más favorecido en las áreas donde existe un ingreso adicional de nutrientes, como por ejemplo, por el aporte de las aguas provenientes de los golfos de Batabanó, Ana María y Guacanayabo y en regiones con una dinámica vertical fuerte.

Victoria y Penie (1998) informaron que en las aguas oceánicas adyacentes a Cuba, independientemente de la época del año, puede ocurrir una incorporación de nutrientes a la capa fótica de manera local, procedente de zonas costeras o cercanas a la plataforma. Por otro lado, Arriaza *et al.* (2008) informan la existencia *cuasi* permanente de un complejo sistema de circulación formado por giros ciclónicos y zonas frontales los que pueden aumentar en periodos de mayor turbulencia, todo lo cual contribuye a la entrada de nutrientes a la capa fótica, procedentes de las capas más profundas.

Las aguas oceánicas de la ZEE, en ambas épocas muestreadas, se caracterizaron por presentar una mayor contribución de los dinoflagelados y de otros grupos a la biomasa total del microfitoplancton. Estos grupos presentan características fisiológicas que le permiten su desarrollo en aguas oligotróficas.

Los dinoflagelados tienen bajos requerimientos de nutrientes y sus óptimos de temperatura e iluminación son altos, además pueden adoptar diferentes formas de nutrición (autótrofa, heterótrofa y mixotrófica) en dependencia de las características del medio (Koblents-Mhishke y Vedernikov, 1977; Gaines y Elbrächter, 1987; Gamboa-Márquez *et al.*, 1994). Mientras, el mayor aporte de la biomasa de los otros grupos al microfitoplancton total, encontrado fundamentalmente en la época de verano, se debió casi en su totalidad al desarrollo de la cianobacteria *Oscillatoria thiebautii* (Gomont) Geitler 1932, la cual es capaz de fijar el nitrógeno molecular del aire (Corredor, 1977; Berman-Frank *et al.*, 2003; Sant'Anna *et al.*, 2005). Según Carpenter y Romas (1991) esta capacidad se ve afectada durante el invierno, por el oleaje fuerte.

López-Baluja y Vinogradova (1972) informaron valores de productividad primaria muy bajos, para las aguas oceánicas adyacentes a Cuba, donde existe un fitoplancton empobrecido con predominio de las cianobacterias y dinoflagelados, que pueden utilizar eficientemente, el escaso contenido de nutrientes de esta región (Margalef, 1980). Por su

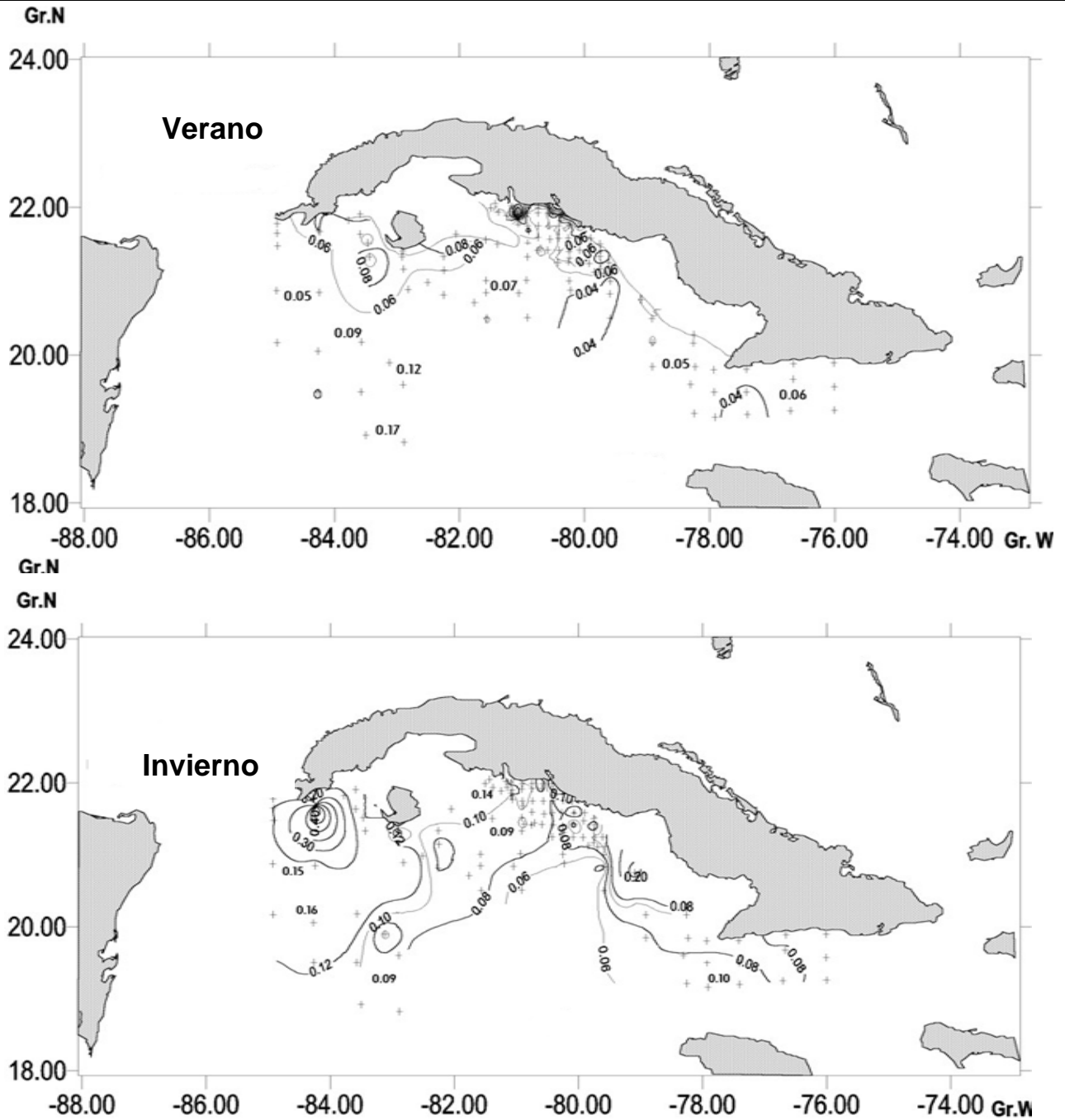


Fig. 6. Concentración de clorofila **a** ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) en el nivel superficial, en verano y en invierno de 1989.

parte, Carpenter (1975) y Okolodkov (2003) informan la presencia de esta especie como muy común en aguas del Caribe, en condiciones de elevada estratificación térmica, acompañada de los dinoflagelados.

No obstante, en el invierno de 1989 se evidenció una variación de la estructura del fitoplancton oceánico mayor de $20 \mu\text{m}$, en la ZEE, por el incremento del aporte de la biomasa de las diatomeas, lo que pudiera estar asociado a las condiciones oceanográficas que caracterizan la época invernal.

En el invierno, tiene lugar una disminución de la temperatura superficial del agua y un aumento de la intensidad y persistencia de los vientos que favorece la mezcla vertical y la entrada de nutrientes a la capa fótica desde aguas profundas (Gutiérrez *et al.*, 2001). En esta época, el grosor de la capa mezclada alcanza como promedio 140 m (Fernández *et al.*, 1990). Estas condiciones oceanográficas al parecer favorecen el desarrollo de las diatomeas ya que este grupo se distingue por sus altos requerimientos de nutrientes, fundamentalmente nitratos y nitritos, y bajos óptimos de iluminación y temperatura (Finenko, 1977; Lara-Villa *et al.*, 1996).

Es de señalar que las variaciones estacionales de la concentración y biomasa del microfitoplancton encontradas en el presente trabajo también fueron reportadas para las aguas oceánicas al NE del golfo de México y NW de Cuba por López-Baluja *et al.* (1992). Estos autores refieren valores máximos de concentración de 12×10^6 cél. m^{-3} y mínimos de 1.7×10^6 cél. m^{-3} y valores de biomasa de 23 mg. m^{-3} y 1.8 mg. m^{-3} .

En el muestreo del 2005, en la ZEE no se observó un mayor aporte de las diatomeas. Al parecer esta situación se debe a que la concentración de nitratos y nitritos detectada durante el 2005 resultó 4 veces menor y la temperatura de la capa superior mezclada (0 – 200 m) se incrementó hasta en 1.7 °C, con respecto a 1989.

La concentración de clorofila **a** en invierno, en la ZEE resulta como promedio el doble de la observada en el verano y algo menor para la FJ. Este comportamiento guarda relación con el debilitamiento de la estratificación térmica que ocurre en esta época, debido a una intensa dinámica vertical, lo que propicia una mayor disponibilidad de nutrientes en las capas superiores de la columna de agua. Según Koblents-Mhishke y Vedernikov (1977), el contenido de clorofila **a** en las células aumenta al disminuir la intensidad de la luz incidente y aumentar la concentración de elementos biogénicos en el medio. Estos resultados concuerdan con los estimados de clorofila **a** obtenidos por la NASA para el área, mediante el radiómetro CZCS, instalado en el satélite Nimbus – 7 (Melo *et al.*, 1995; Melo *et al.*, 2000). No obstante, en la Fosa de Jagua se observaron en el verano aumentos de la concentración de clorofila **a** y un mayor aporte de las diatomeas, así como incrementos de la concentración y/o biomasa del fitoplancton total mayor de 20 μm , en zonas como el Golfo de

Cazones y el Sur de la bahía de Cienfuegos. Lo anterior pudiera estar relacionado con un mayor intercambio con las aguas enriquecidas en nutrientes provenientes de la plataforma y de la bahía que presentan estas zonas (Fernández *et al.*, 1990; Fernández-Vila, 1990).

El oeste de la Fosa de Jagua es una zona de una riqueza biológica relativamente elevada, según las investigaciones realizadas en el área por Gutiérrez *et al.* (1990), Alfonso *et al.* (1995 a y b) y Orozco (1997). Estos autores encontraron en el Golfo de Cazones elevadas concentraciones de larvas de peces, de larvas de langosta (fundamentalmente del estadio I) y de microzooplancton, respectivamente.

En los océanos, la descomposición de la materia orgánica, la regeneración de nutrientes y la producción de materia orgánica son procesos fundamentales que caracterizan el estado trófico del ecosistema (Ducklow, 2000, Kirchman, 2000).

Las aguas oceánicas alrededor de Cuba atendiendo a las concentraciones de microfitoplancton y a la concentración de clorofila **a** se clasifican como oligotróficas, con algunas zonas puntuales mesotróficas (Pérez *et al.*, 1990; Loza, 1998; Lugioyo *et al.*, 2007). Por otro lado, es común encontrar bajas biomásas de autótrofos en la región del Caribe, como se puede inferir a partir de las concentraciones de pigmentos fotosintéticos en la zona cercana a Cuba (Muller-Karger *et al.* 1989, Melo *et al.*, 1995). También dichos autores informaron que las concentraciones de pigmentos en zonas del Mar Caribe y el Golfo de México y en el Mar de los Sargazos fueron bajas.

No obstante a lo anteriormente referido, resulta importante resaltar que, en general, las zonas donde se encontraron incrementos de la biomasa fitoplanctónica mayor de 20 μm , como los golfos de Cazones, Ana María y Guacanayabo y en el borde suroccidental de la plataforma del golfo de Batabanó, coinciden con áreas de desove de especies de peces (Frias *et al.*, 1994) y crustáceos de interés comercial, entre los que se destaca la langosta *Panulirus argus* (Baisre, 1976; Alfonso *et al.*, 1995 a). Además, en las aguas oceánicas adyacentes a la Isla de la Juventud, al SW de Cuba ha sido informado la existencia de elevadas concentraciones de larvas de langosta por Alfonso *et al.* (2007).

Por su parte, el incremento relativo de la biomasa del fitoplancton mayor de 20 μm que ocurre en el

invierno, en las aguas abiertas del extremo occidental de la ZEE, pudiera favorecer un mejoramiento de la base alimentaria de los estadios más avanzados de la langosta, que son retenidos en esta región gracias a las características de la circulación de la capa superficial (Gutiérrez y Álvarez, 2008).

El sur de Cuba se caracteriza por la mas larga permanencia de series de remolinos en el Caribe (Richardson, 2005). Estos mecanismos físicos proporcionan el tiempo suficiente para que las larvas de langosta *Panurilus argus* concluyan su periodo de desarrollo larval, el cual es de 6 a 8 meses, según Alfonso *et al.* (2000). La mayor permanencia de estos remolinos en el área también favorece el período de duración larval de muchas especies tropicales, como pargos y roncós, además de que propician la retención de larvas en las proximidades de los sitios de desove y garantizan un reclutamiento exitoso para otras especies marinas (Gutiérrez y Álvarez, 2008).

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el papel que desempeña el transporte de Ekman y su relación con los primeros estadios de larvas de langosta *Panurilus argus*. Al sur del golfo de Batabanó el transporte Ekman crea condiciones de mezcla convectiva en las primeras capas del océano que favorece la retención larvaria, así como su alimentación en las capas subsuperficiales (Alfonso *et al.*, 1995 b; Hernández y Piñero, 2003). Spounagle *et al.* (2002) informan que los remolinos oceánicos y el transporte de Ekman pueden jugar un rol importante en la supervivencia de las larvas.

Las investigaciones sobre el ciclo de vida de la langosta *P. argus* han coincidido en que la mayor actividad reproductora de la langosta en la región suroccidental de Cuba es realizada en áreas cercanas al borde de la plataforma, comportamiento que probablemente está en función de asegurar la dispersión larval oceánica y que el desove principal ocurre entre los meses de febrero y mayo (Cruz y de León, 1991). Según, Cruz *et al.* (1991a) el máximo de reclutamiento larval a la plataforma suroccidental se produce entre los meses de septiembre a noviembre.

En el período que las larvas viven en el océano están expuestas a factores biológicos como es la disponibilidad del alimento (Alfonso, 1998), por lo que la correspondencia encontrada entre los altos valores de biomasa de fitoplancton y las zonas de desove de organismos de interés comercial, así como de elevadas concentraciones de larvas de

langosta, sugiere que esta biomasa pudiera constituir un soporte para la supervivencia de los primeros estadios de desarrollo de estas especies, muy dependiente de la dinámica vertical de las aguas oceánicas. Lo anterior habla a favor de determinada regularidad en la variabilidad espacio-temporal del fitoplancton descrita en el presente trabajo.

Capetillo *et al.* (2005), al comparar la distribución de las filosomas de la langosta en el crucero de abril del 2005 con respecto a años anteriores (mayo 1993, 1994 y 1996), refieren que en las aguas oceánicas al sur de Cuba se mantiene el patrón físico-químico y biológico que sustenta el ciclo larval de la especie *P. argus*.

CONCLUSIONES

1. Las aguas oceánicas al S de Cuba en el invierno, presentan una mayor diversidad en la estructura del fitoplancton, con un mayor aporte de las diatomeas, así como mayores valores de concentración de clorofila **a**.
2. En la época de verano, las aguas oceánicas al S de Cuba se caracterizan por un incremento en la concentración celular determinado por el desarrollo de los dinoflagelados y de la biomasa, por el aporte de este grupo y de la cianobacteria *Oscillatoria thiebautii* (Gomont) Geitler 1932 y una disminución en la concentración de clorofila **a**.
3. Los incrementos de la riqueza fitoplanctónica que ocurren en el invierno y en el verano, en determinadas zonas de las aguas oceánicas al sur de Cuba y en las áreas aledañas a los golfos de Czones, Ana María y el borde de la plataforma de Batabanó, coinciden con zonas de desove de especies de interés pesquero, lo que posibilita el mejoramiento de la base alimentaria de estas especies y pudiera constituir un soporte para la supervivencia de los primeros estadios de desarrollo larval, muy dependiente de la dinámica vertical de las aguas oceánicas.

REFERENCIAS

- Abascal, A., J. Sheinbaum, J. Candela, J. Ochoa and A. Badan (2003): Analysis of flow variability in the Yucatán channel. *J. Geophys. Res.*, 108(12): 33- 41.
- Alfonso, I. (1998): Abundancia y distribución larval de la langosta espinosa *Panurilus argus* en aguas

- oceánicas cubanas. Universidad de la Habana, La Habana, Cuba, *Tesis de Maestría*, 41 pp.
- Alfonso, I., M.P. Frías, J. Baisre y A. Campos, (1995 a): Distribución y abundancia de larvas de la langosta (*Panulirus argus*) en aguas alrededor de Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.*, 19(1): 10–15.
- Alfonso, I., M.P. Frías, J. Baisre y B. Hernández (1995b): Distribución vertical de filosomas de langosta (*Panulirus argus*) y su relación con algunos factores hidroclimáticos al sur del golfo de Batabanó. *Rev. Cub. Invest. Pesq.*, 19(1):3–9.
- Alfonso, I., M.P. Frías, y J. Baisre (2000): Distribución larval de la langosta comercial *Panulirus argus*, en relación con algunos factores hidrometeorológicos, al sur de Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 21(1-3): 23–32.
- Alfonso, I.R., M.P. Frías, C. Alonso, O. Fadrigrás y A. Lopeztegui (2007): Contexto actual larvario de la langosta *Panulirus argus* al sur del golfo de Batabanó. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 1:15 – 24.
- Andrade, C.A. and E.D. Barton (2000): Eddy development and motion in the caribbean sea. *J. Geophys. Res.*, 105 (26): 191–201.
- Areces, A. (1986): Bahía de Cienfuegos: eutrofización y planeamiento ambiental. Instituto de Oceanología, *Rep. Invest.* 51: 1-16.
- Arriaza L., O. Ramírez, J. Simanca, L. Rodas, D.E. Milian L. y P.L. Romero S. (2008): Determinación de corrientes marinas para la gestión ambiental marino-costera cubana. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, Vol. 8, CD ROM.
- Baisre, J.A. (1976): Distribución de las larvas de *Panulirus argus* y *Scyllarus americanus* (Crustacea Decapoda) en aguas alrededor de Cuba. *Rev. Cub. de Invest. Pesq.* 2: 277–297.
- Baisre, J. (2004): Marco Ecológico, En: *La pesca marítima en Cuba*, Cap. 1, Ed. Científico-Técnica, La Habana, 372 pp.
- Berman-Frank, I., P. Lundgren and P. Falkowski (2003): Nitrogen fixation and photosynthetic oxygen evolution in cyanobacteria. *Microbiology* 154: 157-164.
- Borrero, N., L. López-Baluja y G. Popowski (1981): Distribución del fitoplancton en la región nororiental de la plataforma de Cuba. *Cienc. Biol.* 6: 16-44.
- Borrero, N., L. López-Baluja y G. Popowski (1984): Distribución del fitoplancton en la región SE de la plataforma de Cuba. *Rep. Invest. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba* 27: 1-29.
- Capetillo, N., M. Martínez, M. Lugioyo, S. Loza, M. Carmenate, B. Martínez y J. Espinosa (2005): Potencial alimentario y calidad del habitat de la langosta espinosa *Panulirus argus* (Latreille, 1804) en el golfo de Batabanó. Informe Final Tema, Arch. Cient. Centro Invest. Pesq. e Inst. Oceanol. Cuba, La Habana, Cuba, 16 pp.
- Carpenter, E.J. (1975): Nitrogen fixation, distribution and production of *Oscillatoria (trichodesmium)* in the NW Atlantic and Caribbean Sea. *Abstract 38th Ann. Meet. Amer. Soc. Limnol. Oceanogr.*, Halifax, Canadá, pp: 389–401 (citado por Corredor, 1977).
- Carpenter, E.J. and K. Romas (1991): Major role of the cyanobacterium *Trichodesmium* in nutrient cycling in the North Atlantic Ocean. *Science* 254: 1356-1358.
- Centurioni, L. and P. Niiler (2003): On the surface currents of the Caribbean Sea. *Geophysical Research Letters* 30(6):1279-1285.
- Claro, R. (2001): *Ecology of the Marine Fishes of Cuba*. Smithsonian Inst. Press (R. Claro, C. Lindeman y L.R. Parenti, eds.), 215 pp.
- Corredor, J.E. (1977): Aspects of phytoplankton dynamics in the Caribbean sea and adjacent regions. Symposium on progress in marine research in the Caribbean and adjacent regions, FAO, *Fish. Rep.* 200:101 – 114.
- Cruz, R. y M.E. de Leon (1991): Dinámica reproductiva de la langosta (*Panurilus argus*) en el archipiélago cubano. *Rev. Invest. Mar.* 12(1-3): 234–245.
- Cruz, R., M.E. de León, E. Díaz, R. Brito y R. Puga (1991a): Reclutamiento de puerulus de langosta *Panurilus argus* a la plataforma cubana. *Rev. Invest. Mar.* 12(1-3): 66–75.
- Delgado, G., C.H. Lechuga, G. Popowski, L. Trocoli, C.A.L. Salinas (2006): Epiphytic dinoflagellates associated with ciguatera in the northwestern coast of Cuba. *Rev. Biol. Trop.* 54(2): 29 – 310.

- Ducklow, H.W. (2000): Bacterial Production and Biomass in the Oceans. En: *Microbial Ecology of the Oceans* (D.L. Kirchman, ed.), Wiley-Liss, Chapter 4, New York, pp: 85-120.
- Fernández, M., R.M. Hidalgo, D. López, I. García e I. Penié (1990): *Caracterización hidroquímica de la Fosa de Jagua y la Zona Económica Exclusiva al S de Cuba. (Inédito). Informe final de tema*, Arch. Cient. Inst. Oceanol., 24 pp.
- Fernández-Vila, L., H. Rondón, H. Puentes y M. Gisbert (1990): *Régimen dinámico de la zona Golfo de Cazonas-Bahía de Cochinos*. Arch. Cient. Inst. Oceanol. 15 pp.
- Finenko, Z.Z. (1977): *Adaptación de las algas planctónicas a los principales factores del medio oceánico* (en ruso). Oceanología: Biología del océano., Nauka, Moscú, tomo 1: 9 – 18.
- Frias, M.P., G. Delgado, C. Álvarez, y N. Fernández (1994): Distribución y abundancia larvaria de las especies *Katsuwonus pelamos* y *Thunnus atlanticus* (Pisces: Scombridae), en la ZEE de Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 18(2): 44-49.
- Gaines, G. and M. Elbrächter (1987): Heterotrophic nutrition. En: *The Biology of dinoflagellates* (F.J.R. Taylor, ed.), Blackwell, Oxford, pp: 224 – 268.
- Gamboa – Márquez, J.F., I.G. Sánchez-Suárez y A. La Barbera-Sánchez (1994): Dinoflagelados (Pyrrophyta) del Archipiélago Los Roques (Venezuela): Familias Procentraceae y Ostreopsidaceae. *Acta Cient. Venezolana. Biol. Mar.* 45: 140 – 152.
- Guershanovich, D. E. y A.M. Muromtsev (1982): *Bases biológicas de la productividad del Océano Mundial*. Guidrometeoizdat, Leningrado, 320 pp. (en ruso)
- Gutiérrez, A. y A. Álvarez (2008): Los remolinos oceánicos: mecanismos físicos de retención de partículas. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental* 8(1): 185- 196.
- Gutiérrez, A., J. Viamontes, J. Pérez, J. Jiménez y R. Barbeito (2001): Comportamiento de la temperatura superficial de las aguas oceánicas alrededor de Cuba en un período de 34 años. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 1, 1-10.
- Gutiérrez, E., M. Montolio y M.P. Frías (1990): Composición de la comunidad ictioplanctónica de las aguas territoriales al sur de Cuba. En: *Memorias del II Congreso de Ciencias del Mar*, La Habana, Cuba.
- Hernández, B. y R. Piñeiro (2003): Hundimiento de las aguas al sur de Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 31(1): 10-25.
- Jeffrey, S.W. and G.F. Humphrey (1975): New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. and Physiol.*, 167: 191 – 194.
- Kabanova, Y.G. (1981): Productivity of phytoplankton near the Northwestern coast of Cuba. In: *Ecology of Marine Phytoplankton*, Moscow, pp: 89 – 116.
- Kabanova, Y.G. and L. López- Baluja (1970): Primary production in the Southern Gulf of Mexico and near the Northwestern coast of Cuba. *Oceanological Studies* (USSR), 20: 46-68.
- 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 océano., Nauka, Moscú, tomo 2, pp:183 – 209 (en ruso)
- Koblents-Mishke, O.I. (1983): Métodos de determinación de los pigmentos fotosintéticos en muestras con y sin extracción. En: *Métodos modernos de evaluación cualitativa de la distribución del plancton marino*, Nauka, Moscú, pp: 114 – 125 (en ruso)
- Kondratieva, T.M. (1968): Production of phytoplankton in the Northwestern Cuba platform. In: *Studies on the Central-American seas*, 2, Kiev, pp: 40-45.
- Lalli, C.M. and T.R Parsons (1993): *Biological Oceanography: An Introduction*. Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 301 pp.
- Lara-Villa, M.A., J.L. Moreno-Ruiz y E.J. Amaro-Mauricio (1996): Fitoplancton: conceptos básicos y técnicas de laboratorio. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 227 pp.

- Leal, S., G. Delgado y G. Popowski (2001): *Prorocentrum gracile* Schütt, 1895 (Dinophyceae, Prorocentrales): nuevo registro de microalga marina para aguas cubanas. *Rev. Invest. Mar.* 22(3):241-242.
- Lee, M.M. and R.G. Williams (2000): The role of eddies in the isopycnic transfer of nutrients and their impact of biological production. *J. Mar. Res.* 58: 895-917.
- Lluis-Riera, M. (1983): Régimen hidrológico de la plataforma insular de Cuba. *Cien. de la Tierra y el Espacio*, 7: 81-110.
- López-Baluja, L., V.V. Zernova and H.J. Semina (1992): *Phytoplankton of Cuban waters and the Gulf of Mexico*. Ed. Academia, Moscow, 214 pp.
- López-Baluja, L. y L. Vinogradova (1974): Fito-plancton de la plataforma SW de Cuba. *Academia de Ciencia de Cuba. Ser. Oceanol.* 24: 1-17.
- López-Baluja, L. (1983): Characteristics of plankton and mesobenthos on the Cuban shelf. Information Bulletin of the Coordination Center of the Member Countries of the Economic Cooperation Treaty. Institute of Oceanology, USSR, Academy of Sciences, Moscow 15: 46-58.
- López-Baluja, L. y L. Vinogradova (1972): El fitoplancton en aguas adyacentes al archipiélago cubano. *Ser. Oceanol., ACC*, 13: 1 - 24.
- Loza, S. (1994): El nanoplancton de las bahías de Vita y Jururú. Cuba. *Cien. Biol.* 27:1-8.
- Loza, S., R. Pérez, L. López-Baluja y M. Hernández (1994): Variaciones del fitoplancton y de los pigmentos fotosintéticos en tres estanques de precría y engorde del camarón y su relación con algunos factores hidroquímicos. *Cien. Biol.* 27:9-14.
- Loza, S., M. Lugioyo, M. Martínez, M.E. Miravet, J.F. Montalvo y M. Sánchez (2007): Evaluación de la calidad de las aguas del Golfo de Batabanó a partir de indicadores biológicos y químicos. *Rev. Invest. Mar.* 28(2): 111-120.
- Loza, S. (1998): El nanoplancton y el picoplancton en las aguas oceánicas al S de Cuba y al N-NE de la Península de Yucatan. *Tesis de Maestría*, Instituto de Oceanología, Cuba, 73 pp.
- Lugioyo, G.M., M.E. Miravet, R. Pérez, C. Álvarez y G. Espinosa (2007): Evaluación del estado trófico de las aguas oceánicas adyacentes al sur de Cuba a partir de indicadores microbiológicos y fitoplanctónicos. *Rev. Invest. Mar.* 28(3): 201-207.
- Margalef, R. (1969): El ecosistema pelágico del mar Caribe. *En: Memoria, Fundación "La Salle"*, 29: 5 - 36.
- Margalef, R. (1980): *Perspectivas de la teoría ecológica*. Ed. Blume, Barcelona, 100 pp.
- Melo, N., F. Muller-Karger, R. Perez, I. Victoria, P. Cárdenaz and I. Mitrani (2000): Nearsurface phytoplankton distribution in the western intra-american sea: The influence of El Niño and weather events. *J. Geophys. Res.*, 105(6): 14 029 -14 043.
- Melo, N., R. Pérez, y S. Cerdeira (1995): Variación espacio-temporal de los pigmentos del fitoplancton en zonas del Gran Caribe, a partir de imágenes del satélite Nimbus 7 (CZCS). *Avicennia* 3: 103-116.
- Muller-Karger, F.E., C.R. McClain.; T.R. Fisher, W. E. Esaias and R. Varela (1989): Pigment distribution in the Caribbean sea: observations from space. *Prog. Oceanog.* 23: 23 - 64.
- Okolodkov, Y.B. (2003): Una revisión de investigaciones rusas de plancton en el Golfo de México y Mar Caribe en los años 1960-1980. *Hidrobiol.* 13(3): 207-221.
- Orozco, M.V. (1997): Comportamiento del microzooplancton en aguas oceánicas al sur de Cuba. *Tesis de Maestría*, Instituto de Oceanología, Cuba, 84 pp.
- Pérez, R., C. Gil y S. Loza (1990): Variaciones estacionales de fitoplancton en aguas oceánicas al sur de Cuba. *Inf. Final Tema. Arch. Cien. Inst. Oceanol. Cuba.*, 21 pp.
- Popowski, G., L. López-Baluja y N. Borrero (1982): Distribución del fitoplancton en la región NW de la plataforma de Cuba. *Cien. Biol.* 7: 33-51.
- Popowski, C.G. y A. Campos (1987): Estructura comunitaria del plancton oceánico alrededor de Cuba, en marzo de 1981. *Rep. Invest. Inst. Oceanol. Edit. ACC*, 64, 15 pp.
- Regadera, R., G. Delgado y G. Popowski (2000): Caracterización del fitoplancton, clorofila y producción primaria en la bahía de La Habana,

Cuba. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, 1: 244 – 248.

Richardson, P.L. (2005): Caribbean current and eddies as observed by surface drifters. *Deep- Sea Research*, vol. 52, pp: 429–463.

Riera, L.M. (1983): Régimen hidrológico de la plataforma insular de cuba. *Cien. de la Tierra y el Espacio*, 7: 81–110.

Sant'Anna, C., M.T. Azevedo, L. Agujaro, M.C. Carvalho y R.C. Souza (2005): *Manual ilustrado para Identificación y conteo de Cianobacterias planctónicas de aguas continentales brasileiras* (C. Sant'Anna, M.T. Azevedo, L. Agujaro, M.C. Carvalho y R.C. Souza eds.), Editora Interciencia, SP, Brasil, 135 pp.

SCOR-UNESCO (1966): *Determination of photosynthetic pigments in sea-water*. Monographs on oceanography methodology 1, Paris, 69 pp.

Sorokin, Y.I. (1979): Métodos para la concentración del fitoplancton (en ruso). *Guidrobiol sur.*, 15: 71 – 76.

Spounagle, S., R.K. Cowen, A. Shanks, S. Morgan, J.M. Leis, J. Pineda, G. Boehlert, M.J. Kingsford, K.C. Lindeman, C. Grimes and J.L. Munro (2002): Predicting self-recruitment in marine populations: Biophysical correlates and mechanisms. *Marine Science* 70(1): 341–375.

Strathmann, R.R. (1967): Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.* 12(3): 411 – 418.

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, C. Habana, pp: 117-125.

Vinogradova, L.A. (1974): Ciclo anual del desarrollo de la micro y la microflora en un área semicerrada y en las aguas adyacentes de la plataforma cubana. *ACC. Serie Oceanol.* 19: 47-57.

Aceptado: 3 de noviembre de 2008