

Variabilidad de la concentración de clorofila *a* en las aguas adyacentes a la plataforma cubana y su relación con las pesquerías de langosta (*Panulirus argus*).

REGLA DUTHIT SOMOZA^{1,2}
MILTON KAMPEL²
RONALD BUSS SOUZA²

¹ Centro de Investigaciones Pesqueras.
5ta Ave. 246, Barlovento, Sta. Fe, Playa. Ciudad Habana. Cuba. CP: 19100, Cuba
duthit@gmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
milton@dsr.inpe.br, ronald@dsr.inpe.br

Abstract. Space and time variability of Chlorophyll (Chl-*a*) concentrations was described for the Cuban shelf adjacent ocean waters, taking into account Sea viewing Wide Field of view Sensor (SeaWiFS) ocean color monthly images for a September/1997-December/2005 period. Also, it was calculated correlation coefficients between this data and Cuban lobsters (*Panulirus Argus*) captures, to each fisheries area. Seasoning behavior of Chl-*a* concentrations was obtained, being highest for Northwest region on winter (0,30 mg m⁻³). Chl-*a* anomalies had biggest variability on the South and it might be described increased concentrations of this variable within the cool wakes of hurricanes. A low correlation coefficient was found between pigments and lobster captures. However the better correlation (0, 23) was found for the Southwest region with five years of lag.

Palavras-chave: chlorophyll concentration, SeaWiFS, ocean color.

1. Introducción.

La estimación de un recurso pesquero, debe ser estudiada mediante la medición de parámetros que afectan su distribución y abundancia. Muchas investigaciones sobre efectos ambientales relacionados con las pesquerías, han sido orientadas a la correlación de un sólo parámetro: la distribución espacial y temporal de especies. Lógicamente todas las especies responden durante el desarrollo de las fases del ciclo de vida a la suma total de variables bióticas y ambientales. A pesar de los buenos resultados obtenidos en investigaciones científicas que utilizan informaciones derivadas de satélites para auxiliar las actividades pesqueras, son pocas las instituciones de esta rama económica que reconocen y/o aplican este potencial en el sector pesquero (Santos, 2000; Souza, 2005).

Intrínsecamente mediciones del color del océano incluyen concentración de clorofila, (pigmentos fotosintéticos del fitoplancton) la cual, es comúnmente considerada como un índice de productividad biológica y en un ambiente oceánico (Gower, 1972). Los pigmentos de clorofila tienen una firma espectral específica y distintiva, ya que absorben en las longitudes de onda correspondientes a los colores azul (455-492 nm) y rojo (622-700nm) del espectro, así como una reflectância fuerte en el verde (492-577 nm), afectando por lo tanto el color del océano. Las observaciones multispectrales del océano con sensores espaciales, permiten la deducción de las concentraciones de fitoplancton, en áreas apartadas de la costa; conocidas como aguas del Caso I (Morel y Prieur, 1977; Morel, 1980) (Tabla 1), donde los organismos fotosintéticos son los principales mecanismos de modificación del color del océano (Stewart, 1985).

La langosta es el principal recurso pesquero de Cuba, de un promedio de 11000 ton en los 80's, las capturas han disminuido a un promedio de 7000 ton en los últimos años, lo que representa un descenso del 36%, además de que existe una gran variabilidad interanual de las capturas. Teniendo en cuenta que la fase larval es oceánica y que se extiende entre 6 y 8

meses, se hace necesario cuantificar la productividad del fitoplancton con indicadores de clorofila en las aguas adyacentes a la plataforma cubana, para explorar las posibles relaciones entre esta productividad y el éxito del reclutamiento a la zona de pesca, a través de la trama trófica (fitoplancton-zooplancton-larvas de langosta-postlarvas-juveniles-adultos) con los desfases esperados según el ciclo de vida de la especie, que se recluta al área de pesca entre 2 y 3 años de edad. Todo lo cual permite abordar el manejo de la pesquería teniendo en cuenta un enfoque de ecosistema. Estas razones conllevan al planteamiento del objetivo siguiente: Obtener la variabilidad estacional e interanual de la concentración de clorofila (Chl-a) en aguas oceánicas adyacentes a la plataforma cubana, así como su relación con el comportamiento de capturas de langostas.

2. Materiales y métodos.

2.1 Área de estudio: se encuentra situada en la zona climática tropical de la Región del Caribe, sub-región 1 (Figura. 1); entre los 18-25° N y los 87-73° W. Recibe una insolación anual de más de 25000 horas de luz en el año, la presión atmosférica es de 1017 hpa. La temperatura media del aire en el invierno entre 20° y 22° C, mientras en verano es de 26° C y más. El régimen de lluvia (mayo-octubre) es de más de 1200 mm y en período de seca (noviembre-abril) oscila entre 200 y 300 mm (Atlas Nacional de Cuba, 1989).

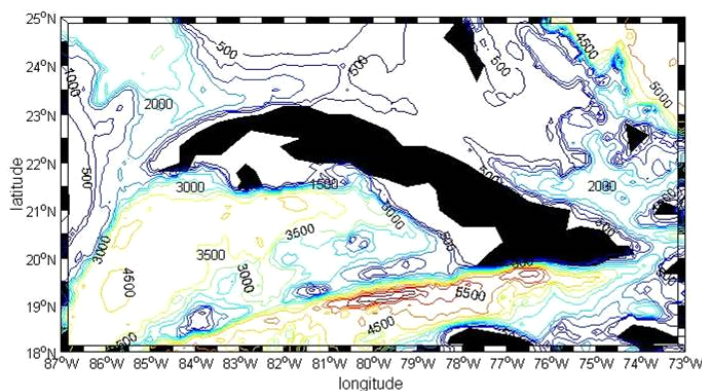


Figura. 1 Área de estudio.

2.2 Datos de las pesquerías de langosta en aguas de la plataforma cubana: Son obtenidos a través de la Empresa PescaCuba perteneciente al Ministerio de la Industria Pesquera cubana y se constituyen de las series de captura mensual nacional por zonas de pesca, para el período 1997-2004. Las zonas de pesca se obtienen del Atlas Biológico-Pesquero de Langosta (Cruz et al.1990). Son calculadas las anomalías de la serie a partir de la media mensual de cada año y media mensual climatológica, dada en por ciento

2.3 El sensor SeaWiFS (Sea viewing Wide Field of view Sensor): Tiene ocho bandas (1: 402-422 nm; 2: 433-453 nm; 3: 480-500 nm; 4: 500-520 nm; 5: 545-565 nm; 6: 660-680 nm; 7: 745-785 nm; 8: 845-885 nm), una resolución al nadir de 1,1 km, órbita Heliosíncrona, Altitud nominal 705 km, Cruza el Ecuador a las 12:00 +/- 20min, realiza la imagen de una extensión de 2800 km de cobertura de área global (+/- 58,3°) y 1505 km de cobertura de área local (+/- 45°), Resolución radiométrica de 10 bits, Resolución temporal de 1 día, Los canales 7 y 8 fueron diseñados para la corrección atmosférica.

2.4 Datos de Clorofila (Chl-a): Son utilizadas imágenes de concentración de clorofila Chl-a, obtenidas por el sensor SeaWiFS. Estas se logran a través de la FTP del portal Ocean Color en la WEB, perteneciente al Goddard Space Flight Center (GSFC) de NASA a través de la dirección electrónica: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/level3.pl>

La disponibilidad de estos datos es en formato HDF en la escala global, para la proyección Cilíndrica Equidistante y nivel 3 de procesamiento. Las resoluciones espaciales y temporales son de 9x9 km y mensual respectivamente. Para el período de estudio septiembre 1997-2005 es un total de 100 imágenes. Las imágenes pasaron corrección atmosférica previa (Gordon y Wang, 1994).

2.5 Procesamiento de las imágenes: Para estimar las concentraciones de Chl-a a partir de los datos SeaWiFS, es usado el algoritmo empírico OC4 que estima valores relacionando las bandas con la clorofila a través de una función polinomial única, esta emplea la razón de banda máxima (MBR), determinada como mayor razón (Rmax) entre los valores de $R_{RS(443)}/R_{RS(555)}$, $R_{RS(490)}/R_{RS(555)}$ e $R_{RS(510)}/R_{RS(555)}$ (R_{25} , R_{35} y R_{45} , respectivamente) O'Reilly et al.(2000). Kampel et al.2005, en un análisis comparativo de estos algoritmos respecto a medidas fluorimétricas *in situ* determinaron que OC4 presentó mejor desempeño aunque de modo general subestimó las concentraciones de clorofila más bajas y superestimó las más altas para la costa sudeste brasilera. Para el presente trabajo se usa el algoritmo OC4 por no contar con mediciones *in situ* y ser este el de mayor precisión. La ecuación para la determinación empírica de la concentración de clorofila es:

$$C_{insitu} = 10,0^{(0,366-3,067R_{4S}+1,930R_{4S}^2+0,649R_{4S}^3-1,532R_{4S}^4)}$$

Utilizando el software SeaDAS, desarrollado por GSFC/NASA, son recortadas las imágenes globales por los límites del área de estudio, éstas mantendrán los valores respectivos de concentración de clorofila Chl-a. Las imágenes obtenidas tienen 409 líneas y 205 columnas, con los datos de Chl-a por píxel. Cada imagen fue guardada con extensión ASCII para su posterior manipulación en ENVI 4.2, donde fueron geo-procesadas.

Teniendo en cuenta el comportamiento de esta variable (Chl-a) para la climatología de la zona se determinan las regiones de interés para su posterior estudio detallado, las cuales se ubican como aparece en la en la **Figura 2**. Estas regiones delimitan las aguas oceánicas adyacentes a las zonas de pesca de la langosta, teniendo en cuenta que para el ciclo de vida de la especie en el espacio, ella desarrolla toda su fase larval en estas aguas. Para cada una de estas áreas son determinados los valores extremos (mínimo, máximo) con las estadísticas básicas (medias, desviación estándar).

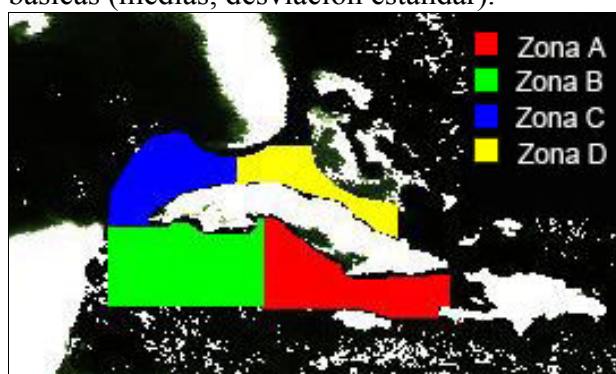


Figura 2. Regiones de interés (ROI) para el área de estudio. Aguas oceánicas adyacentes a: Zona A: Golfo Ana María Guacanayabo; Zona B: Golfo de Batabanó; Zona C: Archipiélago de las Coloradas; Zona D: Archipiélago Sabana-Camagüey.

2.6 Correlaciones con las pesquerías: fueron realizadas a partir de las matrices conformadas por las anomalías de las medias mensuales de la Chl-a para cada ROI y las anomalías de las capturas para la zona de pesca adyacente. Fueron calculadas para toda la serie y con desfase de 1 a 5 años en el software Excel. Los meses de veda (Marzo-Mayo) se eliminaron de las matrices, pues durante este período no existe variabilidad natural de la pesquería.

3. Resultados y discusión.

3.1 Caracterización de las aguas del área de estudio: Como regla general las aguas oceánicas forman parte de las aguas del Caso I. También pueden aparecer en áreas costeras ante la ausencia de influencias terrígenas (clima árido) y en las plataformas continentales. Son aquellas aguas para las cuales en fitoplancton y sus derivados juegan un papel fundamental o dominante en la determinación de las propiedades ópticas del océano. (Morel y Prieur; 1977; Morel; 1980).

3.2 Climatología Chl-a: Las imágenes de climatología muestran los rangos en que varía la densidad de la concentración de clorofila son más acentuados para el golfo de México que para el Caribe occidental, aumentando de este a oeste y de sur a Norte

Se observa un patrón estacional en el comportamiento de la concentración de clorofila durante el año. En el verano boreal (Abril-Septiembre), se observa que los valores para las aguas con profundidades mayores a los 500m, son inferiores a $0,10 \text{ mg m}^{-3}$. Mientras que para las aguas poco profundas y cercanas a la zona costera las concentraciones observadas varían entre $1-25 \text{ mg m}^{-3}$, siendo más alto el valor observado en la zona de desembocadura del río Misisipi al Norte del Golfo de México. El panorama para los meses de invierno (Octubre-Marzo) es totalmente diferente, pues puede observarse un ligero aumento en los valores observados por el sensor para las aguas con profundidades superiores a los 500m, que supera los $0,10 \text{ mg m}^{-3}$, por otro lado también se intensifica en las aguas poco profundas próximas a la zona costera.

Pérez et al.1990, explican que el aumento de la clorofila en los meses de invierno para esta el área de estudio, es debido al debilitamiento de la estabilidad térmica en dicha época (Victoria et al.1990), y a partir de un mejoramiento en el régimen de nutrientes con respecto al verano (Fernández y Chirino,1993). La clara tendencia a la disminución de la densidad de pigmentos hacia el verano habla del importante papel de la estabilidad térmica como papel determinante del contenido de clorofila en superficie.

Muestreo *in situ* realizados en la zona durante el período 1978-1986, por Melo et al.1998, mostró que en el período invernal se produce una mezcla vertical intensa debido a la disminución de la temperatura superficial del agua y al aumento de la intensidad y la persistencia de los vientos y el oleaje. Esto permite que el grosor de la capa superficial mezclada sea en promedio unos 110m (**Tabla, 1**) y favorece la entrada de nutrientes a la capa fótica desde aguas profundas, lo que posibilita niveles superiores de producción primaria en media (Fernández y Chirino 1993).

Tabla. 1 Comportamiento estacional de las principales características físico-químicas de las aguas oceánicas aledañas a Cuba según Victoria et al.1990.

	Radiación solar [MJm ⁻² día ⁻¹]	Grosor de la capa superficial mezclada [m]	Temperatura media de las aguas superficiales [°C]	Concentración promedio NO ₂ +NO ₃ [μ molL ⁻¹] (0-200m)	Concentración promedio. PO ₄ [μ molL ⁻¹] (0-200m)
Invierno	14,2	100-125	26,0	1,06	0,14
Verano	19,3	30-50	29,7	0,95	0,05

En esta época del año además disminuye la radiación solar incidente (Atlas Nacional de Cuba 1989). Según Koblentz-Mishke et al. (1977), el contenido de la clorofila en las células aumenta al disminuir la intensidad de la luz solar incidente y al aumentar la concentración de elementos biogénicos del medio; ambos procesos caracterizan la época invernal.

En el verano el aumento de la capa superficial y la disminución del régimen de vientos, provoca una fuerte estratificación térmica, que limita la mezcla vertical y por tanto la entrada de nutrientes a la capa fótica (Corredor 1977). El grosor de la capa superior mezclada en

promedio es de 40m (**Tabla 1**), la radiación solar alcanza sus mayores valores. En esta época, a pesar que la concentración y la biomasa del fitoplancton son superiores a los reportados durante el invierno por Perez et al. (1990), los niveles de clorofila disminuyen sensiblemente como resultado de la disminución de nutrientes en el medio y el aumento de la radiación solar incidente.

3.3 Variabilidad de la Chl-a para las zonas de pesca Como se aprecia en la **Figura 3** al obtener las medias mensuales para estas zonas de pesca se observa igual que en la imágenes de climatología una ligera estacionalidad en el comportamiento de esta variable con máximos en invierno (Octubre-Marzo) con valores medios de 0,13 mg m⁻³ en el Sur (Zona A y B) y medias de 0,30 mg m⁻³ para el Norte de la isla (Zona C y D). Durante el verano (Abril-Septiembre) los mínimos oscilan entre 0,15 y 0,35 mg m⁻³ para el Sur y Norte respectivamente.

En las aguas que están adyacentes a la plataforma cubana se observa que al Norte del Archipiélago Sabana-Camaguey y las Coloradas (Zona C y D), se extiende un área con mayor densidad de pigmentos que podría estar asociada según Fernández y Chirino. (1993), a la mayor circulación vertical y horizontal e intercambio con las zonas de bajas profundidades y ricas en nutrientes de las plataformas de Cuba y Bahamas, además de su consiguiente relación con las aguas oceánicas adyacentes. Mientras que para las áreas del Sur (Zona A y B) se observa muy baja concentración.

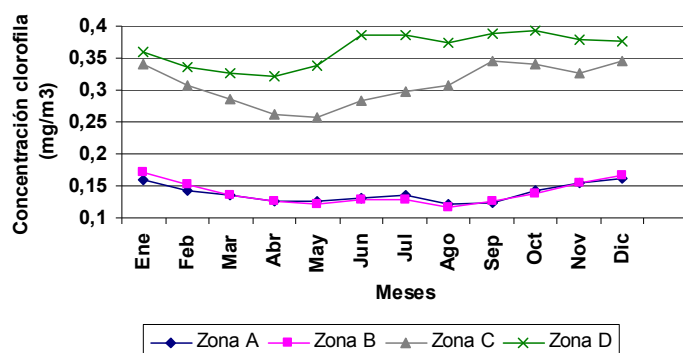


Figura 3. Variabilidad estacional de la Chl-a por zonas de pesca.

3.4 Anomalías de la concentración de clorofila (AChl-a): Aunque no existe mucha diferencia entre los valores mínimos y máximos de las medias de concentración de clorofila registrados para el área de estudio, las amplitudes de la variación de esta variable en media oscilan entre -0,04 mg m⁻³ en Mayo y 0,04 mg m⁻³ positivos en Diciembre, para toda el área, siendo mayores al Sur de la isla. De forma general existe estacionalidad en las variaciones anuales de la Chl-a (**Figura. 4**), con valores superiores a la media durante el invierno e inferiores a esta durante el verano. Se observa una tendencia al aumento de la concentración de Chl-a en los meses de Junio y Julio, alcanzando valores de 0,05 mg m⁻³ en Julio del 2002. Este comportamiento corrobora lo planteado por Pérez et al. (2004), que describe un enriquecimiento de las aguas del Caribe por la Corriente Norte de Brasil, la cual transporta aguas de la pluma Amazónica y alcanza sus mayores valores (rangos de concentraciones de Chl-a de 0,5 a 5 mg m⁻³), para estos meses del año.

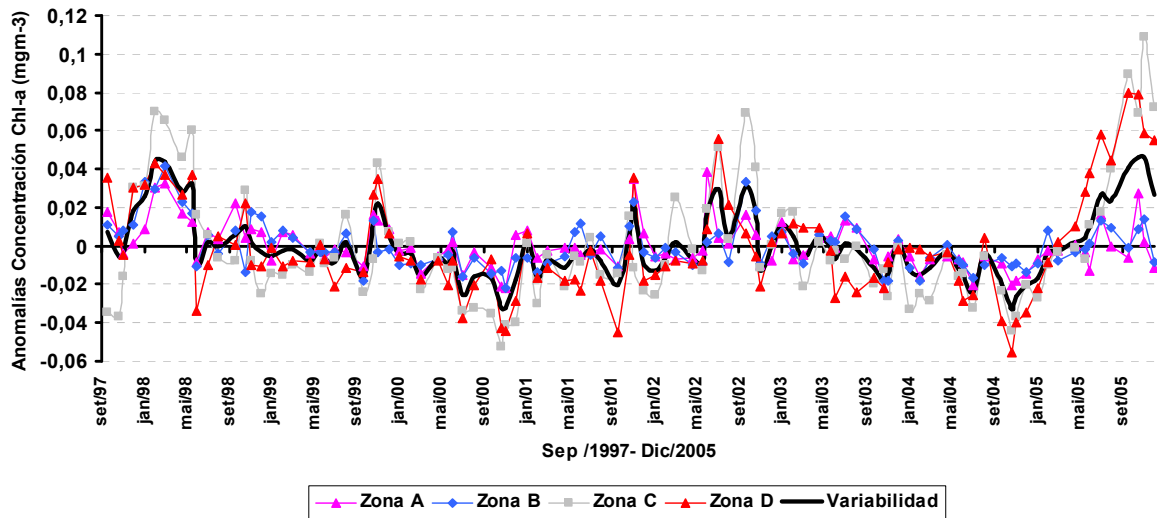


Figura 4. Variabilidad estacional y anual de la concentración de clorofila para la zona de estudio.

Pueden ser observadas anomalías positivas extremas ante la ocurrencia de huracanes (**Figura 5**), destacándose en la Zona B anomalías de $0,05 \text{ mg m}^{-3}$ ante la presencia del huracán Michelle de categoría 4 (escala Safir-Simson), en noviembre del 2001. Mientras que para la Zona C, se obtienen anomalías del orden de $0,06 \text{ mg m}^{-3}$ ante el paso de dos huracanes consecutivos (Isidore categoría 2 y Lili categoría 2) en el mes de septiembre del 2002. También para las Zona C y D se observan estas variabilidades de $0,08 \text{ mg m}^{-3}$ en octubre 2005, con la ocurrencia del huracán Wilma de categoría 5. Este comportamiento de la concentración de Chl-a fue descrito por Babin et al. (2004), quien asocia estas anomalías positivas como respuesta a la inyección de nutrientes y pigmentos biogénicos en las aguas oligotróficas con el enfriamiento de las aguas ante el paso de los huracanes.

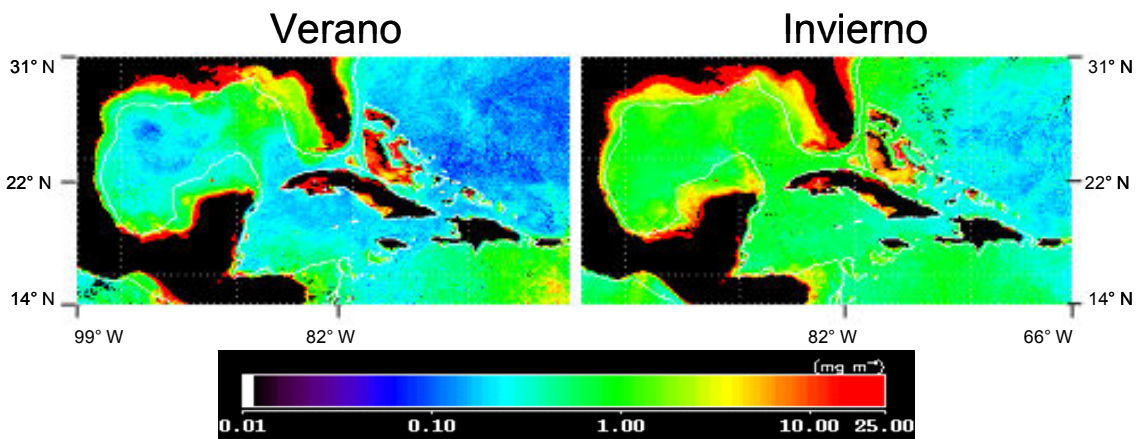


Figura 5. Imágenes SeaWiFS, representativas de los máximos extremos registrados, negativos para el verano del 1999 mes de agosto (izquierda); positivos para el invierno del 2001, ante el paso del huracán Michelle en Noviembre (derecha).

3.5 Relaciones de la AChl-a con las capturas de langosta: La concentración de clorofila en aguas marinas ha sido utilizada como indicador de abundancia de fitoplancton, de tal manera que puede encontrarse una correlación entre la concentración de clorofila y la abundancia de larvas u organismos que se alimentan del fitoplancton y en consecuencia con aquellos organismos que se alimentan de estos últimos siguiendo la cadena trófica, sabemos que normalmente hay una sincronía entre los periodos de abundancia de alimento y los picos en la abundancia de larvas en las poblaciones marinas, esta es una estrategia de sobrevivencia

larval que se ha venido afinando a través de la selección natural (Baisre 1985). Aunque es probable que la correlación entre la abundancia de las larvas de langostas espinosas (*P. argus*) con la clorofila no sea directa, pues aunque prácticamente no se conoce nada acerca del alimento natural de las filosomas, la morfología de sus piezas bucales y la carencia de estructuras para la filtración indican que son carnívoras y que probablemente se alimentan de otros crustáceos planctónicos de tamaño muy pequeño. Esto indica que correlaciones entre la abundancia de larvas de langosta con la abundancia de zooplancton serían las más lógicas (Cruz et al.1990). Siguiendo la cadena trófica estas poblaciones de animales planctónicos que nutren a las larvas de langostas, localizan sus mayores abundancias poblacionales, allí donde el ecosistema le facilite mejores condiciones de vida, o sea donde hay mayor cantidad de alimento. Sin lugar a duda estos sitios podrán encontrarse donde exista mayor concentración de clorofila, la cual es comúnmente considerada como un índice de productividad biológica y en un ambiente oceánico, puede ser relacionada con la abundancia de las especies. Por ejemplo, concentraciones de clorofila superiores a $0,2 \text{ mg m}^{-3}$ indican la presencia de suficiente vida planctónica para sustentar una pesquería comercial viable (Gower, 1972).

Se obtiene baja correlación entre las concentraciones de Chl-a y las capturas registradas para cada zona de pesca, estas varían desde $-0,21$ a $0,23$ (Figura.6). Las máximas correlaciones ($0,23$) con un desfase de 5 años son obtenidos para la Zona A, este valor está estrechamente relacionado con las principales tallas que se obtienen y en esta área se corresponde con animales de 5-6 años de edad (Puga et al.2005), sin embargo es justamente con este desfase que se obtienen los menores valores de correlación para el resto de las áreas de pesca. Las zonas B, C y D, presentan un patrón similar con las máximas correlaciones encontradas al año de desfase, lo que no se corresponde con las tallas principales que se capturan en estas áreas.

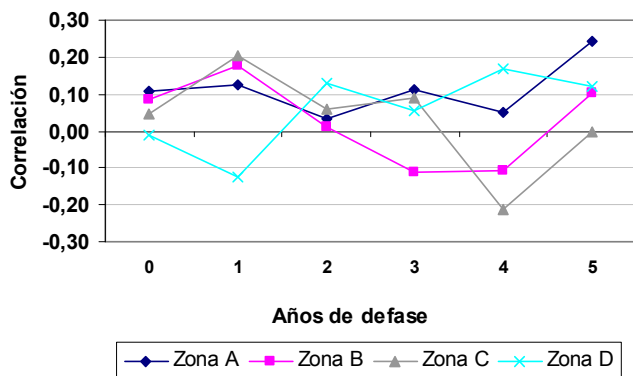


Figura 6. Coeficientes de correlación entre las concentraciones de Chl-a y las anomalías de las capturas de langosta para las zonas de pesca. Desfasado en el tiempo de 0-5 años.

4. Conclusiones.

Se determinó una ligera estacionalidad en el comportamiento de la concentración de Chl-a, los máximos en invierno (Octubre-Marzo) con valores medios de $0,13 \text{ mg m}^{-3}$ en el Sur (Zona A y B) y medias de $0,30 \text{ mg m}^{-3}$ para el Norte de la isla (Zona C y D). Durante el verano (Abril-Septiembre) los mínimos oscilan entre $0,15$ y $0,35 \text{ mg m}^{-3}$ para el Sur y Norte respectivamente. Existe mayor densidad de pigmentos al Norte de la isla.

Las anomalías de la concentración de Chl-a, tienen un comportamiento similar para todas las regiones las amplitudes de la variación de esta variable en media oscilan entre máximos $-0,04 \text{ mg m}^{-3}$ y $0,04 \text{ mg m}^{-3}$ para toda el área, siendo mayores al Sur de la isla. Pueden ser observadas anomalías positivas extremas ante la ocurrencia de huracanes.

La correlación entre las concentraciones de Chl-a y las capturas registradas para cada zona de pesca es baja, estas varían desde -0,22 a 0,23, obteniéndose las máximas correlaciones (0,23) con un desfase de 5 años para la región Sur oriental del país (Zona A).

Referencias.

- Baisre, J. A. Los recursos pesqueros marinos de Cuba: fundamentos ecológicos y estrategia para su utilización. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Biológicas, Ministerio de la Industria Pesquera, Cuba, 189 pp., 1985.
- Babin, S. M., Carton, J. A. Dickey, T. D., Wiggert J. D. Satellite evidence of hurricane-induced phytoplankton blooms in an oceanic desert *Journal of Geophysical Research*, v. 109, C03043, Disponible online en: 10.1029/2003JC001938, 2004. Acceso en Octubre, 2006
- Cruz, R., Baisre, J. A., Díaz Iglesias, E., Brito, R., García, C., Carrodegua C. Atlas Biológico-Pesquero de la Langosta en el archipiélago Cubano. *Pub. Esp. Mar y Pesca*, 125 pp., 1990.
- Corredor, J.E. 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; 1977.
- Fernández L., Chirino, A. Atlas Oceanográfico del Archipiélago Sabana-Camaguey. Instituto Cubano de Hidrografía, 1993.
- Gordon, H.R.; Wang, M. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical Thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. *Applied Optics*, v.33, p. 443-452, 1994.
- Gower, J.F.R., A survey of the uses of remote sensing from aircraft and satellite in oceanography and hydrography. *Pac.Mar.Sci.Rep.Inst.Ocean.Sci.*, Sidney, B.C., Can., p. 72-3, 1972.
- Koblentz Mishke, O.I., Vedernikov, V.I. Producción primaria (en ruso) *Oceanología. Biología del Océano. Nauka, Moscú. Tomo 2: 183-209; 1977.*
- Melo, G. N., Pérez, R., Cerdeira, S. Variación espacio-temporal de los pigmentos del fitoplancton en zonas del Gran Caribe, a partir de imágenes de satélite Nimbus 7 (CZCS). *Avicennia*, 3: 103-116; 1995.
- Morel, A. In-water and remote measurements of ocean colour. *Boundary Layer Meteorology*, v.18, p. 177-201, 1980.
- Morel, A.; Prieur, L. Analysis of variations in ocean color. *Limnology Oceanography*, v.22, p. 709-722, 1977.
- Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Editado por el Instituto de Geografía de la ACC y el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1989
- Pérez R., Gil, C., Loza, S. Variabilidad espacio-temporal del fitoplancton y sus pigmentos en aguas oceánicas al Sur de Cuba. inédito. Informe final de tema. Archivo científico. Instituto de Oceanología. ACC; 1990.
- Pérez, V., Fernández, E., Marañón, E., Serret, P., García-Soto, C., *Journal of Plankton Research* 2004 27(2):189-197;. Disponible online en: <http://plankt.oxfordjournals.org/cgi/content/full/27/2/189>. Acceso en Octubre, 2006.
- Puga, R., Hernández-Vázquez, S., López-Martínez, J., León, M.E. Bioeconomic modelling and risk assessment of the Cuban fishery for spiny lobster *Panulirus argus*. *Fish. Res.* 75(1-3), 149-163, 2005.
- Santos, A. M. P. Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: a review. *Fisheries Oceanography*, v. 49, p. 1-20, 2000.
- Souza, R. B. *Oceanografía por satélites*. ISBN 85-86238-48-1. 335pp, 2005
- Stewart, R. H. *Methods of satellite oceanography*. San Diego, EUA: Scripps Institution of Oceanography, 360 p, 1985.
- Victoria, I., Cabal, A., García, R., Hernández, M., Puentes, H. Características oceanográficas de la Fosa de Jagua y de la zona económica exclusiva al Sur de Cuba. inédito. Informe final de Tema. Archivo Científico. Instituto de Oceanología. Academia de Ciencias de Cuba, 1990.