

## Variabilidad de la temperatura superficial del mar en las aguas adyacentes a Cuba y su relación con las pesquerías de langosta (*Panulirus argus*).

REGLA DUTHIT SOMOZA<sup>1,2</sup>  
RONALD BUSS SOUZA<sup>2</sup>  
MILTON KAMPEL<sup>2</sup>

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

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

**Abstract.** Sea Surface Temperature (SST) data obtained from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) sensors lobster captures data for the Cuban shelf, were examined the space and time variability of SST fields for the Cuban shelf region and adjacent oceanic waters. A correlation between SST anomalies and captures was calculated for 1997-2004 period. Shelf and oceanic waters have a seasonal behavior reaching a maxima in August (29,5 °C) and a minima in February (26° C). Extreme values were reached in August, 1998 with positive anomalies of 1,92° C and in February, 2001 with negative anomalies of -0,88° C. During winter period (November-April), it is possible to describe a general water circulation for this area. In the summer (May-October) there are mixture waters on the images. A low correlation coefficient was found between SST and lobster captures. However the better correlation (0,48) was found for the western region with four years of lag.

**Key words:** Sea surface temperature, lobster captures, AVHRR, anomalies.

### 1. Introducción.

El alcance de las ciencias pesqueras y los componentes relacionados con la biología marina, ha sido definido tradicionalmente por la escala de las pesquerías estudiadas, la cual puede oscilar desde unos pocos kilómetros cuadrados (ejemplo: en el caso de las pesquerías de invertebrados) a cientos de kilómetros cuadrados en el caso de las pesquerías de altura. Por ello se plantea, que el manejo de las pesquerías debe documentarse con mapas de los "ecosistemas bases" que incluya en esencia sus procesos ecológicos relevantes (Pauly et al., 2001).

Los patrones espaciales y temporales de variación de la temperatura superficial del mar (TSM) juegan un papel fundamental en la determinación de las condiciones para la supervivencia de los organismos que habitan en las aguas poco profundas, pues reflejan los rangos de ocurrencia de los procesos que allí tienen lugar. El estudio de estas propiedades básicas del océano podría ayudarnos a un mejor entendimiento de los ecosistemas oceánicos y costeros, así como de los procesos bióticos y abióticos que ocurren en estas aguas. Hoy en día, la adquisición de datos oceanográficos convencionales sinópticos sobre grandes áreas y por largos periodos de tiempo aun es extremadamente difícil y cara, en comparación a los datos de satélite. Los datos obtenidos por sensores orbitales con visión sinóptica convencional y con grandes resoluciones espaciales pueden proveer series temporales de datos de alta frecuencia por largos periodos de tiempo (Robinson, 1985, 2004)

El desarrollo del sensoramiento remoto para aplicaciones pesqueras impone el uso de esta potente herramienta para la obtención de datos ambientales que puedan ser relacionados con la explotación de la langosta espinosa en aguas cubanas. Conociendo que para las pesquerías cubanas en el área de estudio seleccionada, no existen antecedentes del uso de esta importante herramienta en el análisis de las interacciones de variables ambientales con las pesquerías.

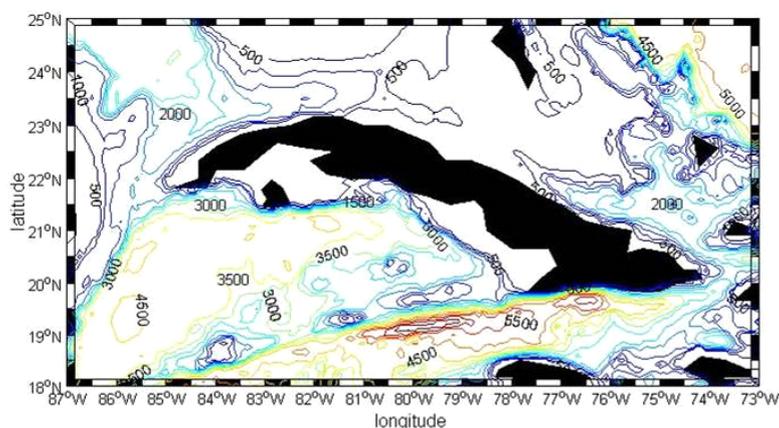
Las pesquerías de langosta espinosa (*Panulirus argus*) son realizadas en los mares poco profundos de la plataforma cubana los que constituyen el hábitat natural de esta especie, que por su elevado valor económico es reconocido como el principal recurso pesquero del país. Según Souza (2005), las ventajas de utilizar datos de sensoramiento remoto para la obtención de variables ambientales está en que la elevada sensibilidad de los sensores actualmente en operación permite captar pequeñas variaciones en áreas considerablemente mayores, comparada con los resultados alcanzados por estudios realizados a bordo de embarcaciones. Teniendo en cuenta la disponibilidad de las imágenes del sensor AVHRR de la serie NOAA para TSM, así como el cúmulo de datos que de estas puede ser obtenido nos planteamos el objetivo siguiente:

Obtener la variabilidad de la TSM en el período comprendido entre el verano de 1997 y diciembre del 2004 en aguas oceánicas adyacentes a la plataforma cubana; su relación con las capturas de langostas en el área de estudio.

## 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 que enmarca la isla de Cuba y la profundidad en metros.

### 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 Datos de TSM:

Son utilizadas las imágenes de TSM, obtenidas por el sensor AVHRR/ NOAA. Estas se logran a través de la dirección electrónica: <http://podaac.jpl.nasa.gov/products/product216.html>.

El producto utilizado es: "AVHRR Oceans Pathfinder Global 4 km equal-angle all SST v5 (NOAA,NASA)". La disponibilidad de estos datos es en formato HDF en la escala global, con nivel 3 de procesamiento. Las resoluciones espaciales y temporales son de 4x4 km y

mensual respectivamente. Para el período de estudio entre 1997-2004 fueron analizadas 96 imágenes mensuales.

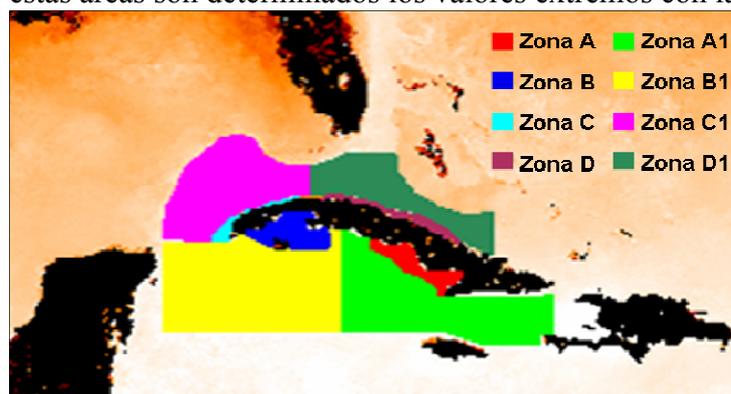
Para estimar la TSM a partir del producto “*Pathfinder*” del sensor AVHRR es usado el algoritmo de corrección no-linear versión 4,1, aprobado para el tratamiento de datos históricos AVHRR, porque tiende a disminuir ampliamente todas las condiciones atmosféricas que interfieren en la obtención de datos. Referencias detalladas sobre el algoritmo usado para estimar la TSM para el producto “*pathfinder*” v5 debe consultarse a Vázquez et al., (1998).

#### 2.4 Procesamiento de las imágenes:

Luego de tener las imágenes globales de las medias mensuales correspondientes a la serie temporal 1997-2004 y la climatología de la TSM en un período que abarca los años 1985-2004, estas fueron cortadas para el área de estudio usando el software MATLAB<sup>(R)</sup>. Las imágenes obtenidas tienen 755 líneas y 386 columnas, con los datos de TSM por píxel. Cada imagen fue guardada con extensión ASCII para su posterior manipulación en ENVI 4.2<sup>(R)</sup>, donde fueron geo-procesadas

En las imágenes originales el valor de los píxeles que correspondían a la tierra tienen valor  $-3^{\circ}\text{C}$ . Así fue posible descartar estos, pero aún en la obtención de los valores extremos de las imágenes existían valores mínimos absurdos muy lejanos a los registrados en la zona de estudio por la presencia de píxeles contaminados por nubes y sombras. Conociendo que los valores de exactitud nominal de el producto *pathfinder*-TSM varía en el rango contenido entre  $0,3-1^{\circ}\text{C}$  (Brown et al., 1985; Minnet, 1991), fueron tomados en cuenta los valores históricos registrados para el área y se realiza de una máscara que convierta estos píxeles en no numéricos para que no sean tomados en cuenta en la obtención de las estadísticas básicas. Creando una máscara en IDL<sup>(R)</sup> para valores inferiores a  $20^{\circ}\text{C}$ , la cual fuera aplicable para todas las imágenes de forma que siempre se determinen las estadísticas de áreas iguales.

Teniendo en cuenta el comportamiento de la TSM 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 zonas de pesca de la langosta así como las aguas oceánicas adyacentes a estas 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 con las estadísticas básicas.



**Figura 2.** Zonas de Pesca del área de estudio. Zona A: Golfo Ana María Guacanayabo; Zona B: Golfo de Batabanó; Zona C: Archipiélago de las Coloradas; Zona D: Archipiélago Sabana-Camagüey. Zonas A1, B1, C1 y D1 corresponden a las aguas adyacentes a estas regiones.

#### 2.5 Índice Multivariado de “El Niño – Oscilación Sur”

Las anomalías son comparadas con el Índice Multivariado de “*El Niño – Oscilación Sur*”(MEI). Este índice considera seis variables observadas sobre la región del Pacífico Ecuatorial, las cuales son: TSM, presión al nivel del mar, componente zonal y meridional del viento en la superficie del mar, temperatura del aire en la superficie y cobertura de nubes. El

índice fue obtenido para el período de 1950 a 2006 y cada valor corresponde a estaciones bimensuales (Dic/Ene, Ene/Feb...Nov/Dic). Los valores positivos representan la ocurrencia del fenómeno El Niño, mientras que los negativos corresponden a La Niña. En el presente trabajo solo son graficados los valores de la ATSM de la serie 1997-2004, además son comparados visualmente con las ATSM calculadas para el área de estudio en igual período.

## **2.6 Correlaciones con las pesquerías:**

Fueron realizadas a partir de las matrices conformadas por las anomalías de las medias mensuales de la ATSM por Zona de pesca 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. 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 Climatología TSM:**

Las imágenes de climatología muestran una estacionalidad bien definida por dos patrones de comportamientos de la TSM, para el área. De esta forma se pueden agrupar seis meses de invierno (Noviembre-Abril) y el resto de verano (Mayo-Octubre). Durante el verano no se define el régimen de circulación de las aguas descrito por Gyory et al., (2005) para el área, teniendo en cuenta los valores de TSM, mientras que para el período invernal puede apreciarse el dinamismo de las aguas a través de los frentes térmicos formados en los límites de la circulación.

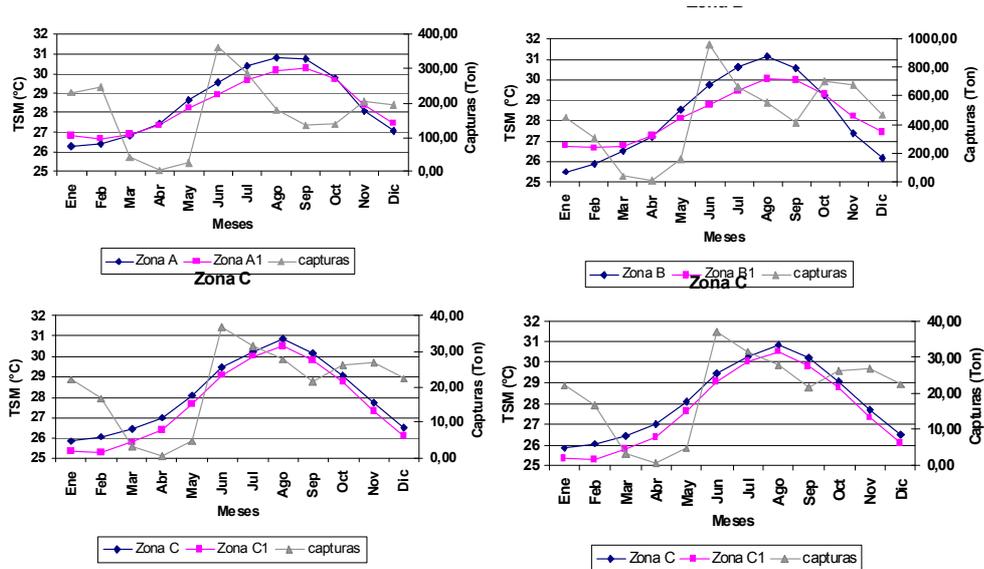
En las cercanías de América del Sur la TSM aumenta de sur a norte y de este a oeste, en concordancia con el movimiento de la circulación de la Corriente del Caribe. Las temperaturas más altas del área son registradas de junio-octubre en el área central del Caribe, hacia la costa sur-occidental de Cuba. Para el Golfo de México se tiene que durante el verano es observada alta homogeneidad en los valores más de 28° C, mientras que durante el invierno se observa la frente térmica provocada por la Corriente del Lazo “*Loop current*”, que se localiza en esta área. Por otro lado tenemos que la corriente de Yucatán que se localiza al norte de la península con el mismo nombre no se destaca a través de la TSM para el área estudiada durante ninguna época del año.

Es observado el mismo patrón estacional de comportamiento de TSM para las aguas al norte de Cuba, pues se observa una lengua de agua caliente durante el invierno, la cual se extiende por el este de la península de la Florida, conformando la localización esta corriente.

### **3.2 Variabilidad de la TSM para las zonas de pesca:**

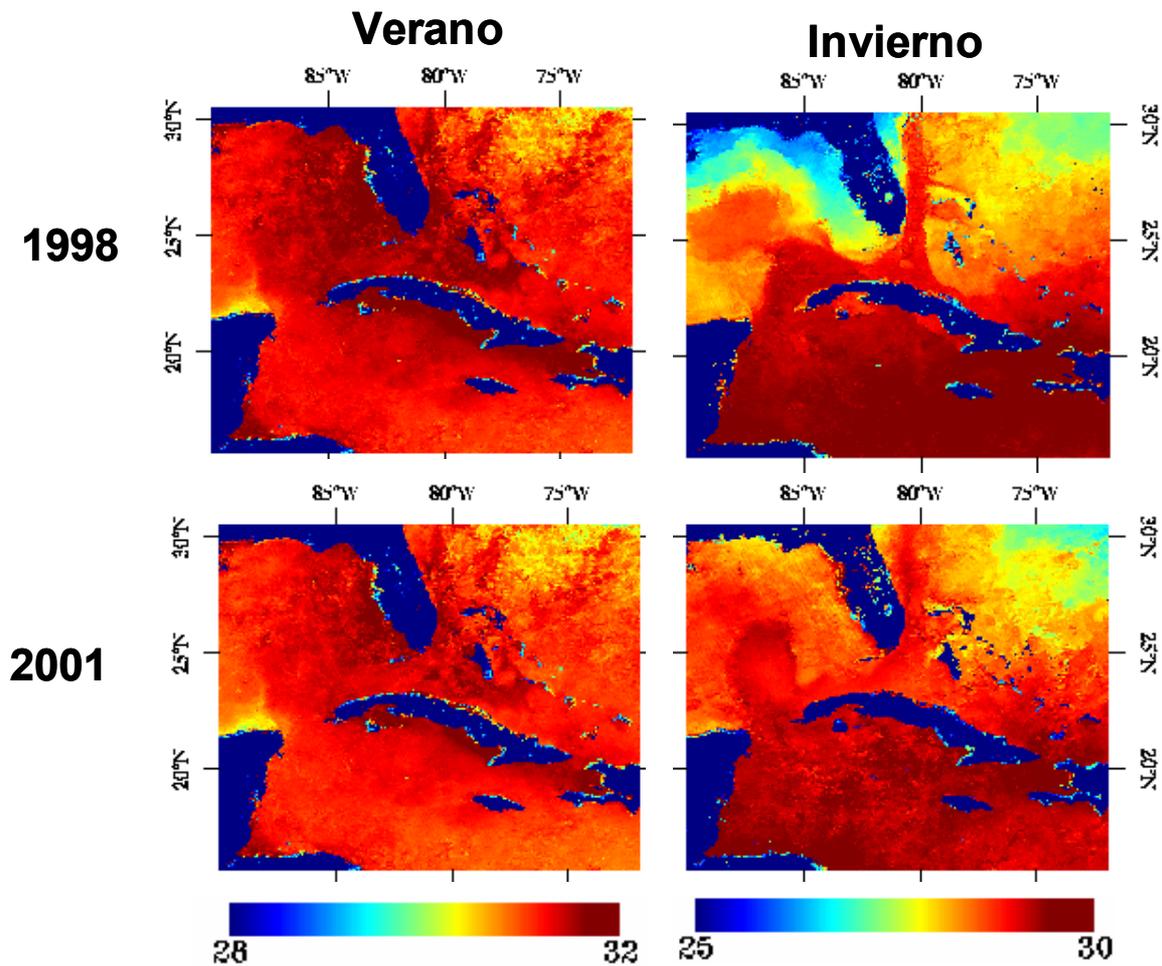
Como se aprecia en la **Figura 3** al obtener las estadísticas básicas para estas zonas de pesca se observa en las imágenes de climatología una marcada estacionalidad en el comportamiento de la TSM para las cuatro zonas principales de estudio, tanto en aguas de la plataforma como en las oceánicas adyacentes.

En las **Figuras 3 y 4** se nota un período de aguas más frías entre los meses de Noviembre-Abril con mínimos medios de 26° C en el mes de enero. Valores inferiores para las aguas de la plataforma (25,2° C). Según Warrior et al., (2002), las regiones de la plataforma se enfrían más rápidamente que las aguas oceánicas, por la acción del calor sensible y las pérdidas por evaporación, debido a la rápida mixtura entre las aguas de superficie y fondo en las bajas profundidades, enfriando toda la columna de agua.



**Figura 3.** Estacionalidad anual de la TSM por zonas de pesca.

Por otro lado se observa una elevación de la TSM entre los meses de Mayo-Octubre, con una media de máximas (29,5° C) registradas para el mes de agosto también con valores extremos (31,14° C) muy marcados para la plataforma.



**Figura 4.** Imágenes de TSM de los valores extremos observados en la serie, ante la ocurrencia del Niño 1998, y año 2001. (Agosto-Verano y Febrero-Invierno)

### 3.3 Variabilidad de la ATSM para las zonas de pesca:

Para toda el área existe un patrón similar de calentamiento durante el verano y enfriamiento durante el período invernal. En el Sur de la isla, las aguas de la plataforma son más cálidas que las oceánicas durante el verano y más frías durante el invierno, en el Norte se observan ligeramente más cálidas las aguas de la plataforma respecto a las oceánicas adyacentes para cualquier época del año. Lógicamente este patrón de comportamiento podría estar relacionado con las profundidades medias de estas masas de agua que para la plataforma podría considerarse como razas con valores de 7 m para las zonas B, C y D y de 15 m para la A, así como con la extensión de la zona de la plataforma que es significativo con el consecuente aporte del escurrimiento terrígeno.

La TSM al sur de la isla es más caliente que al norte tanto en invierno como en verano, siendo notablemente más caliente para la zona sur occidental del país y más fría para la Zona D que comprende el Canal Viejo de las Bahamas (Cerdeira-Estrada et al., 2005).

De manera general las anomalías para el área de estudio muestran variaciones, máximas positivas de la TSM en los meses de agosto-septiembre de estos años y negativas para los meses de enero-febrero, respecto a la media climatológica de la TSM (Figura. 5). Tienen un comportamiento similar para todas las regiones tanto de la plataforma como de las aguas adyacente con un coeficiente de correlación de 0,9 entre estas masas de agua. También en la Figura 5 se muestra la serie de ATSM para el Índice Multivariado de “El Niño” –Oscilación Sur (MEI), para este período analizado.

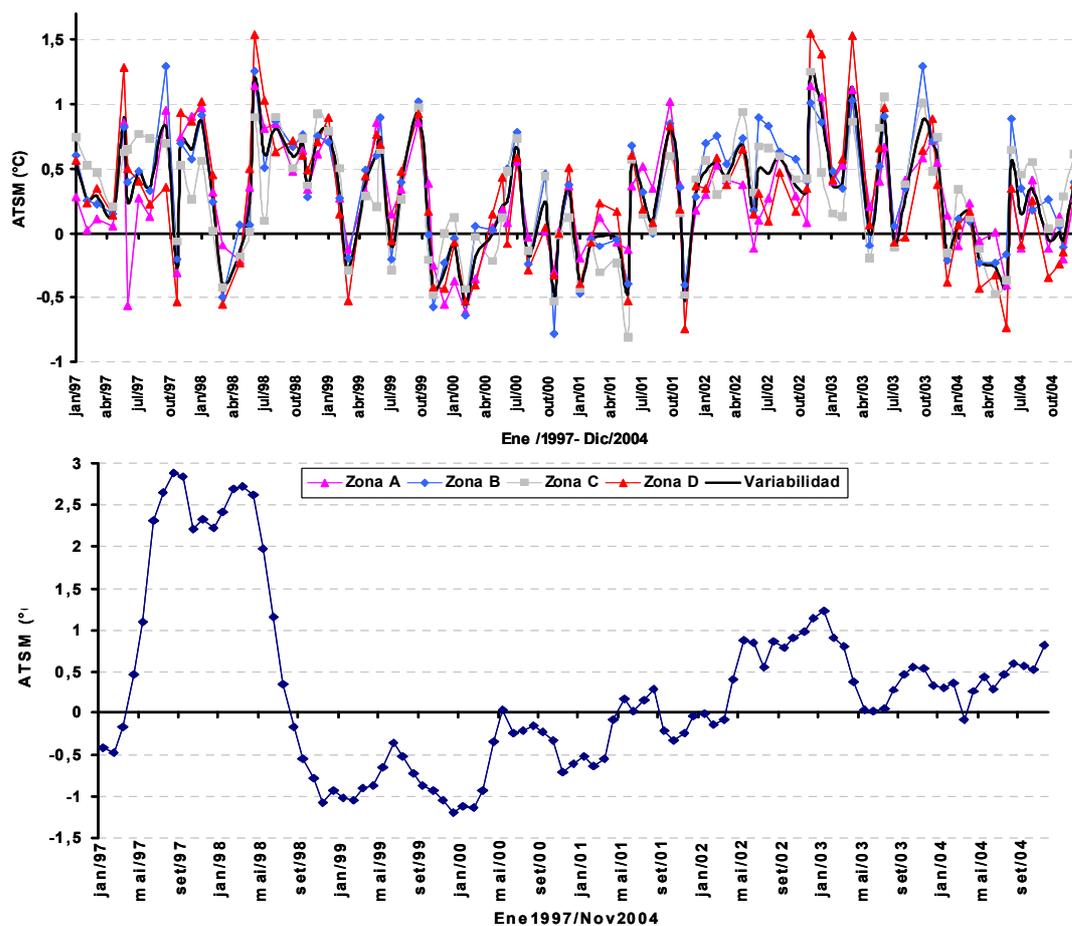


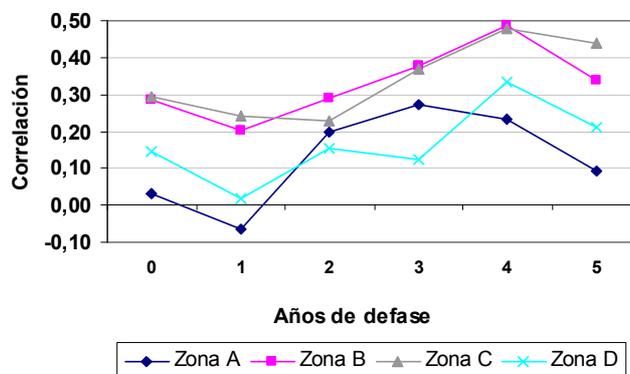
Figura 5. a) Anomalías de la TSM por zonas de pesca entre 1997-2004; b) Anomalías globales del MEI en la serie de ATSM, serie 1997-2004.

Las mínimas ATSM se observaron en el invierno del 2001 (mes de Febrero,  $-0,85^{\circ}\text{C}$ ), mientras que las máximas se registran el verano del 1998 (mes de Agosto,  $1,85^{\circ}\text{C}$ ), justamente este año se apreció un alto MEI, donde el índice alcanzó valores superiores a los 2,5 (**Figura 5**). Según Hernández, 2002; en los últimos eventos ENOS se comprobó que las altas temperaturas del mar en el Pacífico ecuatorial se reflejaron también en aguas de Cuba, pero con menor intensidad y se correlacionaron significativamente con la región de el Niño 3, que se localiza en el pacífico ecuatorial, con 5-6 meses de desfase.

### 3.4 Relaciones de la ATSM con las capturas de langosta:

El análisis de la ATSM, puede ser muy útil, pues grandes concentraciones de individuos de determinadas especies han sido encontrados a lo largo de frentes termales localizadas, principalmente, próximas a vórtices y zonas de surgencias (Souza, 2005). Según Laurs y Lynn (1977), los factores que inciden directa o indirectamente en la fisiología de los individuos, en lo que se refiere a disponibilidad de alimentos, son: preferencias termales, productividad biológica y gradientes de temperatura, este último por afectar el proceso de termorregulación de determinadas especies.

Se obtiene baja correlación entre las ATSM y las capturas registradas para cada zona de pesca que varían desde  $-0,1$  a  $0,48$  (**Figura 6**). En la región occidental del país (Zona B y C) las máximas correlaciones son obtenidas ( $0,48$ ) con un desfase de 4 años, este valor está estrechamente relacionado con las principales tallas que se obtienen y en esta área se corresponde con animales de 3-4 años de edad (Puga, 2005). Existe un patrón similar en el comportamiento de las correlaciones de la Zona D, con valores inferiores, mientras que para la Zona A se observa una máxima correlación con un desfase de tres años lo cual no corresponde con las tallas principales que se capturan en el área.



**Figura 6.** Coeficientes de correlación entre las ATSM 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 estacionalidad anual bien definida por dos patrones de comportamientos de la TSM, para el área, en el período invernal (Noviembre-Abril) puede apreciarse el dinamismo de las aguas a través de los frentes térmicos formados en los límites de la circulación, mientras que durante el verano (Mayo-October) no se define.

Las ATSM, tienen un comportamiento similar para todas las regiones tanto de la plataforma como en las aguas adyacentes con un coeficiente de correlación de  $0,98$  entre estas masas de agua y los valores extremos máximos positivos para el año 1998; los máximos negativos se registran el 2001.

Se obtiene baja correlación entre las ATSM y las capturas registradas para cada zona de pesca que varían desde  $-0,1$  a  $0,48$ ; obteniéndose las máximas correlaciones ( $0,48$ ) con un desfase de 4 años para la región occidental del país.

Investigaciones futuras deben relacionar otras variables ambientales obtenidas por satélites (ejemplo: clorofila, turbidez, vientos, precipitaciones, etc.) con las pesquerías de langosta en Cuba.

## Referencias.

- Brown, O.B., Brown, W.J., Evans, R.H., Calibration of advanced very high resolution radiometer infrared observations. *Geophys. Res* 90: 11667-11678; 1985
- Cerdeira-Estrada, S. Müller-Karger, F. Gallegos-Garcia, A. Variability of the Sea Surface Temperature Around Cuba. *Gulf of México Science*, pp. 161-171; 2005
- 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.
- Gyory, J., Mariano, A. J., Ryan. E. H. "The Caribbean Current." *Ocean Surface Currents*. Disponible en: <http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/caribbean/caribbean.html>. Acceso en Junio, 2005.
- Hernández, B. Variabilidad interanual de las anomalías de la temperatura superficial del mar en aguas cubanas y su relación con eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). *Invest. Mar.*, Valparaíso, 30(2): 21-31, 2002.
- Laurs, R. M. ; Lynn, R. J. Seasonal migration of North Pacific albacore, *Thunnus alalunga*, into North American coastal waters: distribution, relative abundance, and association with Transition Zone waters. *Fishery Bulletin*, [S.I.], n.75, p. 795-822,1977.
- Minnett, P.J. Consequences of sea surface temperature variability on the validation and applications of satellite measurements. *Geophys. Res.*96(C100:18475-18489; 1991.
- Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Editado por el Instituto de Geografía de la ACC y el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1989.
- Pauly, D.; Watson, R., Christensen, V. Ecological geography as framework for a transition toward responsible fishing. Reykjavik conference on responsible fisheries in the marine ecosystem. Abstracts book, 2001
- Puga, R. Modelación bioeconómica y análisis de riesgo de la pesquería de langosta espinosa *Panulirus argus* (Latreille, 1804) en el Golfo de Batabanó, Cuba. Tesis presentada en opción al grado académico de Doctor en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz México. 97 pp, 2005.
- Robinson, I. S. *Satellite Oceanography-an introduction for oceanographers and remote-sensing scientists*. Chichester: Ellis Horwood Ltd, 1985
- Robinson, I. S. *Measuring the oceans from space, the principles and methods of satellite oceanography*, Springer – Praxis Books in Geophysical Sciences. Chichester: Praxis Publishing., 2004.
- Souza, R.B. Introdução à oceanografia por satélites. In: Ronald Buss de Souza. (Org.). *Oceanografia por Satélites*. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, v. 1, p. 15-19.
- Vazquez, J., Perry, K., Kilpatrick, K. NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder Sea Surface Temperature Data Set. User's Reference Manual Version 4.0. JPL Publication D-14070. April 10, 1998. Disponible en: [http://podaac.jpl.nasa.gov/pub/sea\\_surface\\_temperature/avhrr/pathfinder/doc/usr\\_gde4\\_0\\_toc.html](http://podaac.jpl.nasa.gov/pub/sea_surface_temperature/avhrr/pathfinder/doc/usr_gde4_0_toc.html). Acceso en Mayo, 2006.
- Warrior, H.K.L. Carder, Z.P. Lee, Dan Otis, Chen. R. An improved optical model for heat and salt budget estimation for general ocean circulation models. *Proceeding, Ocean Optics XVI*, Santa Fe, NM, Office Naval Research, Arlington, VA; 6p; 2002.