Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente 33 (1 & 2): 59-65 (1994); 6 Figs., 3 Tab.

ANALISIS SOBRE EL PRONOSTICO ESTADISTICO DE LA TSO EN LA REGION OCCIDENTAL DEL ATLANTICO TROPICAL

ANTONIO QUINTERO RAMÍREZ
Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

RESUMEN: En el presente trabajo, se realiza un intento para determinar las posibilidades de pronóstico de las variaciones de la temperatura superficial del océano (TSO), en la región norte del Atlántico Tropical Occidental, mediante el empleo de datos mensuales de la temperatura del agua superficial. El área de estudio se subdivide en regiones homogéneas por la efectividad de los pronósticos que en ellas se pueden realizar. Las ecuaciones de autoregresión, indican que los mayores coeficientes de autocorrelación y, por ende, con mayores posibilidades de ser pronosticada es la Región Antillo-Guayanesa, donde el signo de las anomalías mensuales de la TSO se mantienen 4 - 6 meses o de 3 - 4 estaciones. La Región Ecuatorial es la menos favorecida, en ella las anomalías se mantienen 1 - 2 meses y a lo sumo durante una estación.

ABSTRACT: In the present work, it is attempted to qualify the possibilities of forescating the variations of the TSO (Superficial Temperature of the Ocean) in the tropical north-westerns region of the Atlantic ocean, through the employment of monthly data average of the TSO. The area chosen for the study is subdivided in homogeneous regions because of the effectiveness of the forescasts that can be performed in it. The equations of autoregression indicate that the greatest coefficients of autocorrelation and, therefore with the greatest possibilities to be predicted is the Antillo-Guyanese region where the sign of the monthly anomalies of the TSO are maintained 4 - 6 months or 3 - 4 seasons. The Equatorial region is the less favored, there the anomalies are maintained for 1 - 2 months or at the most for one season.

INTRODUCCION

Uno de los parámetros físicos que juega un papel fundamental en el hábitat de los organismos marinos es la temperatura (GERSHANOVICH & MUROMTSEF, 1982). Asimismo, este parámetro tiene una importancia primordial para el hombre, ya que en muchos casos el tiempo atmosférico está determinado por el estado térmico del océano (UGRIUMOV, 1981). Por ello, se hace necesario el procurar llevar a cabo pronósticos sobre el comportamiento futuro de este parámetro. La viabilidad de dicho intento puede tener su fundamentación en el hecho de que la temperatura es tal vez el parámetro de más fácil medición en el conjunto de las variables físicas estudiadas en el mar. Además, en la actualidad se cuenta con una enorme cantidad de datos térmicos correspondientes a muchas zonas del océano, producto de observaciones puntuales desde buques de investigación y comerciales, así como el empleo de modernas técnicas espaciales. Ese enorme esfuerzo en la detección real de la temperatura demuestra la gran importancia que juega el estado térmico del océano.

MATERIALES Y AREA DE ESTUDIO

El material de trabajo para el presente estudio lo constituyen mapas mensuales de la distribución de la TSO en el hemisferio norte, para los centros de los trapecios esféricos de 5° por lado, publicados mensualmente por el Centro HidroMetereológico de la URSS (actual Comunidad de Estados Independientes) desde 1984 hasta 1988. Los datos de años anteriores (1960-1983) pertenecen al fondo del Banco Mundial de Datos "B" con sede en Moscú y fueron también obtenidos a partir de las distribuciones mensuales de la temperatura.

Con el material señalado, se conformó un archivo de datos mensuales de TSO correspondiente a un período de 29 años, desde enero de 1960 hasta diciembre de 1988, para 41 trapecios de 5° por lado, en el área comprendida entre el Ecuador y los 30° Lat. Norte y los 30° Long. Oeste y el Continente Americano (Sur América, y las Antillas) (Fig. 1).

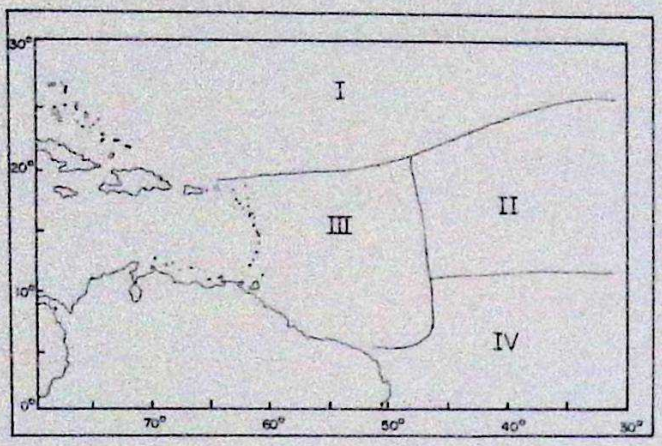


Fig. 1.- Regiones homogéneas de acuerdo a las variaciones térmicas.

Es de señalar que la información empleada es óptima para los análisis estadísticos (Quintero, 1991b), por cuanto el error cometido en las mediciones individuales, sobre todo en el caso de las observaciones realizadas desde embarcaciones comerciales, es compensada por el peso de la masa de observaciones en cada cuadro (UGRIUMOV, 1981).

RESULTADOS Y DISCUSION

La predicción que se analiza en el presente trabajo se realiza en base a esquemas simples de pronóstico, los cuales toman en cuenta la estructura de la variación del régimen térmico en la parte occidental del Atlántico Tropical. El amplio problema que se relaciona en los pronósticos, el aspecto térmico del océano y la interacción atmósfera-océano, escapan a la competencia de este trabajo.

Un pronóstico único para todos los 41 trapecios de la región de estudio, en el que se tome en cuenta la distribución general de la TSO como un todo, formada por procesos físicos generales o comunes, es desechado en una primera aproximación. Esto es debido a que las oscilaciones térmicas generales en el área de estudio, las cuales tienen períodos de 5 - 7 años y de 2 - 3 años sólo corresponden a un 24% de peso de la variación total del campo de la TSO en la región estudiada (QUINTERO, 1991b). Por ello y a pesar de que se hiciesen pronósticos absolutamente exactos, estas variaciones de la TSO no permiten obtener la efectividad práctica requerida para los pronósticos generales para toda el área estudiada.

Al desechar la idea del pronóstico único para toda la región, por la poca efectividad práctica que de él se puede obtener, conviene valorar las posibilidades del pronóstico regional de la temperatura. Por región se entiende zonas en el interior de las cuales se conserva la homogeneidad de las variaciones de los parámetros. Para esta misma área, en un trabajo anterior (QUINTERO, 1991b), determinó que el área de estudio podía ser dividida en cuatro regiones según su homogeneidad:

- Ecuatorial
- Contracorriente Ecuatorial del Norte
- Ecuatorial del Norte
- Antillo-Guayanesa

Estas regiones están estrechamente relacionadas con la distribución espacial de la circulación de las aguas a gran escala en la zona superficial del Atlántico Tropical (QUINTERO, 1991 a; STEPANOV, (1984).

Una gran cantidad de esquemas de pronósticos de la TSO está basada en el uso del principio del autopronóstico, según este modelo el valor futuro de la TSO puede ser calculado por el análisis de las variaciones anteriores y presentes al momento en que se realiza el cálculo. En una serie de publicaciones relacionadas con el análisis de la variación de los campos oceanográficos, entre las que se pueden citar las realizadas por KICLOV (1989) y POLIAK (1989), fue mostrada la efectividad práctica de las ecuaciones de autoregresión de 1er y 2do orden en la solución de muchos problemas de modelación y pronóstico.

Las principales fórmulas de pronóstico, en base a la autoregresión tienen la siguiente forma:

$$\hat{Y}_{(t+1)} = a_{11} - Y_{(t)} \qquad (1)$$

$$\hat{Y}_{(t+1)} = a_{12}Y_{(t)} - a_{22}Y_{(t-1)} \qquad (2)$$

donde: $\hat{Y}$ - es el valor a pronosticar de la TSO en el instante del tiempo $t + 1$

Y (t), $Y(t - 1)$ - anomalías de la TSO observados en el momento presente y pasado.

a_{ij} - coeficientes de autoregresión

Las posibilidades de éxito del autopronóstico de la

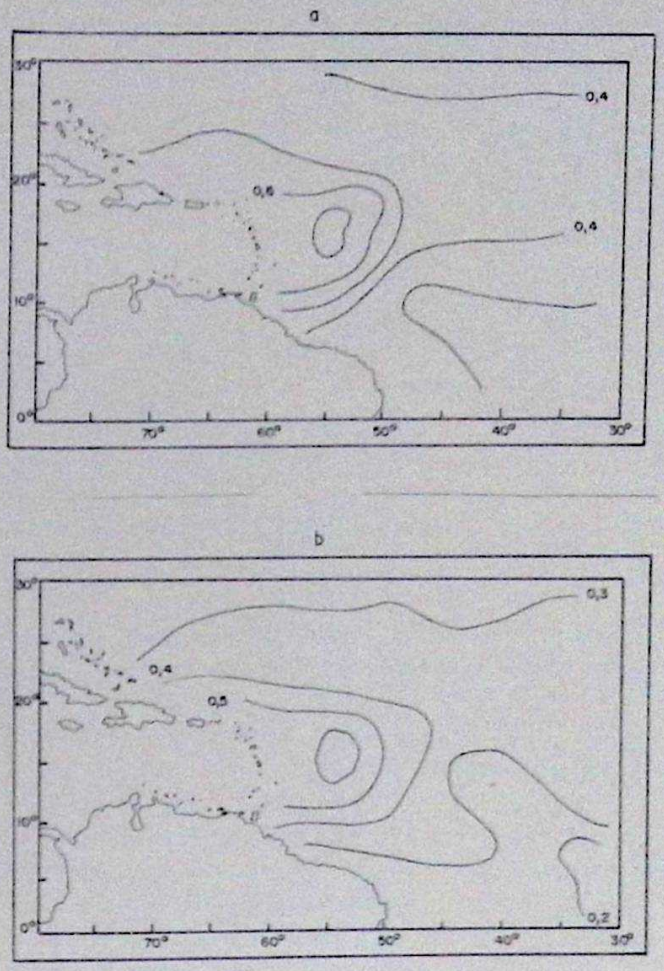


Fig. 2.- Valor de los coeficientes de autocorrelación con desplazamientos en el tiempo de 1 (a) y 2 (b) meses.

TSO, están determinadas por los valores de los parámetros de las ecuaciones de autoregresión (a_{ij}), las cuales tradicionalmente se valoran por las fórmulas (PRIVALSKI, 1985):

$$a_{22} = r_1 \qquad a_{12} = \frac{(1 - r_2)}{r_1} \qquad a_{22} = \frac{(r_1^2 - r_2)}{(r_1^2 - 1)} \tag{3}$$

donde r_1 y r_2, coeficientes de autocorrelación del primer y segundo mes siguientes al momento actual.

En las fórmulas señaladas, se aprecia una relación inmediata entre la potencialidad efectiva del pronóstico y los valores de los coeficientes de autocorrelación (Figs. 2a y 2b). En la distribución espacial de los coeficientes de autocorrelación, llama la atención tres particularidades:

1.- Los focos de valores máximos r_1 y r_2 se observan en la región Antillo-Guyanesa.
2.- El área de valores mínimos de r_1 y r_2 es la región Ecuatorial.
3.- Franja de valores reducidos r_2 en la región Ecuatorial del Norte.

Al estimar el pronóstico potencial de las ecuaciones de autoregresión, se emplea la teoría de modelos estadísticos lineales de las series de tiempo (BAGROV, 1981; KATZ, 1988; ZWIERS & THIEBAUX, 1987). Como criterio de calidad, se puede emplear la relación adimensional del error de dispersión del pronóstico (S^2) y la dispersión de la serie inicial de las anomalías de la TSO (σ^2):

$$\frac{S^2}{\sigma^2} = \frac{\sum (Y_{(i)} - \hat{Y}_{(i)})^2}{\sum (Y_{(i)} - \bar{Y})^2} \tag{4}$$

Donde: $\bar{Y}$ es el promedio de la serie tratada.

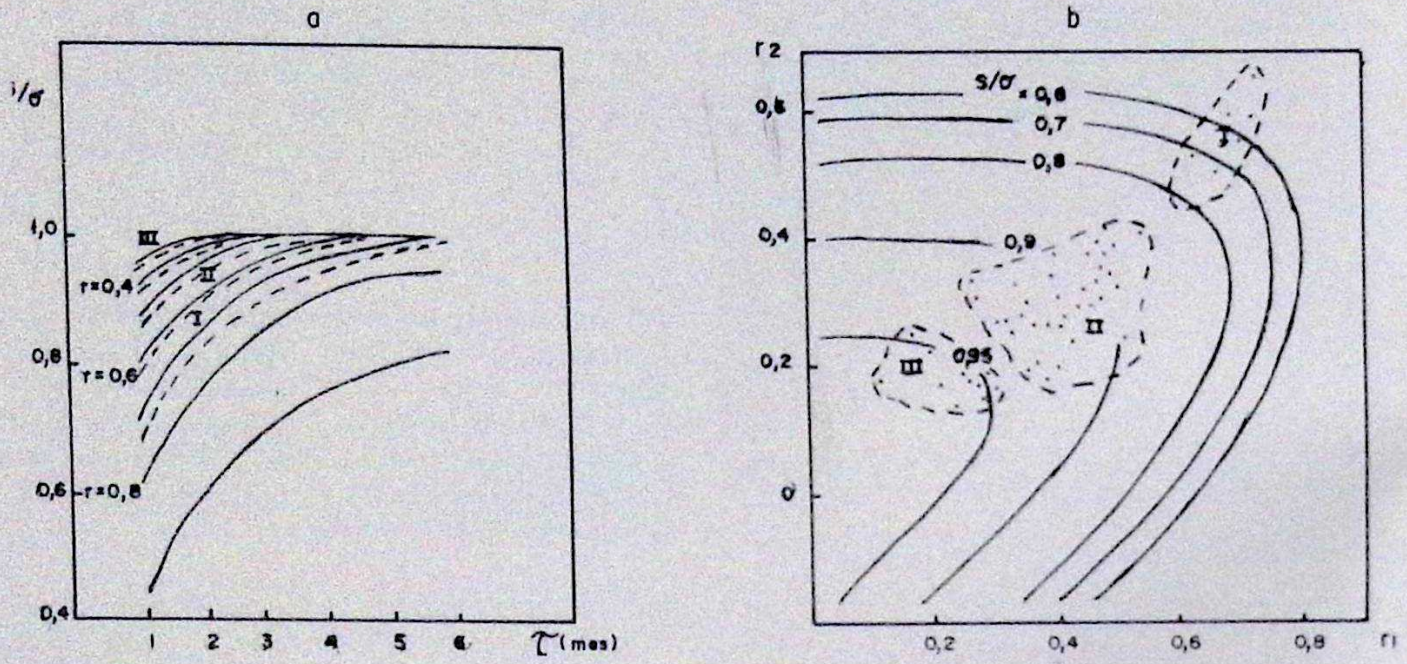
El nivel del error relativo de la predicción de las anomalías mensuales de la TSO en el Atlántico Tropical, con una anticipación de 1 mes está entre 0,6 y 1,0 (Fig. 3a). Con el aumento a 2 meses de anticipación, en casi toda la región estudiada, S/σ es superior a 0,8.

Como se puede notar, la mayor efectividad de pronóstico de las anomalías mensuales de la TSO se alcanza en la Región Antillo-Guyanesa, ubicada cerca de las costas de Sur América. La calidad más baja en los pronósticos de autoregresión se alcanza en la Región Ecuatorial, entre los 0 y 10° Lat. Norte. Las diferencias mencionadas se conservan incluso con el aumento del tiempo de antelación.

Al estimar la efectividad del pronóstico de las anomalías mensuales de la TSO por las ecuaciones de autoregresión de 2do grado con una antelación de 1 mes, se pueden observar tres regiones homogéneas por la efectividad de dicho pronóstico, que se designan como:

I - Antillo-Guyanesa
II- Tropical
III - Ecuatorial

La primera y tercera región corresponden aproximadamente a las regiones designadas anteriormente por la homogeneidad en las variaciones de los parámetros. En



Figs. 3(a) y (b).- Error relativo teórico (S/σ) del pronóstico de las anomalías medias mensuales de la TSO por el método de autoregresión de primero(a) y segundo (b) grando en relación al primer (r_1) y segundo (r_2) coeficiente de la función de autocorrelación para diferentes desplazamientos en el tiempo.

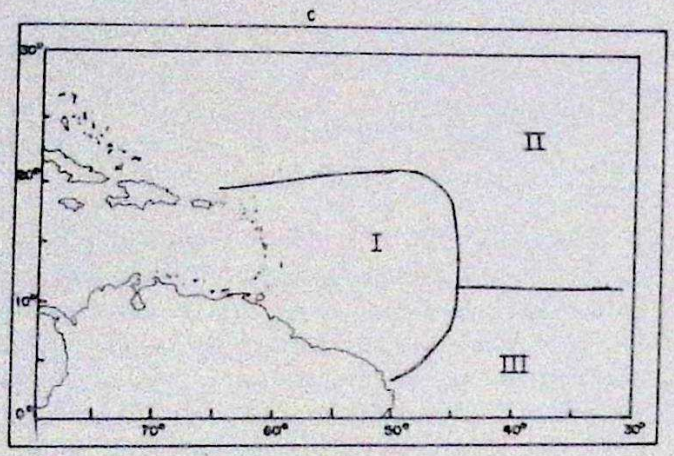


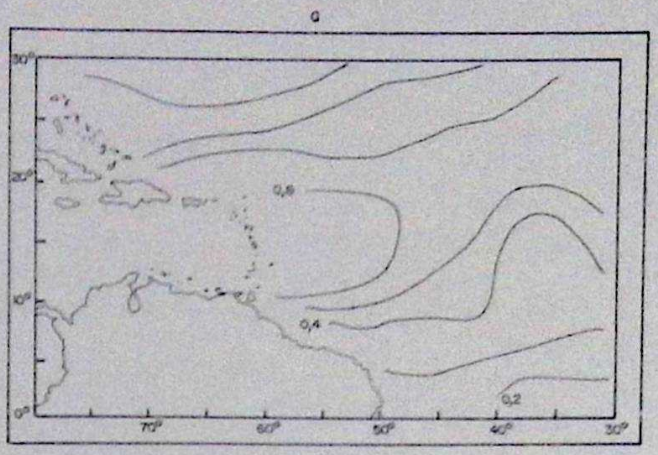
Fig. 3(c) Regiones homogéneas de acuerdo a la efectividad de los pronósticos

cuanto a la segunda, región Tropical, se compone de las regiones designadas anteriormente como región de la Contracorriente Ecuatorial del Norte y la región Ecuatorial del Norte.

La mayor perspectiva del pronóstico del efecto térmico en la zona estudiada mediante el empleo de la ecuación de 2do orden, es la Región Antillo-Guyanesa, donde el error relativo del pronóstico oscila entre 0,6 - 0,7. La menor probabilidad de pronóstico mediante el esquema descrito, corresponde a la Región Ecuatorial, donde $S/\sigma = 0,94$, es decir, la dispersión del error del pronóstico es prácticamente equivalente a la dispersión de la serie inicial de anomalías de la TSO.

Algún interés pueden representar las conclusiones relacionadas con el pronóstico de las anomalías medias estacionales de la TSO. Así, el pronóstico de las anomalías estacionales de la temperatura superficial podrá servir de ayuda en la actividad pesquera (LAEVASTU & HELA, 1974), en la zona costanera de Sur América. Además, debido a la actividad ciclónica, en el área de estudio se genera buena parte de las tormentas tropicales que afectan el Mar Caribe (HERRERA & FEBRES-ORTEGA, 1981), para el origen de las cuales, el contenido calórico de la capa superficial del océano es determinante (SHULEIKIN, 1979).

Para obtener los valores iniciales para los pronósticos estacionales de la TSO, es necesario cambiar el intervalo de promediación de las series mensuales. A tal fin, se realizó una promediación de la TSO para las siguientes estaciones en los siguientes intervalos: invierno - de enero a marzo, primavera - de abril a junio, verano - de julio a septiembre y otoño - de octubre a diciembre. Luego, fueron calculadas las medias interanuales estacionales de la TSO en cada uno de los 41 trapecios. Al final se obtuvieron las series de las anomalías estacionales de la TSO, por las cuales se realizaron los cálculos de valoración de las funciones de autocorrelación.



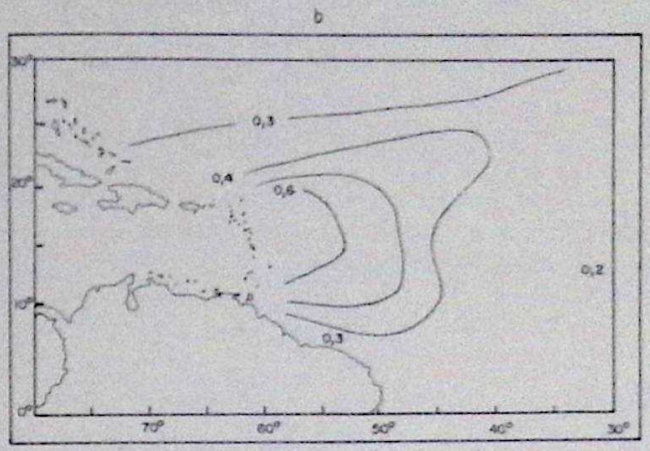


Fig. 4.- Coeficientes de autocorrelación de las series de las anomalías de la TSO con adelantos en el tiempo de 1 (V_1) y 2 (r_2) estaciones.

estaciones, muestra que la estructura térmica espacial de los campos de los momentos de correlación, no se diferencian de los campos análogos en la promediación mensual (Figs. 4.a y 4.b). En ambos casos, prácticamente coinciden el foco de máxima correlación (Región Antillo-Guyanesa) y el de correlación mínima (Región Ecuatorial). Asimismo coincide el nivel medio de correlación en estos centros para cada uno de ellos.

La diferencia entre los campos de correlación de las anomalías estacionales y las anomalías medias mensuales de la TSO, es el aumento en promedio de 0,1 del nivel de fondo de la autocorrelación en la Región Ecuatorial del Norte. De esa forma, la ausencia en principio de diferencias en la estructura de las funciones de autocorrelación de la TSO para la promedios mensuales y estacionales, permite proponer límites análogos en el pronóstico estadístico de estas series (Fig. 5).

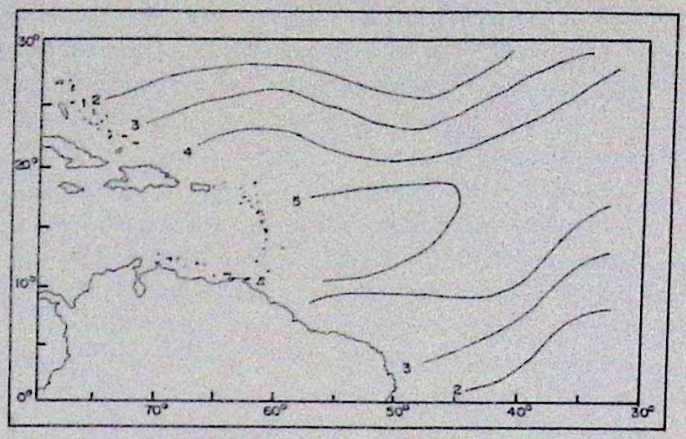
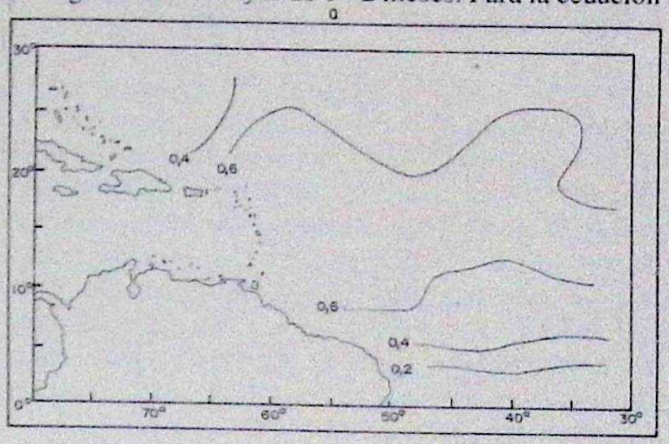


Fig. 5.- Nivel medio de extinción de las anomalías (en estaciones).

La dependencia del error relativo del pronóstico estacional del nivel de correlación es prácticamente semejante de los analizados anteriormente para las series mensuales. El límite de pronóstico por la ecuación de autoregresión de 1er grado no es mayor de 1 - 2 meses. Para la ecuación



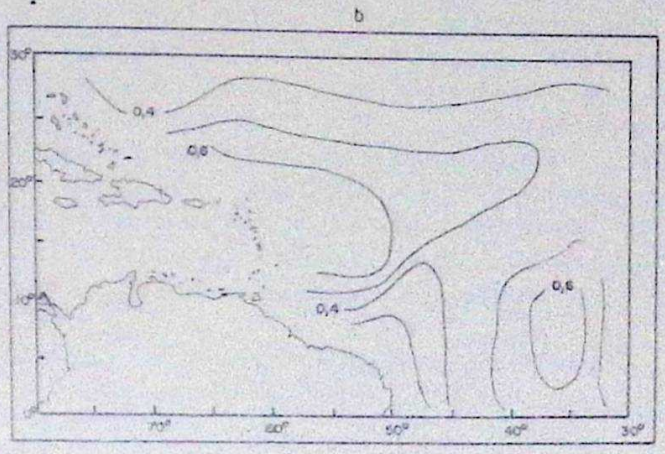


Fig. 6.- Correlación interestacional de las series de anomalías de la TSO: a) invierno - primavera, b) verano - otoño.

les. El límite de pronóstico por la ecuación de autoregresión de 1er grado no es mayor de 1 - 2 meses. Para la ecuación de pronóstico de 2do grado se conserva el nivel mínimo de error relativo del pronóstico, el cual se corresponde con la Región Antillo-Guyanesa. El mayor error relativo de pronóstico se observa en la región Ecuatorial, en donde el valor de s/σ se encuentra en el intervalo de 0,94 a 0,98. Como un rasgo característico debe considerarse la disminución del error de pronóstico de las anomalías estacionales de la TSO en la Región Tropical. Por comparación de los resultados del pronóstico mensual, el error de apreciación pronóstico estacional se reduce en un 10 %.

Asimismo, es interesante obtener los resultados del pronóstico para las relaciones interestacionales. Para ello se realizaron cálculos de correlación interestacional y los resultados son presentados en las Figs. 6a y 6b. Aquí de manera clara se pueden apreciar las diferencias de las relaciones de correlación entre las estaciones de verano e invierno (correspondientes al hemisferio norte).

Así en la Región Ecuatorial, el desarrollo de las anomalías de la TSO en la estación de primavera no depende de las condiciones térmicas de invierno. El nivel de correlación en el caso presentado no es mayor a 0,2, el cual es insignificante. Se observa asimismo un aumento de la correlación en la Region Antillo-Guyanesa, donde la correlación en el período invierno - primavera varía entre 0,76 - 0,84. También cabe destacar que el campo de las correlaciones térmicas en este período están orientadas latitudinalmente, con un máximo de correlación en la zona subtropical entre los 15° y 25° Lat. Norte.

Lo contrario ocurre en la época cálida del año, correspondiente al período verano - otoño, donde el campo de correlación tiene una estructura espacial más complicada, en las que se altera la orientación latitudinal de las correlaciones en la franja 0° - 20° Lat. Norte. También, se observa un máximo de correlación local, el cual ocupa toda la región ecuatorial. En las latitudes subtropicales 20° - 30° Lat. Norte se observa una disminución de las isocorrelaciones (hasta 0,3) con relación a la época fría, aunque la posición zonal de la isocorrelación se conserva.

Por supuesto que las particularidades de las correlaciones interestacionales de la TSO correspondería explicarlas por el efecto de las particularidades de la variación estacional de la circulación superficial del océano y del viento.

CONCLUSIONES

1.- a) Tienen mayor posibilidad de éxito los pronósticos regionales.
b)Los pronósticos que comprenden toda el área de estudio son poco efectivos.

2.- Fueron determinadas tres regiones por la efectividad del pronóstico regional: Antillo-Guyanesa, Tropical y Ecuatorial.

3.- La región con mayores posibilidades para ser pronosticada es la Región Antillo-Guyanesa, donde el signo de las anomalías mensuales se mantienen de 4 a 6 meses o de 3 a 4 estaciones.

4.- La región con menor posibilidad de ser pronosticada es la Región Ecuatorial, donde las anomalías sólo mantienen de 1 a 2 meses y a lo sumo una estación.

AGRADECIMIENTOS

El autor le agradece sinceramente a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

BRAGOV, N. & N. KOSHEBNIKOVA 1981. Obektivni analis temperaturi poverxnocti okeana na Cevernom polushari. Moscu. *Metereología y Gidrología.* N° 12. 69 -76.

GERSHANOVICH, D. & A. MUROMTSEF 1982. Okeanologicheckie ocnovi biologicheckoi productivnosti Mirovoba Okeana. Leningrado. *Gidrometeoizdat.* pp. 320.

HERRERA, L. & G. FEBRES-ORTEGA 1981. Principales acciones meteorológicas y procesos ciclogenéticos que afectan las aguas costa fuera de Venezuela. *Revista Técnica INTEVEP.* 5 (1-): 119-133.

KATZ, R. 1988. Statistical procedures for making inferences about climate variability. *J. Climatol.* 1988. pp 1057-1064.

KICLOV, A. 1989. Teoría Klimata. Moscú. MGU. pp. 147.

LEVASTU T. & I. HELA 1974. Fisheries Oceanography

New Ocean Environmental Services, Fishing News (Books) *Ltd. Londo.* pp.295.

POLIAK, I. 1989. Monogomomi ctatistichecki modeli Klimata. Lenningrad. *Gidrome Teoizat.* pp. 181.

PRIVALSKI, B. 1985. Klimatologicheskaya izmenchivost. Moscu. *Nauka.* pp. 189.

QUINTERO, A. (a). 1991. Régimen Termohalino en el Atlántico Tropical Occidental. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente, Venezuela.* 30 (1 & 2): 85 - 96.

QUINTERO, A. (b). 1991. Variaciones espacio-temporales de la temperatura superficial en el Atlántico Tropical Occidental. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente, Venezuela.* 30 (1 & 2): 73-83.

SHULEIKIN, A. 1979. Zarroshdenia, razbitia y zatujania tropi cheskis uraganov. Leningrad. *Gidrometeoizdat.* pp. 85.

STEPANOV, B. 1984. Termogalinaya stratifikatsia bod Mirovoba olkeana. Moscú, *Nauka.* pp. 143.

UGRIUMOV, A. 1981. Teplovoi reshim okeana y dolgosrochmie progno zi pogodi.- Leningrad. *Gidrometeoizdat.* pp. 176.

ZWIERS, F. & M. THIEBAUX 1987. Statistical considerations for climate experiments. Part I: Scalar Tests. *J. Clin. and Appl. Meteor.* Vol. 26 No. 4: 464-476.