

Construcción de Series de Tiempo de Temperatura Superficial del Mar de las Zonas Homogéneas del Océano Pacífico Colombiano

Igor Málíkov¹
Nancy Liliana Villegas Bolaños²

Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad
Nacional de Colombia - Sede Central
Ciudad Universitaria, Transversal 38 No. 40-01, Bogotá
Tél: +57 (1) 316 50 00
e-mail: ig_nan@yahoo.com¹
e-mail: nlvillegasb@unal.edu.co²

Málíkov, I. y N. Villegas. 2005. Construcción de Series de Tiempo de Temperatura Superficial del Mar de las Zonas Homogéneas del Océano Pacífico Colombiano. Boletín Científico CCCP, (12): 79-93.

Recibido en julio de 2005; aceptado en diciembre de 2005

RESUMEN

Las series de tiempo de la temperatura superficial del mar, TSM, obtenidas sobre la cuenca del Pacífico colombiano, CPC, fueron construidas para seis zonas homogéneas de la región de estudio, identificadas en trabajos anteriores. La información que se utilizó es la registrada por la Dirección General Marítima, DIMAR, como resultado de campañas oceanográficas realizadas desde 1972 hasta 2002. Las series de tiempo resultantes operarán como punto de partida, tanto para estudios sobre la incidencia de fenómenos naturales y antropogénicos, en la evolución y estructura de parámetros oceanográficos y climatológicos de la región, como para el desarrollo de proyectos sobre dicha incidencia en aspectos económicos y sociales del país.

PALABRAS CLAVE: series de tiempo, TSM, zonas homogéneas, cuenca Pacífica colombiana, campañas oceanográficas, DIMAR.

ABSTRACT

Sea Surface Temperature (SST) time series obtained on the Colombian Pacific Ocean (CPO), were constructed for six previously identified homogenous zones in the study region. Used information was registered by National Maritime Direction, DIMAR, in oceanographic campaigns from 1972 to 2002. Constructed time series will serve from now on, as initial data as much for studies on incidence of natural phenomena and human made actions in the evolution and structure of oceanographic and climatologic parameters of the region, as well as for the development of projects on this incidence in economic and social aspects of the nation.

KEY WORDS: time series, SST, homogenous zones, colombian Pacific ocean, oceanographic campaigns, DIMAR.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la evolución de la dinámica de las aguas de una región y de la incidencia de variables naturales y antropogénicas en ella hace indispensable contar con series de tiempo de parámetros oceanográficos propios del área investigada. La TSM es uno de los parámetros oceanográficos más sensibles a la influencia de factores externos, por lo tanto, la obtención de series de tiempo de TSM es muy importante para este tipo de análisis.

Aunque la información natural de este parámetro sobre la CPC ha sido compilada, desde 1972 hasta el presente, en una grilla de 82 estaciones hidrometeorológicas, el número máximo de observaciones en una estación es 19 y, en la mayoría, la cantidad de observaciones es menor (CCCP, 2002). A lo anterior se suma la inexistencia de información sobre series de TSM en bases internacionales del área de estudio, lo que dificulta la obtención de estas series para cada estación de la grilla de la CPC.

Por este motivo se propuso la construcción de series de tiempo de este parámetro para algunas de las estaciones hidrometeorológicas de la grilla de la CPC, que fueran representativas de las zonas homogéneas predeterminadas en la región (Málikov, 2000; Villegas, 2002). Esto fue posible debido a que la principal característica de las masas de agua es la constancia de sus parámetros físicos, químicos y biológicos en el espacio y en el tiempo; por lo cual, la información dentro de cada una de ellas es homogénea (Malinin, 1998). Además, los aspectos particulares de la dinámica de las aguas de la región de estudio permiten que se puedan unir los valores de los parámetros registrados en las estaciones de una zona homogénea determinada y construir una serie de tiempo que la identifique (Tchansev y Cabrera, 1998; CCCP, 2002; Villegas y Neelov, 2002; Villegas, 2003). Así es como en el presente trabajo se obtuvo una serie de tiempo de TSM de cada zona homogénea de la CPC.

En este artículo se dan a conocer las zonas homogéneas determinadas desde el 2000 para el área de estudio; la metodología utilizada para la construcción de las series en cada zona homogénea, y los resultados y conclusiones obtenidos.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la CPC, ubicada entre las longitudes $77^{\circ} 40' 00'' 0$ y $82^{\circ} 00' 00'' 0$ y las latitudes $01^{\circ} 30' 00'' N$ y $07^{\circ} 00' 00'' N$ (Figura 1). En ella, las zonas homogéneas (masas de agua), obtenidas por análisis de cluster teniendo en cuenta valores promedio (período 1972 - 2000) de temperatura, salinidad densidad específica y sus desviaciones estándar (Málikov, 2000; Villegas, 2002), son: las zonas I y II, de características de aguas costeras; la Zona III, ubicada en la región intermedia de mezcla de las aguas costeras con las aguas del Oeste; la Zona IV, con características de aguas costeras provenientes del Pacífico ecuatoriano; la Zona V, cuyas aguas son las que mejor representan a las características de la CPC; la Zona VI, como mezcla de aguas provenientes del Pacífico ecuatoriano (Sur), del Pacífico panameño (Norte) y del mar abierto (Oeste); y la Zona VII, con aguas de influencia del mar abierto. Estas características físicas de las aguas corresponden a la localización de cada zona homogénea, lo cual se verifica en la Tabla I.

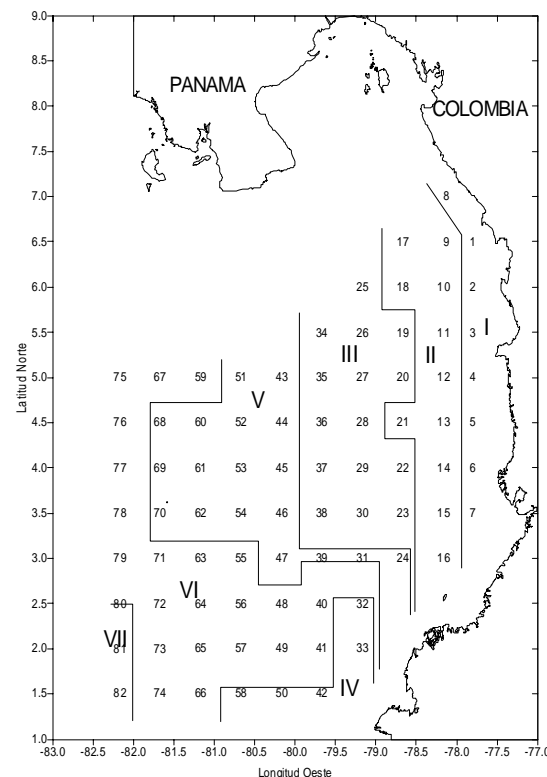


Figura 1. CPC y distribución de zonas homogéneas. (Fuente: Málikov, 2000)

Tabla I. Características de las zonas homogéneas de las aguas superficiales de la CPC.

| Zonas | Temperatura (°C) | Salinidad (‰) | Densidad específica |
|-------|------------------|---------------|---------------------|
| I | 27.38 | 28.09 | 17.40 |
| II | 27.27 | 30.72 | 19.41 |
| III | 27.21 | 31.65 | 20.13 |
| IV | 27.24 | 32.45 | 20.73 |
| V | 27.07 | 32.29 | 20.66 |
| VI | 26.96 | 32.66 | 20.97 |
| VII | 26.65 | 32.96 | 21.30 |

Debido a los pocos datos existentes en la última zona, se partió de las seis primeras zonas homogéneas para la construcción de las series de tiempo de la TSM.

METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta que en bases de datos internacionales no existe información natural que haya sido registrada en la región de estudio con una periodicidad considerable, para esta investigación sólo se tuvo en cuenta información natural de la base de datos del CCCP. Así los datos utilizados para la obtención de series de tiempo de la TSM sobre la CPC fueron:

- TSM de los puntos de la grilla establecida para la región de estudio provenientes de expediciones oceanográficas efectuadas por la DIMAR desde 1972 hasta el año 2000. Los equipos utilizados y su calibración se expone en Málíkov y Villegas (1997), donde se argumentan los criterios para selección de datos e información desechada.
- Valores promedios mensuales de TSM de la CPC obtenidos por aproximación polinomial de los datos iniciales de expediciones oceanográficas efectuadas por la DIMAR desde 1972 hasta el año 2000 sobre el Pacífico colombiano (Málíkov y Camacho, 1998).
- Valores para comparación: promedios mensuales y anomalías de TSM del puerto de Tumaco desde 1972 hasta el año 2000, obtenidos de la estación meteorológica del IDEAM, localizada en las instalaciones del CCCP, en San Andrés de Tumaco.

Se conoce que una serie de tiempo puede ser denotada por:

$$\{x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)\} = \{x(t) : t \in T \subseteq R\} \quad (1)$$

donde

$x(t_i)$: es el valor de la variable x en el instante t_i .

Si $T = Z$ se dice que la serie de tiempo es discreta y si $T = R$ se dice que la serie de tiempo es continua. Cuando $t_{i+1} - t_i = k$ para todo $i = 1, \dots, n-1$, se dice que la serie es equiespaciada, en caso contrario será no equiespaciada. En el presente trabajo se pretendió construir series de tiempo discretas y equiespaciadas, asumiendo que:

$$\{x(t1), x(t2), \dots, x(tn)\} = \{x(1), x(2), \dots, x(n)\} \quad (2)$$

En hidrometeorología se utiliza el método de analogía (Abuziarov *et al.*, 1988; Storch y Zwiers, 1999; Emery y Thomson, 2001) para crear una serie de tiempo. Este método se basa en que las causas iniciales deben dar como resultado igual magnitud de consecuencias. El método de analogía de dos series hidrometeorológicas pretende visualizar el grado de similitud hidrometeorológica que existe entre ellas, es decir: dos series se pueden llamar análogas, si al superponerlas éstas coinciden en todos los puntos (Borisencov, 1988). La analogía es dada por indicadores que representan a la(s) ley(es) física(s) que gobierna(n) a los fenómenos investigados (Belocercovskiy, 1993; Smirnov *et al.*, 1992), lo que permite entender que conociendo el carácter de un proceso hidrometeorológico ocurrido anteriormente, se puede predecir otro proceso de características similares (Abuziarov *et al.*, 1988).

En toda escala de tiempo (diaria, mensual, estacional, anual, etcétera) los procesos hidrometeorológicos tienen carácter oscilatorio cíclico, es por esto que los científicos proponen la utilización de la dependencia cíclica para diferentes métodos de análisis de series de tiempo (Abuziarov *et al.*, 1988; Borisenkov, 1988; Smirnov *et al.*, 1992; Storch y Zwiers, 1999; Emery y Thomson, 2001). Las oscilaciones cíclicas son aquellas en las cuales los valores de parámetros investigados se repiten con cierta periodicidad, presentando esta última diferente intensidad de repetición (Storch y Zwiers, 1999; Emery y Thomson, 2001).

Del tratamiento de la información existente para la CPC con la metodología expuesta, se obtuvieron como resultado seis

series de tiempo desde 1972 hasta el año 2000 de la TSM, correspondientes a las primeras seis zonas homogéneas de la CPC. Esto fue posible tomando de cada zona homogénea aquellas estaciones que por sus condiciones físicas eran similares entre sí.

En las figuras 2 a la 7 se presentan los valores de TSM registrados en los cruceros oceanográficos para seis zonas homogéneas. Como se observa, la información de cada zona fue insuficiente para obtener (construir) una serie continua, hizo falta información, ya que se encontraron años en los cuales no se hizo ningún tipo de registro. La dispersión de datos en las figuras 2 a la 7 muestra que hay mayor información en los últimos diez años, pero es casi inexistente en el primer lustro de los años 80. Esto se observó para todas las zonas.

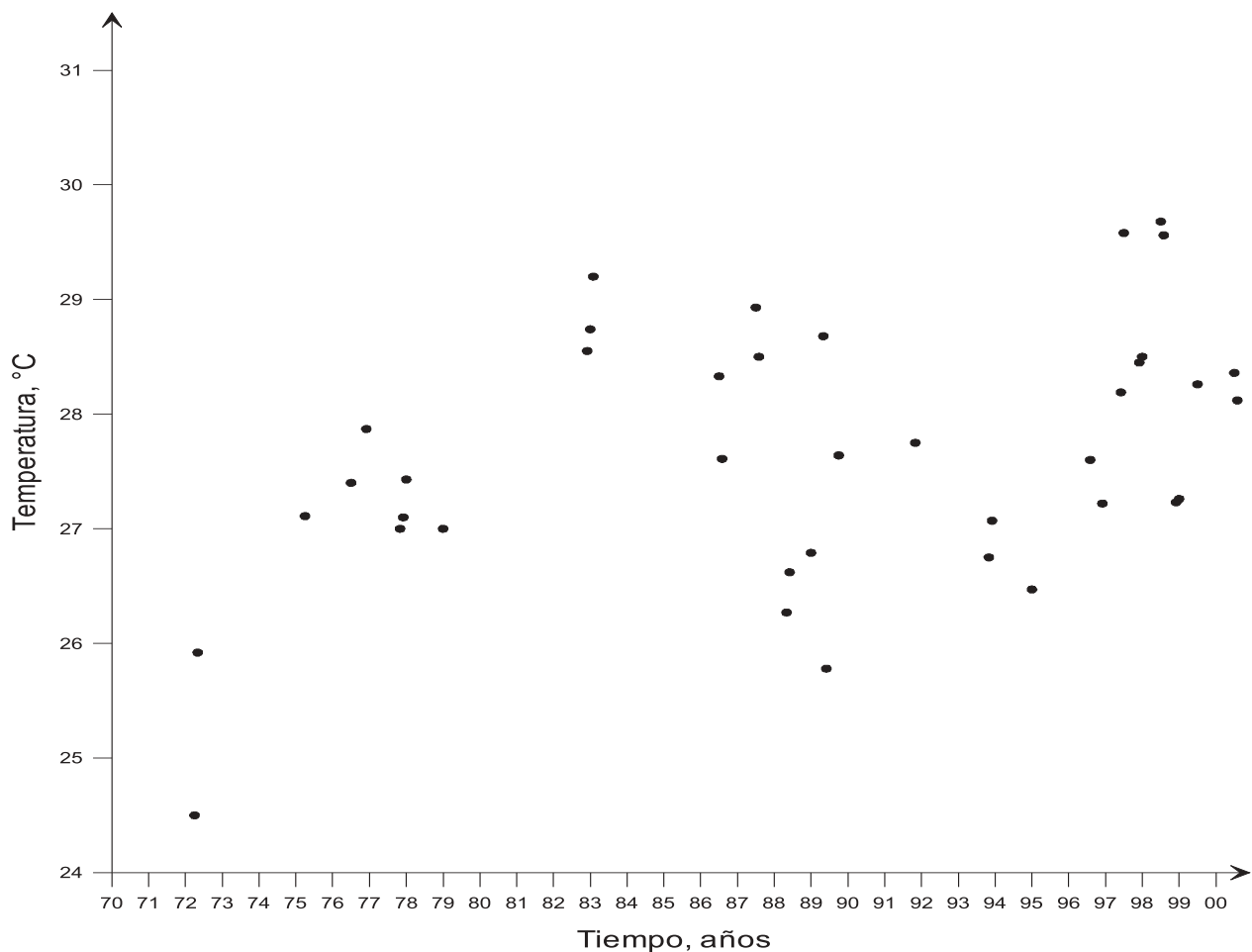


Figura 2. Valores de TSM observados durante el período 1972-2000 en la Zona I.

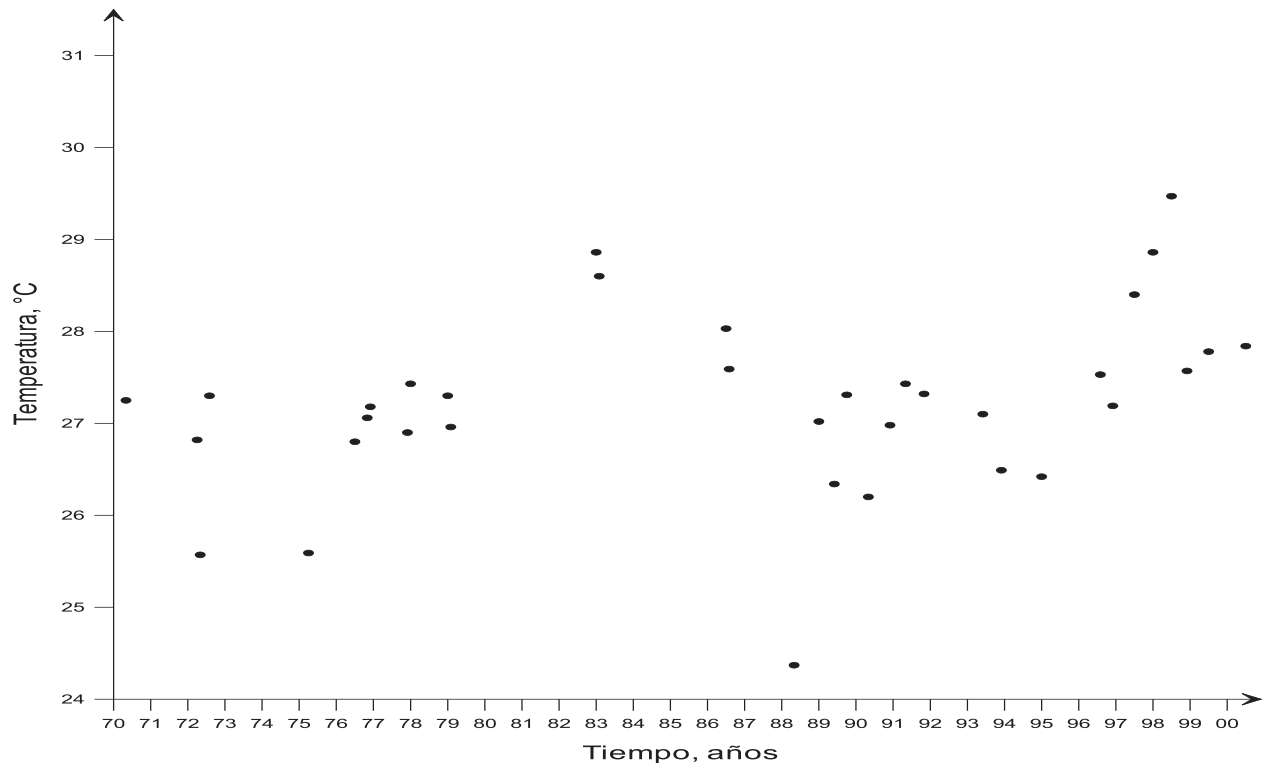


Figura 3. Valores de TSM observados durante el período 1972-2000 en la Zona II.

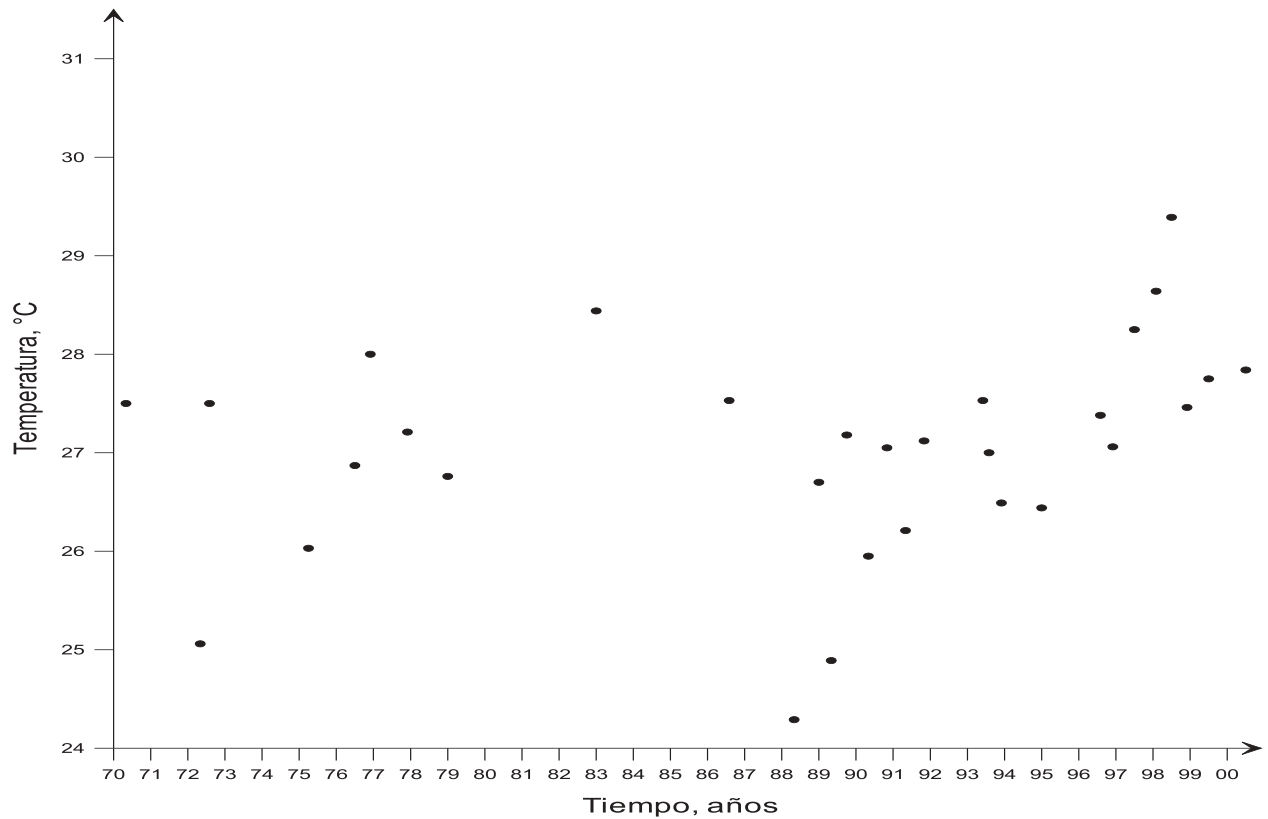


Figura 4. Valores de TSM observados durante el período 1972-2000 en la Zona III.

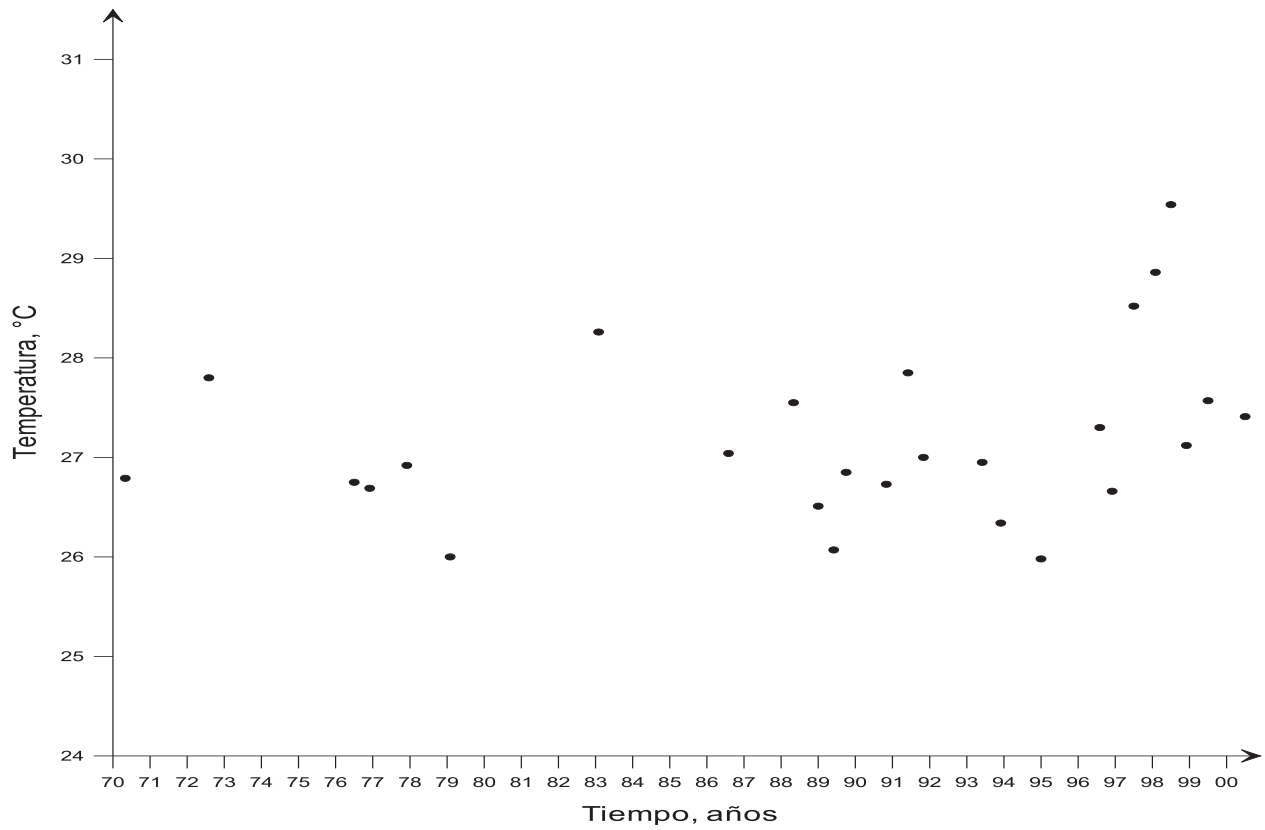


Figura 5. Valores de TSM observados durante el período 1972-2000 en la Zona IV.

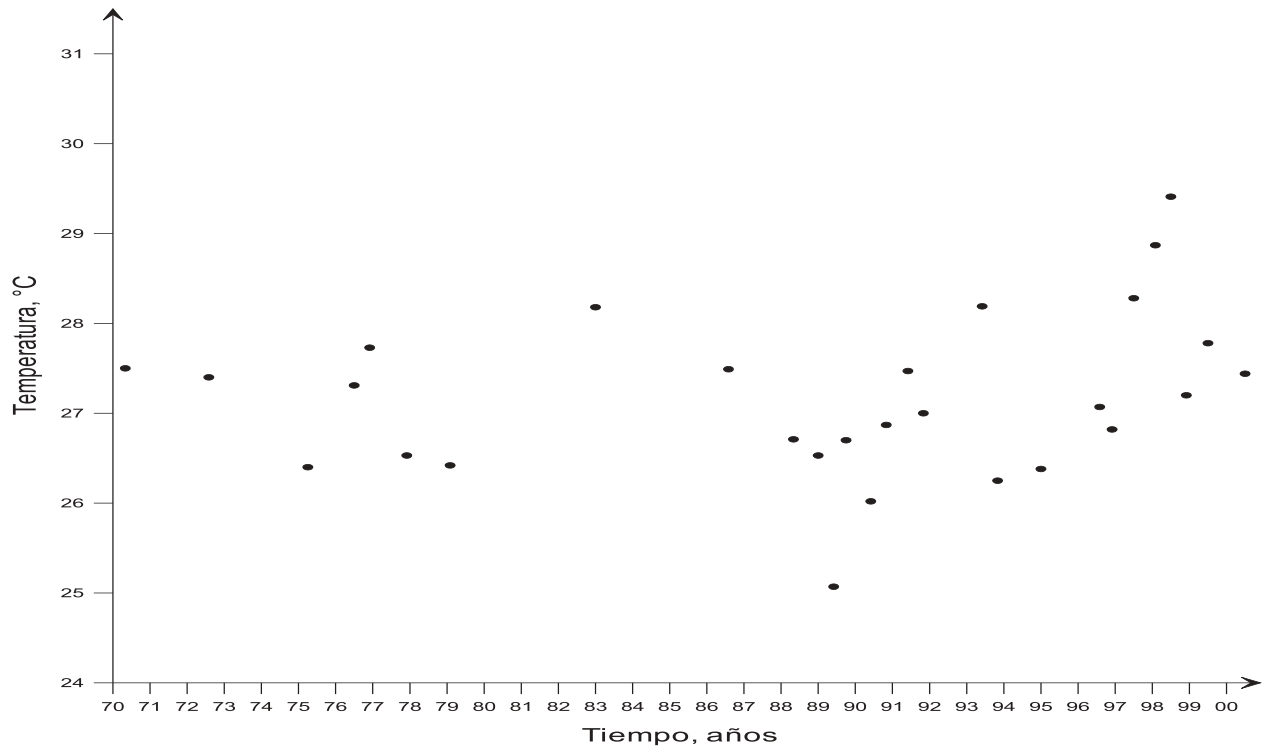


Figura 6. Valores de TSM observados durante el período 1972-2000 en la Zona V.

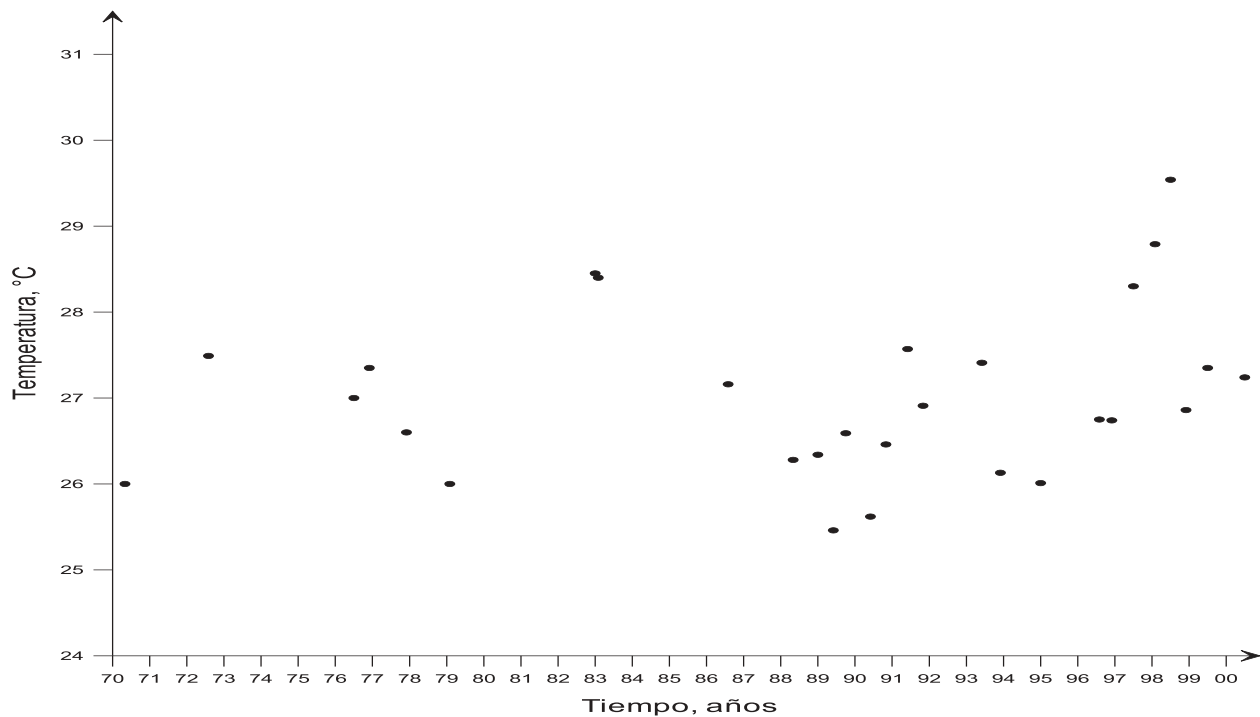


Figura 7. Valores de TSM observados durante el período 1972-2000 en la Zona VI.

Para restaurar algunos de los vacíos se tomaron como valores verdaderos la información de los meses en los cuales si hubo registro y, para los meses restantes, se tomaron los promedios mensuales obtenidos por medio de aproximación polinomial de los datos iniciales de los cruceros (Málíkov y Camacho, 1998). Seguidamente, se sumaron las anomalías encontradas en los meses del año de los cuales

existe información. Así se obtuvieron algunos valores faltantes dentro del período 1972-2000. Las series obtenidas luego de este procedimiento se observan en las figuras 8 a la13, en las que aún se identifican datos faltantes. Estos datos faltantes se restauraron por el método de analogía ya descrito, teniendo como base a la única serie completa que existe sobre el área de estudio: la TSM del puerto de Tumaco.

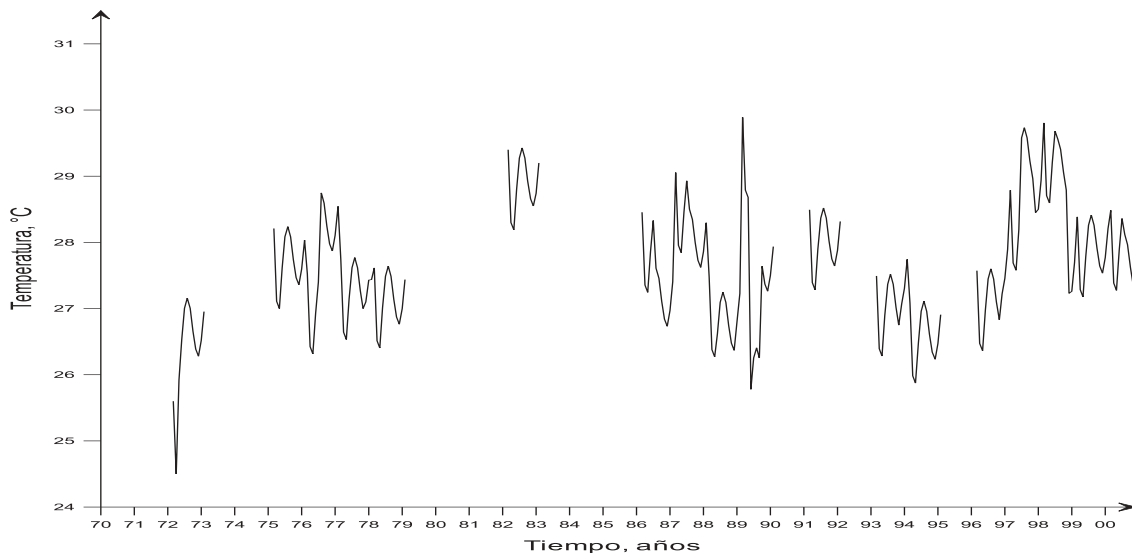


Figura 8. Serie de TSM del período 1972-2000 en la Zona I.

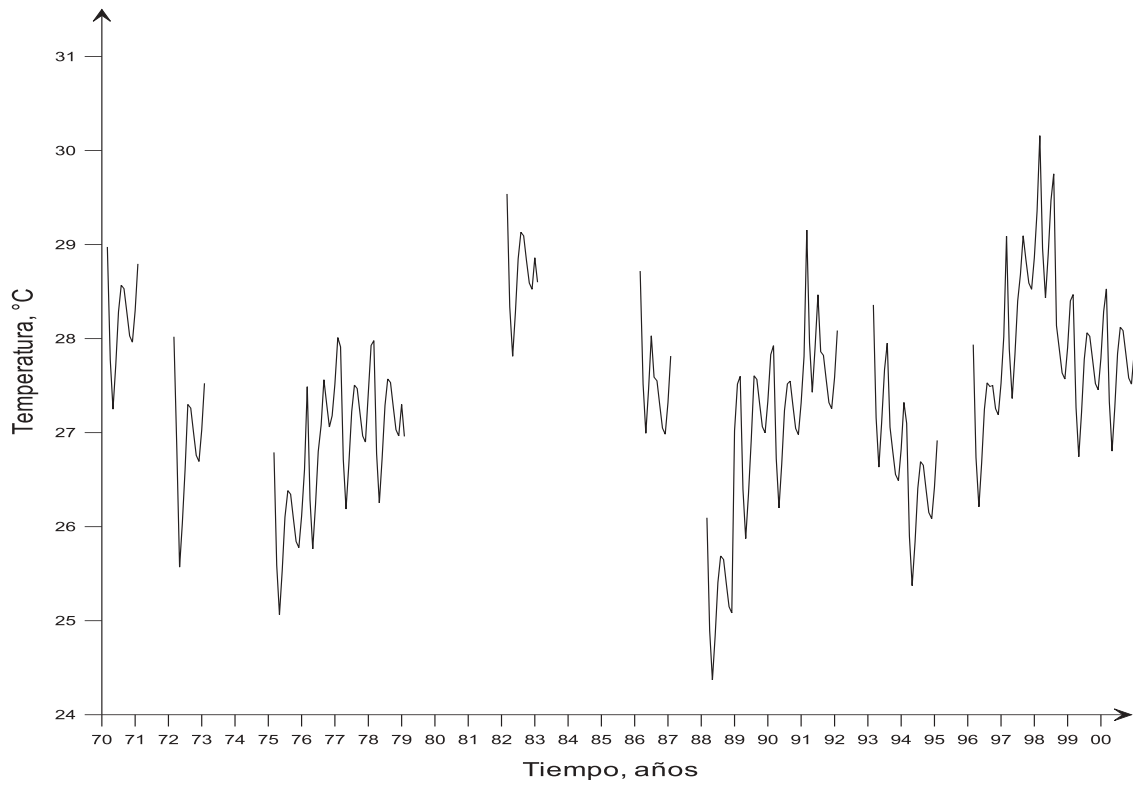


Figura 9. Serie de TSM del período 1972-2000 en la Zona II.

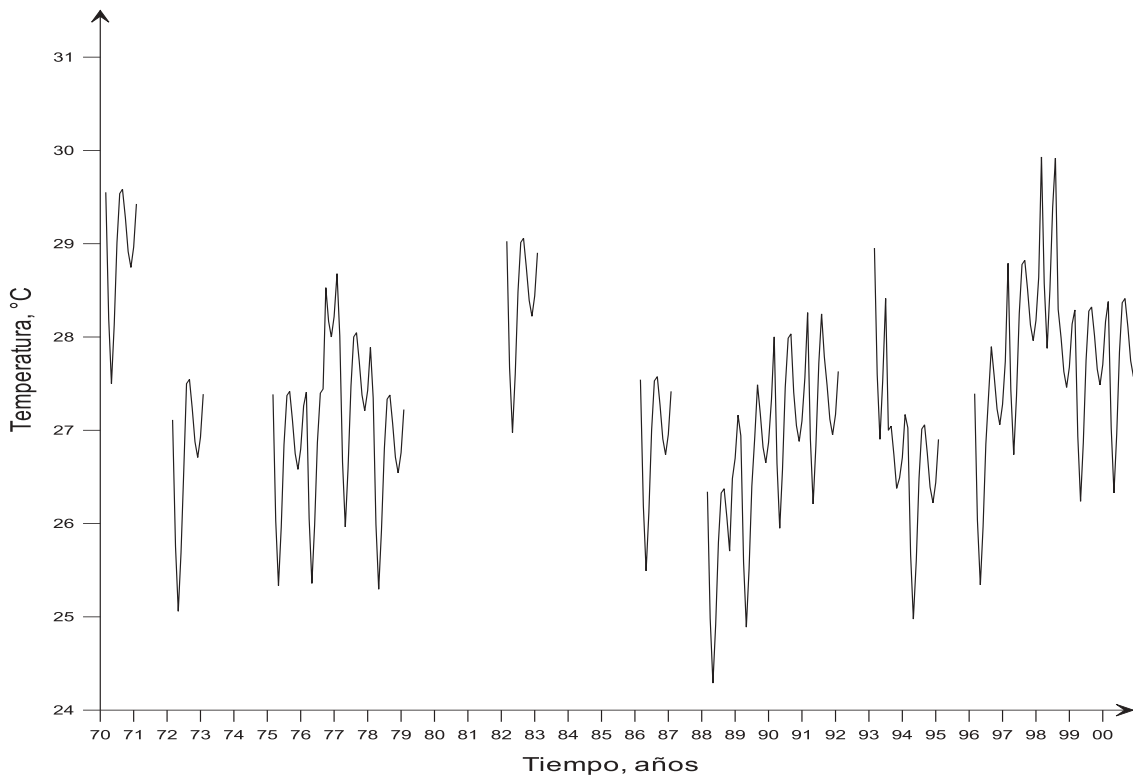


Figura 10. Serie de TSM del período 1972-2000 en la Zona III.

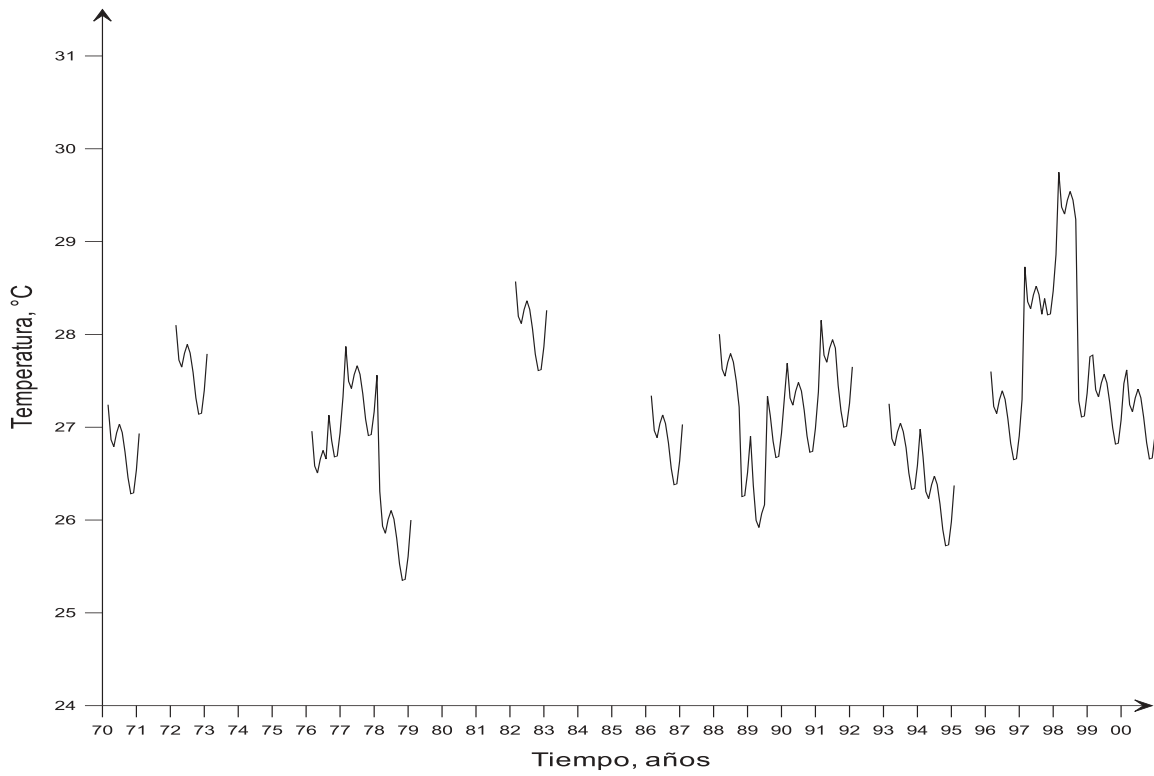


Figura 11. Serie de TSM del período 1972-2000 en la Zona IV.

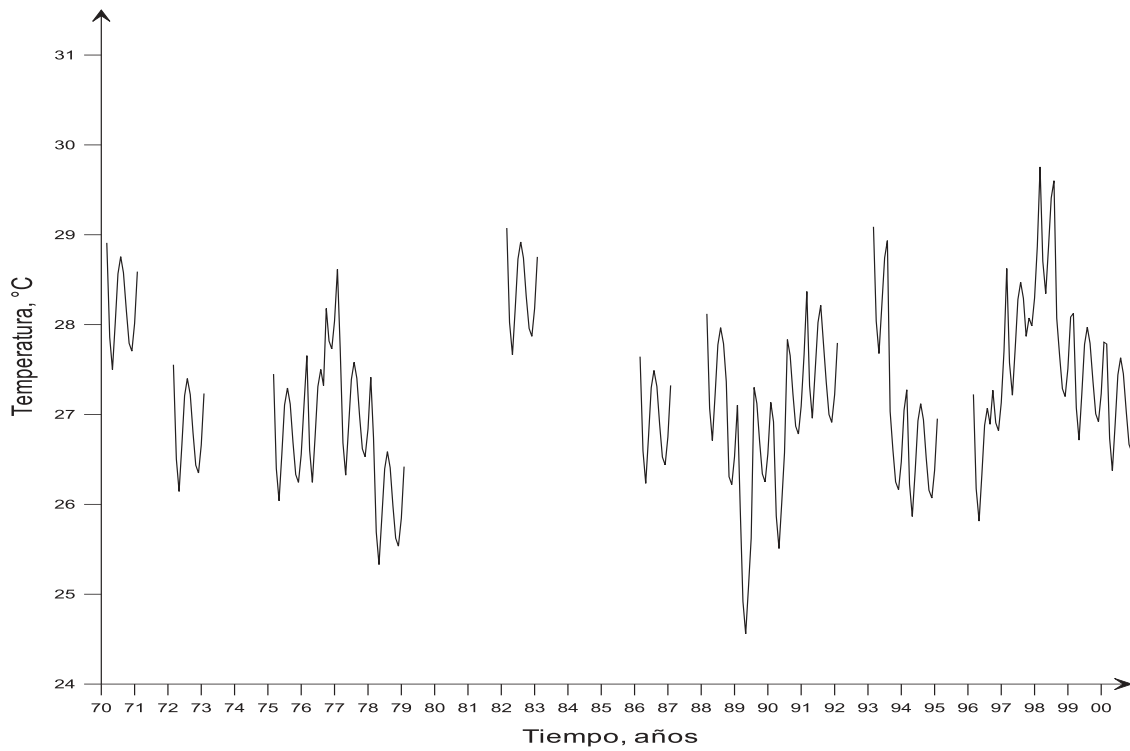


Figura 12. Serie de TSM del período 1972-2000 en la Zona V.

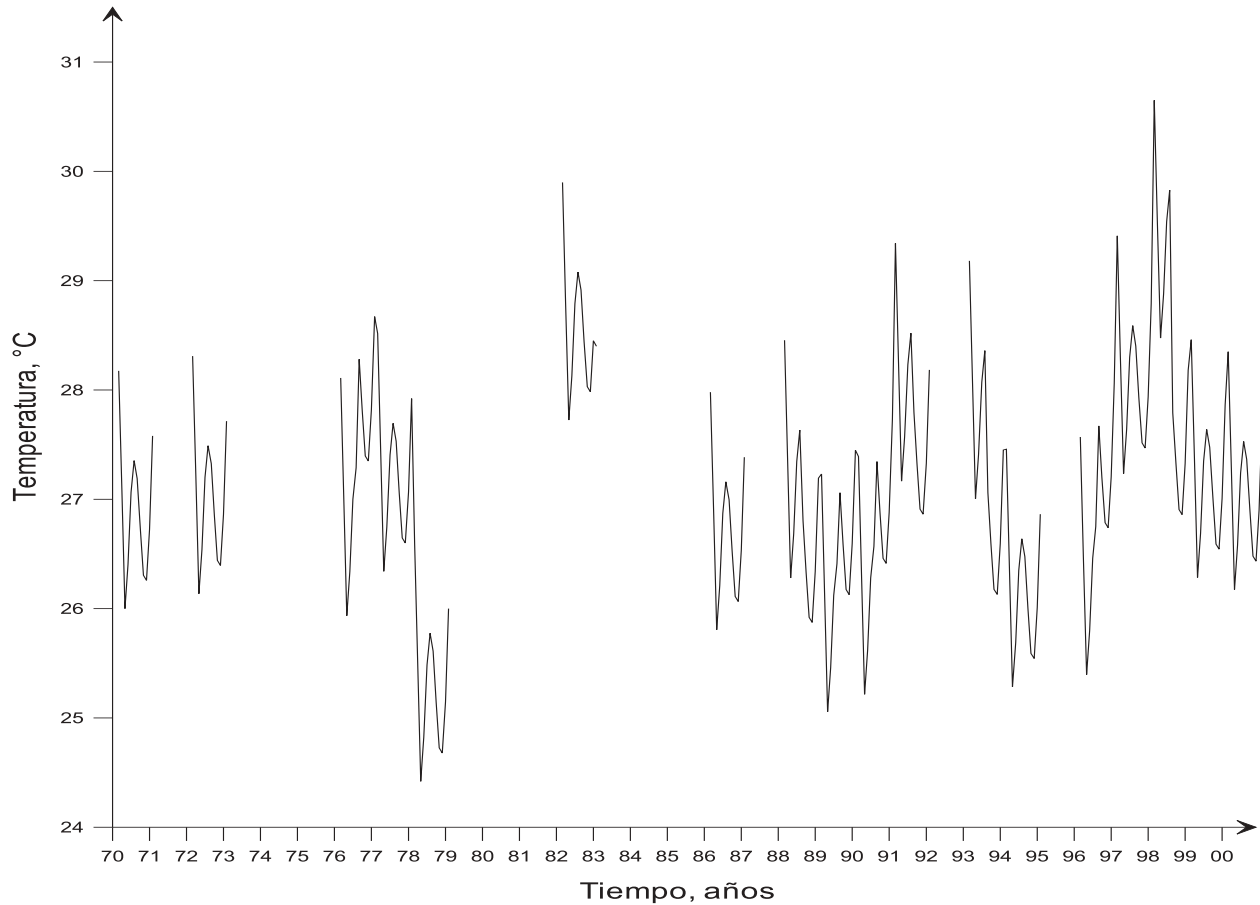


Figura 13. Serie de TSM del período 1972-2000 en la Zona VI.

La superposición de la TSM del puerto de Tumaco con la TSM de la Zona I evidenció una cercana similitud en su estructura (Figura 14). El puerto de Tumaco se encuentra localizado precisamente en la Zona I, por ello el comportamiento de las oscilaciones de TSM de este puerto presentó una similitud con el de las oscilaciones de la TSM de la Zona I, durante el período 1972-2000. Los valores faltantes de la serie de la Zona I, vistos en la Figura 14, fueron reemplazados

por el promedio climático de la Zona I. En la Figura 15 se aprecia la serie de TSM de la Zona I restaurada (línea negra) y la serie de la TSM del puerto de Tumaco (línea roja).

De la misma manera fueron obtenidas las series de TSM para cada zona homogénea de la CPC, a excepción de la Zona VII, debido a la ausencia de información inicial. En total para la CPC fueron obtenidas seis series de TSM.

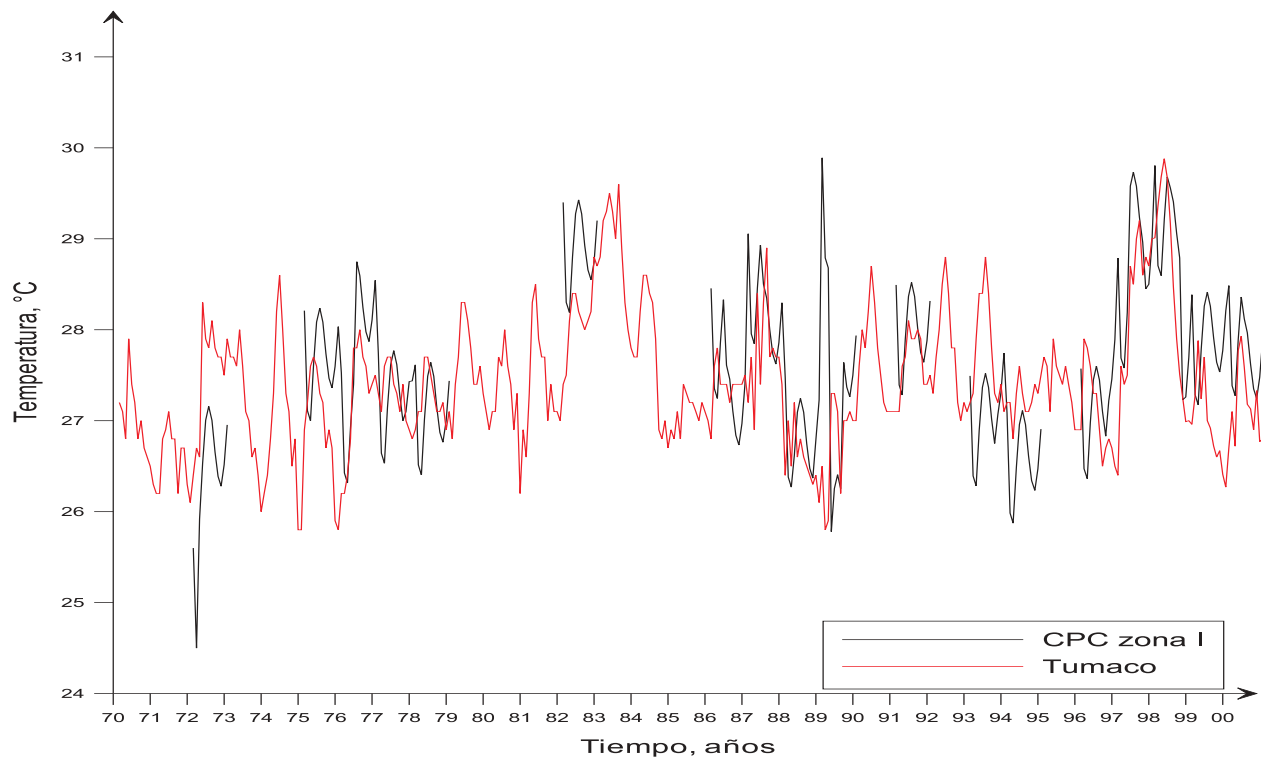


Figura 14. Superposición de la serie de TSM del puerto de Tumaco y de la Zona I.

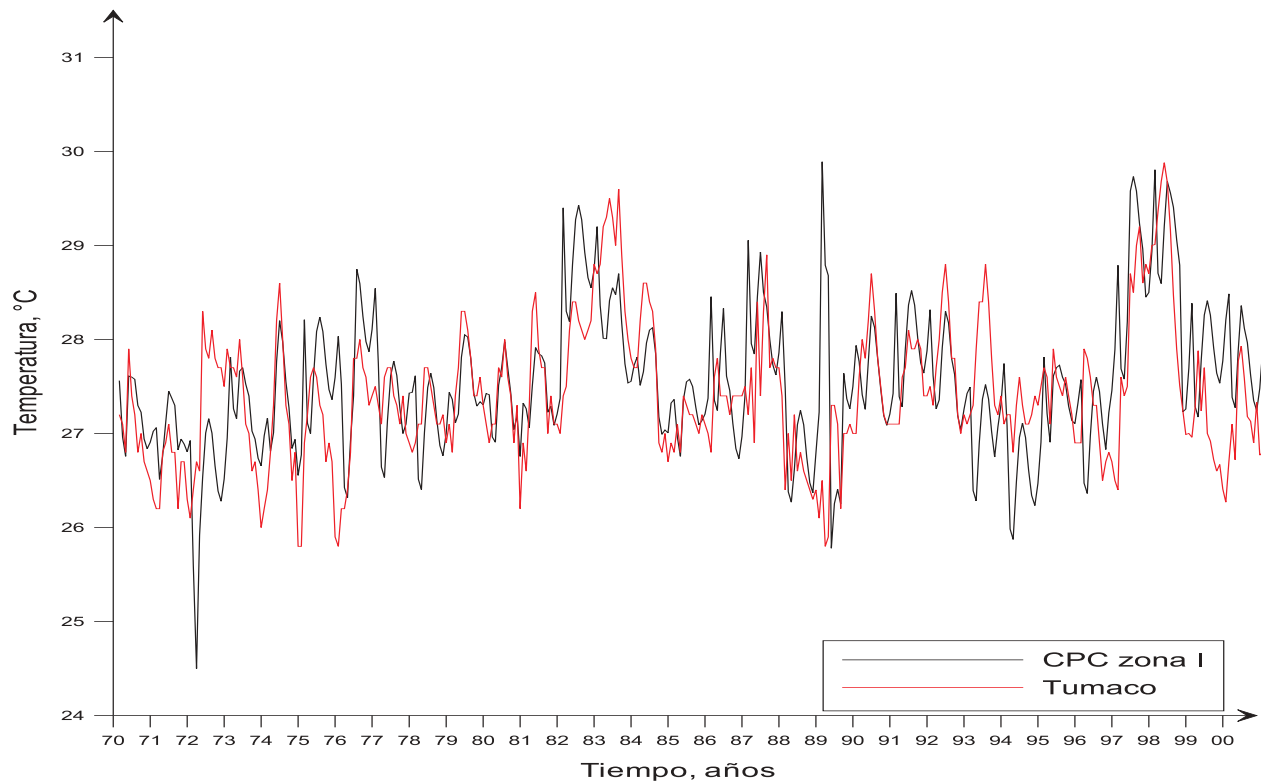


Figura 15. Comparación entre la serie de TSM de Tumaco y la serie de TSM restaurada de la Zona I.

RESULTADOS

Se expone aquí cómo, incluso de manera visual, se puede determinar que las series de tiempo de TSM construidas mostraron la misma estructura en sus oscilaciones al ser comparadas tanto con la serie de verificación de TSM del puerto de Tumaco, como con las series encontradas en cada zona homogénea. Al comparar las series obtenidas entre sí, como por ejemplo entre las primeras tres zonas (Figura 16) y las últimas tres (Figura 17), se observó que el comportamiento de las oscilaciones fue parecido, tanto en fases como en magnitudes de amplitud.

Por lo general, las oscilaciones de las series dentro de la región de estudio pueden

tener un comportamiento similar, la diferencia entre las series obtenidas radicó en que cada una presentó variaciones según la zona homogénea a la cual pertenecía, debido a su localización dentro del área de estudio o a la variabilidad en el tiempo de fenómenos hidrometeorológicos locales (por cada zona) en la región de estudio.

Como se aprecia en la Figura 16, la mayor amplitud de la TSM se observó en la serie restaurada de la Zona III, lo que mostró el comportamiento real de ésta. Dicha zona está ubicada en una región de mezcla de aguas costeras con aguas oceánicas y, debido a que esa mezcla no es tan intensa como en la Zona IV, tiene una amplia oscilación comparada con las tres primeras zonas.

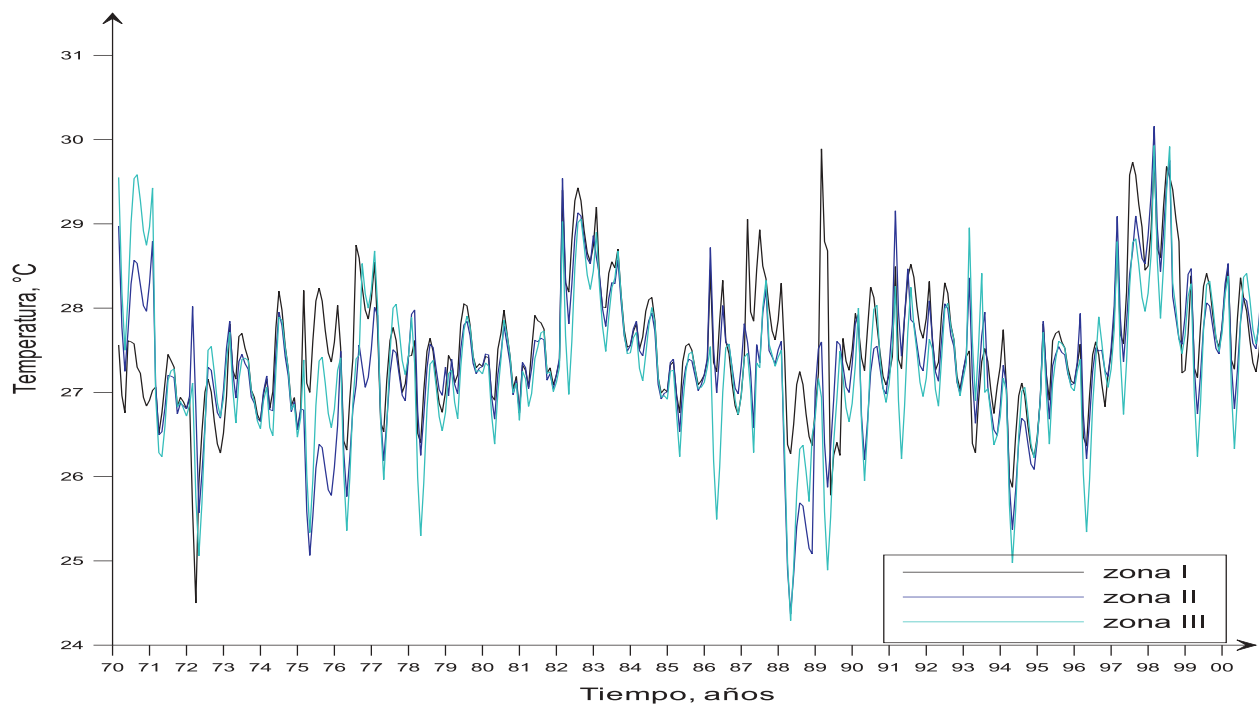


Figura 16. Comparación de tres series restauradas de TSM de las zonas I, II y III.

Las series restauradas de las zonas I y II presentaron un comportamiento casi similar, exceptuando los períodos 1975-1977 y 1988-1989, cuando se encontraron casi en fase contraria. De momento, no se puede afirmar con claridad esto a qué responde, pero si se apreció que por

ser dos zonas tan cercanas entre sí éstas podían presentar características y comportamientos similares y, que en algunos períodos, una de ellas podría reaccionar en forma brusca a ciertos cambios climáticos. Esto es posible analizarlo detalladamente bajo un estudio espectral.

En la Figura 17 se observa que la mayor amplitud de valores se encontró en la serie restaurada de TSM de la Zona VI, la cual está más expuesta a las aguas provenientes del Pacífico

ecuatorial (Sur), del Pacífico panameño (Norte) y del mar abierto (Oeste). El comportamiento de las series restauradas de TSM de las zonas IV y V es prácticamente similar.

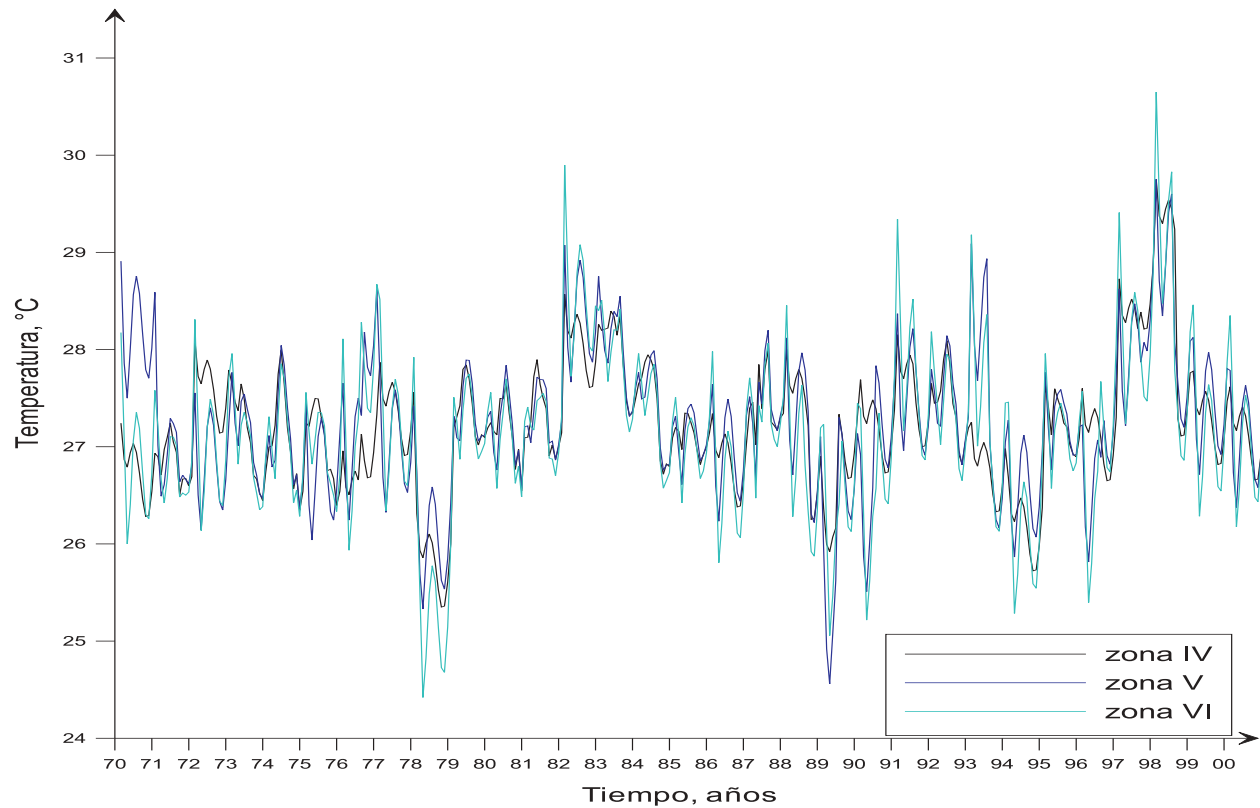


Figura 17. Comparación de tres series restauradas de TSM de las zonas IV, V y VI.

Las diferencias básicas halladas se aprecian en la Tabla II, en la cual se observa que los valores mínimos de TSM oscilaron entre 24.29 (Zona III) y 25.35 C (Zona IV). Los valores máximos de TSM variaron de 29.75 (Zona IV) hasta 30.65° C (Zona VI). La menor amplitud se observó en la zona caracterizada por presentar mezcla de aguas costeras y oceánicas, Zona IV (4.40° C). La mayor amplitud se encontró en la zona más alejada al sector costero de la región, la Zona VI (6.23° C), donde los parámetros físicos del agua pueden permanecer constantes durante un tiempo mayor, recibiendo influencia de aguas de otros sectores.

En cuanto a los valores promedio, en la Tabla II, al igual que en la Tabla I, se percibe que

mientras más se aleja la zona homogénea de la costa Pacífica el valor de TSM disminuyó. Estos valores mínimos, máximos y amplitud de TSM de las series construidas reflejaron las características físicas reales de las aguas de la región, relacionadas con la localización de las zonas identificadas.

Lo mismo se puede decir de los valores promedio de cada zona, siendo que el mínimo promedio se encontró en la serie de TSM de la Zona VI y el máximo valor promedio en la Zona I, lo cual fue coherente entre los valores de las series construidas y la posición natural de las aguas pertenecientes a cada zona homogénea.

Tabla II. Características de las series de TSM construidas para seis zonas homogéneas de las aguas superficiales de la CPC.

| Zonas | TSM ° C | | | |
|-------|----------|--------|--------|----------|
| | Promedio | Mínima | Máxima | Amplitud |
| I | 27.53 | 24.50 | 29.89 | 5.39 |
| II | 27.35 | 24.37 | 30.16 | 5.79 |
| III | 27.28 | 24.29 | 29.93 | 5.64 |
| IV | 27.22 | 25.35 | 29.75 | 4.40 |
| V | 27.25 | 24.56 | 29.76 | 5.20 |
| VI | 27.14 | 24.42 | 30.65 | 6.23 |

Las series obtenidas con la presente metodología fueron una aproximación brusca (ordinaria), por lo tanto, para su utilización en otros estudios se debe tener en cuenta que esta simulación no es definitiva y que puede entregar resultados aún no muy precisos.

Hasta el momento, debido a la poca información hidrometeorológica existente sobre la CPC, el método presentado fue la única forma de obtener las series de tiempo requeridas. Otra forma de hacerlo sería por medio de un modelo matemático que construya las características termodinámicas de la CPC, estudio que duraría casi dos años pero que arrojaría resultados más precisos.

CONCLUSIONES

- Los conceptos de circulación termohalina y de masa de agua dieron la posibilidad de construir series de tiempo de TSM, como resultado de la unificación de datos entre las estaciones oceanográficas de cada una de las zonas homogéneas la CPC.
- Hasta el momento, el método de analogía es el adecuado para el requerimiento de creación de series de TSM de la CPC por la gran ausencia de información.
- Se construyeron series de tiempo discretas, equiespaciadas de TSM de seis zonas homogéneas de la CPC.

- Las oscilaciones que presentaron las series de tiempo de TSM obtenidas es similar en algunos años y la diferencia entre sus comportamientos se debe a la distribución y/o desplazamiento de cada zona, reaccionando en forma individual como proceso local.

- Las series restauradas de las zonas I y II presentaron un comportamiento casi similar, a excepción de los años 1975 a1977 y 1988 a1989, cuando se encontraron casi en fase contraria.

- El comportamiento de las series restauradas de TSM de las zonas IV y V fueron prácticamente similares.

- Las series que se obtuvieron con la presente metodología son una primera aproximación y corresponden a una simulación no definitiva que puede entregar resultados aún no muy precisos.

LITERATURA CITADA

Abuziarov, Z., C. Cudriavaya, E. Seriakov y L. Scriptunova. 1988. Pronósticos Marinos. Leningrado . Gidrometeoizdat, 319 pp.

Belocercovski, A. 1993. Análisis Espectral en Hidrometeorología. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 60 pp.

Borisenkov, E. 1988. Oscilaciones climáticas del último milenio. Leningrado: Gidrometeoizdat.

CCCP. 2002. Compilación Oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana. San Andrés de Tumaco:

Centro Control Contaminación del Pacífico, Serie Publicaciones Especiales Vol. 1, 109 pp.

Emery, W. y R. Thomson. 2001. Data analysis methods in physical oceanography. 2nd ed. The Netherlands.: Elsevier, 625 pp.

Málíkov, I. 2000. Determinación de zonas homogéneas del Pacífico colombiano. Informe técnico. Tumaco: Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP, 150 pp.

Málíkov, I. y N. Villegas. 1997. Calibración de datos oceanográficos obtenidos en los cruceros sobre el Pacífico colombiano durante 1970 - 1996. Informe técnico. Tumaco: Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP, 250 pp.

Málíkov, I. y G. Camacho. 1998. Método de aproximación para determinar cambios entreañuales aplicado a parámetros de temperatura y salinidad del Pacífico colombiano. Boletín Científico CCCP. San Andrés de Tumaco: CCCP, No. 7: 30 - 41.

Malinin, V. 1998. Oceanología General. Primera Parte: Procesos Físicos. San Petersburgo: RSHU, 341 pp.

Smirnov, N, U. Titov y P. Vainovsky. 1992. Diagnóstico y pronóstico estadístico de los procesos oceanológicos. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 198 pp.

Storch, H. y F. Zwiers. 1999. Statistical analysis in climate research. United Kingdom: Cambridge University Press, 484 pp.

Tchansev, V. y E. Cabrera. 1998. Algunos aspectos de investigación de la formación del régimen oceanográfico en el Pacífico colombiano. Boletín Científico CCCP. San Andrés de Tumaco: CCCP, No. 7: 7-19.

Villegas, N. 2002. Definition of uniform zones in the surface water of the Columbian Pacific Ocean/ / Materials of the total session of academic council on 30 - 31 January 2002. - St. Petersburg.: RSHU, pp. 126-128.

Villegas, N. 2003. Leyes de la formación de la estructura termodinámica de la cuenca del Pacífico colombiano. Tesis doctoral para la obtención del nivel científico de Ph.D. en Ciencias Físicas y Matemáticas en Oceanología. Universidad

Hidrometeorológica del Estado Ruso. San Petersburgo, Rusia: RSHMU. 189 pp.

Villegas, N. e I. Neelov. 2002. Modelación variaciones estacionales de circulación de aguas del océano Pacífico colombiano//Materiales sección final Cons. Cient.30-31 ener 2002.-St. Petersburg.:ed. RSHU, pp.123 -124.